

Министерство образования и науки РФ
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

Рецензент

/ /

« » 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.О. Зав. кафедрой

/Б.Я. Трофимов/

« » 2018 г.

Пояснительная записка к диссертационной работе
08.03.01.2018.269.00.00.ПЗ
Жаростойкий бетон на модифицированном портландцементе

Руководитель проекта

/ В.А. Абызов /

« » 2018 г.

Автор проекта

Студент группы АС –424

/А.В. Журавлев/

« » 2018 г.

Нормоконтролёр

/ В.А. Абызов /









« » 2018 г.

Челябинск
2018

АННОТАЦИЯ

Журавлев А.В. «Жаростойкий бетон на модифицированном портландцементе» - Челябинск: ЮУрГУ, Стр. мат. и изд., 2018, с 63, ил. 11, фор.2., табл.28. Библиографический список 15 - наименований.

В данной работе исследуется жаростойкий бетон на модифицированном портландцементе. При выполнении исследований были использованы различные материалы, такие как, шамот, портландцемент, микрокремнезём, метакаолин, суперпластификатор, вода. Были выявлены зависимости составов на различные свойства жаростойкого бетона.

08.03.01.059.2018. ПЗ ВКР								
Изм.	Дата	№ докум.	Подпись	Дата	Жаростойкий бетон на модифицированном портландцементе ЮУрГУ, Кафедра «Строительные материалы и изделия»			
Разработал	Журавлев А.В.			9.06.18				
Проверил	Абызов В.А.			9.06.18				
Н. контр.	Абызов В.А.			9.06.18				
Утвердил	Трофимов Б.Я.			9.06.18				
					Литера	Лист	Листов	
					МД		61	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. ЖАРОСТОЙКИЙ БЕТОН НА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ	
1.1 Жаростойкие бетоны и их свойства.....	
1.2 Основные виды жаростойких бетонов.....	
1.3 Бетоны на ПЦ и особенности их технологии.....	
1.4 Пластификаторы и их применение в жаростойком бетоне.....	
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1 Выбор материалов.....	
2.2 Методы исследования.....	
3. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	
6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	

Введение

В настоящее время значительная часть тепловых агрегатов выполняется с применением жаростойкого бетона. Жаростойкий бетон — это специальный бетон, способный не изменять свои физико-механические свойства при длительном воздействии высокой температуры. В зависимости от вяжущего вещества, принято различать жаростойкие бетоны на портландцементе и шлакопортландцементе, на глиноземистом и высокоглиноземистом цементе, шлакощелочные, на жидком стекле, фосфатные.

Для футеровки топок в конструкциях газоходов, дымовых труб при строительстве тепловых электростанций, в элементах защитных стен и перекрытий АЭС, в производстве керамики, в машиностроении используют различные виды жаростойкого бетона. В значительных объемах он так же применяется в черной и цветной металлургии. Обычный (тяжелый) цементный бетон пригоден для изготовления строительных конструкций, подвергающихся длительному воздействию температуры лишь до 200° С. В зависимости от предельно допустимой температуры применения жаростойкие бетоны разделяют на классы - от И3 до И18 (предельная температура применения соответственно от 300 до 1800).

Первыми, в 1940-1950-х гг., были разработаны бетоны на портландцементе. Они отличаются низкой ценой, но обладают невысокой температурой применения (до 1000 - 1100° С). Под воздействием высоких температур в цементном камне происходит обезвоживание кристаллогидратов и разложение гидроксида кальция с образованием СаО. Оксид кальция при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные материалы, содержащие активный кремнезем – так называемые тонкомолотые добавки. [1]

Бетоны на портландцементе и шамоте, эксплуатирующиеся при температуре до 1100°С, широко используются в ряде тепловых агрегатов. Шамотная тонко-

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					3

молотая добавка вводится в значительном количестве (30%), имеет высокую водопотребность, поэтому прочность таких бетонов достаточно низкая – 20-30 МПа.

Повысить прочность и термостойкость бетона можно, используя современные добавки, обеспечивающие интенсивное связывание СаО – микрокремнезем и метаксаолин. Ранее данные добавки не применяли, так как они сильно повышают водоцементное отношение. Мощным пластифицирующим эффектом обладают пластификаторы на основе эфиров поликарбосилатов (РСЕ), появившиеся недавно. Совместное влияние микрокремнезема, метаксаолина и РСЕ на свойства жаростойкого бетона – не изучено.

Улучшить удобоукладываемость бетонной смеси, а также увеличить термостойкость бетона можно, используя только мелкие фракции заполнителя (мелкозернистый бетон). При этом также целесообразно использовать добавки РСЕ.

Целью настоящей работы является разработка мелкозернистого бетона на портландцементе с применением добавок – метаксаолина и микрокремнезёма, а также поликарбосилатного суперпластификатора, что позволит улучшить жаростойкие свойства бетона, в том числе остаточную прочность и термостойкость.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ГЛАВА 1. Жаростойкий бетон на портландцементе и пути повышения его эффективности

1.1 Жаростойкие бетоны и их свойства

Жаростойкий бетон, используемый для строительства тепловых агрегатов, как в виде крупных блоков, так и в виде монолита, используется для повышения долговечности сооружения и индустриализации строительства тепловых агрегатов. Применение данного бетона позволяет создать любые конструктивные решения, что открывает широкие возможности для технологических решений.

По своим физико-техническим характеристикам жаростойкие бетоны не уступают штучным огнеупорам, а порой даже превосходят их технически и экономически в связи с тем, что себестоимость производства бетонов значительно ниже ввиду отсутствия предварительного высокотемпературного обжига. [2]

Впервые жаростойкий бетон был получен в сороковых годах прошлого века. В качестве вяжущего применялся портландцемент с различными добавками, а роль заполнителей играют искусственно изготовленные материалы, обожженные и необожженные горные породы, а также вторичные продукты различных производств, стойкие в условиях воздействия высоких температур – шамот, огнеупорные керамзит и аглопорит. Впоследствии были разработаны бетоны на других вяжущих, а в качестве заполнителей начали применяться шпинели, карбид кремния, корунд, некоторые виды шлаков черной и цветной металлургии.

В настоящее время под жаростойким бетоном понимают специальный бетон, способный не изменять требуемые физико-механические свойства при дли-

тельном воздействии высокой температуры (свыше 200°C), используемый при температурах до 1800°C.

Рассмотрим основные виды жаростойкого бетона.

В зависимости от температуры применения бетоны подразделяют на классы согласно таблице ниже [3].

Таблица 1 – Классы бетонов по предельно допустимой температуре применения

Класс бетона по предельно допустимой температуре применения	Предельно допустимая температура применения, °С	Класс бетона по предельно допустимой температуре применения	Предельно допустимая температура применения, °С
И3	300	И12	1200
И6	600	И13	1300
И7	700	И14	1400
И8	800	И15	1500
И9	900	И16	1600
И10	1000	И17	1700
И11	1100	И18	1800

В зависимости от плотности, бетоны можно классифицировать на:

- тяжелые;
- легкие;
- ячеистые.

По назначению жаростойкие бетоны бывают следующих видов:

- Конструкционные
- Теплоизоляционные

- Конструкционно-изоляционные

Для бетонов, предназначенных для изготовления изделий, конструкций и сооружений, к которым предъявляют требования по термостойкости, устанавливают следующие марки по термостойкости: T₁₅; T₁₀; T₁₅; T₂₀; T₃₀; T₄₀ (водные теплосмены); T₂₁₀; T₂₁₅; T₂₂₀; T₂₂₅ (воздушные теплосмены). [4] [5]

1.2 Основные виды жаростойких бетонов

Одним из самых распространённых видов жаростойких бетонов является бетон на основе портландцемента с тонкомолотой жароупорной добавкой, способный выдерживать длительное действие высоких температур. Добавка вводится для связывания свободного СаО, образовавшегося при гидратации цемента.

Данный бетон обладает некоторыми преимуществами по сравнению с другими бетонами этого класса, низкой стоимостью, отработанной технологией изготовления, высокими прочностными свойствами. Однако, его недостатком является снижение прочности при нагреве, которое достигает 60... 70 % при воздействии высоких температур.

Основные причины снижения прочности - это дегидратация и разложение высокоосновных гидросиликатов и алюминатов кальция, температурное расширение заполнителя. Чтобы избежать потери прочностных свойств жаростойкого бетона, применяют следующие способы: использовать в качестве тонкомолотой добавки и заполнителей материалы с близкими показателями термической деформации, увеличение их содержания в бетоне, модифицирование структуры химическими добавками. Данные способы можно использовать, как вместе, так и раз-

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

дельно. Повышение содержания тонкомолотой добавки имеет как положительные, так и отрицательные стороны (снижение прочности цементного камня).

Производство жаростойкого вяжущего осуществляется также на основе исследований, проведенных с вяжущими низкой водопотребности. Использование вяжущего низкой водопотребности в бетонах изменяет характер структуры бетона, уменьшается количество капиллярных пор и увеличивается количество гелиевых пор.

Таким образом, жаростойкий бетон на жароупорном вяжущем отличается от бетона на портландцементе тем, что в структуре цементного камня преобладают низкоосновные гидраты, которые имеют высокую прочность. Кроме того, в цементном камне практически нет гидроксида кальция.

Жаростойкие бетоны на основе ПЦ имеют огнеупорность до 1320°C, температуру начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа 1190°C и широко применяются для футеровки различных тепловых агрегатов с температурой службы 1000-1100°C. Термическая стойкость бетонов на портландцементе, согласно СН 156-79 «Инструкция по технологии приготовления жаростойких бетонов», может составлять в зависимости от марки бетона, вида заполнителей и тонкомолотых добавок от 5 до 20 циклов водных теплосмен. Максимальные результаты по термической стойкости бетонов на портландцементе возможно получить при использовании тонкомолотых добавок.

Марка по прочности бетонов на основе ПЦ составляет М25 – М500, коэффициент теплопроводности 0,3-1,2 Вт/(м·К), плотность готовых изделий (в естественном состоянии) от 950 до 2000 кг/м³. [6]

Жаростойкий бетон на основе жидкого стекла.

Немного позже относительно исследований жаростойких бетонов на портландцементе, начали изучать бетоны на основе жидкого стекла (в 1960-х гг).

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						8

Для жаростойких бетонов с вяжущим на жидком стекле в качестве отвердителя применяют феррохромовый шлак и кремнефтористый натрий, а также другие материалы, удовлетворяющие действующим техническим условиям и содержащие соединения, вызывающие выделение геля кремнекислоты (низкоосновные гидросиликаты кальция, фтористый и кремнефтористый натрий и некоторые другие).

При применении в жаростойких бетонах кремнефтористого натрия в некоторых случаях недопустимо вследствие его токсичности и не соответствия некоторым технологическим процессам, но если не применять его в данных бетонах, процесс твердения будет происходить только в поверхностном слое.

Использование в качестве вяжущего для жаростойкого бетона жидкого стекла позволяет получить бетон с широким диапазоном температуры применения. На шамотном заполнителе температура применения составляет до 1100°C, на магнезиальном – до 1600 °C.

Термостойкость бетонов на жидком стекле зависит от вида заполнителя. На бетонном леме она составляет 13 циклов, а на карборундовых заполнителях может достигать 110 циклов. Прочность готовых изделий достигает 30 МПа.

Для производства огнеупорных бетонов с максимальной температурой использования 800°C–1600°C применяются натриевые или калиевые составы (жидкое стекло). Калиевое жидкое стекло изготавливают плотностью 1,4–1,56 кг/см³, натриевое жидкое стекло плотностью 1,36–1,45 кг/см³.

Жидкое стекло, в зависимости от своей структуры, разделяется на:

- В — высокомодульное;
- Б — среднемодульное;
- А — низкомодульное.

Таблица 3 – Предельные температуры применения бетона

Предельная температура применения бетона, °С при одностороннем нагреве	Тонкомоловая добавка	Мелкий и крупный заполнитель	Отвердитель кремнефторид натрия, кг/м ³	Состав кг/м ³			
				Жидкое стекло	Минеральная добавка	Песок	Щебень
1400	Магнезит	Бой магнезитового кирпича	18...20	350	600	600	1150
1000	Хромит	Хромит	30...35	300	700	800	1250
900	Шамот	Шамот	40...50	400	500	500	750
600	Шамот, адезит, диабаз	Базальт, диабаз, андезит	35...40	350	500	700	900

Жаростойкие бетоны на глиноземистом цементе.

Бетоны на глиноземистом цементе применяют до температуры 1450°С. Эти цементы наиболее часто применяют с алюмосиликатными заполнителями, муллитокордиеритовыми и муллитокорундовыми. Также заполнителем может являться кусковой шамот боя изделий или из вторичных шамотных огнеупоров (лом шамотный), из предельного феррохрома. Так как химический и минералогический состав глиноземистого цемента близок к широко распространенным заполнителям из алюмосиликатных материалов. Глиноземистые цементы позволяют получить бетон с маркой по прочности М50 – М300, температурной усадкой 0,6-1 %. Термостойкость таких изделий составляет до 100 циклов водных теплосмен, при плотности изделий в естественном состоянии от 750 до

Жаростойкие бетоны на высокоглиноземистом цементе.

Бетоны на высокоглиноземистом цементе применяют до температуры 1700°C. В составах бетонов на данном вяжущем используют следующие заполнители: корундовые, титаноглиноземистый и хромоглиноземистый шлаки. Некоторые виды жаростойких бетонов на высокоглиноземистом цементе обладают высокой термостойкостью. После 82 водных циклов теплосмен при 800°C они теряли 3-5 % веса и имели остаточную прочность 130-160 МПа. В основном же термостойкость составляет 10-20 циклов. Марка бетонов по прочности на высокоглиноземистом цементе варьируется в диапазоне от М400 до М600. Температурная усадка составляет 1%. Плотность изделий на высокоглиноземистых цементах находится в промежутке от 2400 до 3100 кг/м³. [7]

Жаростойкий бетон на фосфатном вяжущем.

В 50-х годах в СССР и за рубежом ученые начинают проявлять интерес к использованию фосфатных связующих для получения жаростойких материалов и бетонов. Фосфатными материалами называют материалы, в которых роль вяжущего выполняют соли ортофосфорной кислоты, образующиеся в процессе взаимодействия ее с компонентами исходной смеси. Различная основность окисных соединений, концентрация ортофосфорной кислоты, температура и продолжительность температурной обработки влияют на способность фосфатного вяжущего образовывать устойчивую компонентную связь.

В результате химических реакций между ортофосфорной кислотой и тонко-молотыми алюмохромомы, алюмохромосодержащими и алюмосиликатными материалами, фосфатное связующее представляет собой высокоогнеупорное вещество. Теплоизоляционные жаростойкие бетоны на фосфатном вяжущем имеют плотность от 600...1000 кг/м³ и прочность на сжатие 1...15 МПа на

алюмофосфатном связующем и на перлитовом заполнителе с температурой 1000...1200 °С.

Изделия плотностью 600 кг/м³ следует использовать при температурах до 1000 °С, а более тяжелые до 1200 °С. Технология изготовления не сложна, для этого понадобится: алюмофосфатное связующее с затворением технического глинозема 85 % технической ортофосфорной кислотой в количестве 60 % массы глинозема, глинозем измельчают до тонкости помола 15000 см² /г при размере зерен 1...20 Мк. Затем в данную смесь добавляют перлит. Далее данную смесь укладывают в металлические формы и подвергают температурной обработки при 300...350 °С, продолжительность которой зависит от формы изделий.

Так же был разработан жаростойкий бетон, который получил название жаростойкий вермикулитобетон на глинофосфатном связующем. Средняя плотность 450...850 кг/м³ и прочность на сжатие 1...3 МПа, данный вид бетона рекомендуется применять при температуре до 1000 °С.

Свойства жаростойкого бетона на портландцементном вяжущем, с введением в его состав тонкомолотых добавок, являются неизученными. Поэтому рассмотрим данный вопрос более подробно.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

1.3 Бетоны на ПЩ и особенности их технологии

До настоящего момента основными видами вяжущих, применяющихся в отечественной и зарубежной практике жаростойких и огнеупорных бетонов, являются глиноземистые (ГЦ) и высокоглиноземистые цементы (ВГЦ). Стоимость их достаточно высока, так как технология энергоемка и требует дорогостоящего глиноземистого сырья. Следует отметить, что по сравнению с жаростойкими бетонами на ПЩ разница их необходимых свойств около 10-15%. Но при модификации ПЩ жаростойкий бетон самодостаточен, что имеет место быть в замене жаростойких бетонов на ГЦ и ВГЦ. Нужно узнать механизм действия высоких температур на стандартный цементный камень на ПЩ и в составе жаростойкого бетона на ПЩ.

Под воздействием высоких температур в цементном камне происходит обезвоживание кристаллогидратов и разложение гидроксида кальция с образованием СаО. Оксид кальция при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные материалы, содержащие активный кремнезем. В частности, в жаростойкие бетоны могут быть введены суперпластификаторы и тонкоизмельченные материалы, которые придают смеси определенные свойства. Добавки к вяжущим материалам имеют целью придать последним необходимые свойства. Например, ускорить или замедлить твердение, повысить пластичность и другие характеристики цементного камня. [8]

В настоящее время есть ряд распространенных тонкомолотых добавок, вводимых в состав жаростойкого бетона, они могут быть промышленного изготовления или приготовлены размолот соответствующих материалов до удельной поверхности не менее $2500 \text{ см}^2/\text{г}$, такие как: шамотная, муллитокорундовая, корундовая, керамзитовая и другие. Вид добавки определяет температуру применения бетона.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						15

свою очередь ускоряет взаимодействие цемента с водой и уменьшает количество не прореагировавшего клинкерного материала. [11]

Исходя из описанного выше, можно ясно выделить рамки использования экономически и технологически выгодного варианта при изготовлении жаростойкого бетона.

Так как использование тонкомолотой добавки ведет за собой увеличение водопотребности, вводятся современные поликарбоксилатные суперпластификаторы, что в свою очередь стабилизирует водоцементное отношение, позволяет не терять подвижности смеси и дает значительную прибавку к конечной прочности. [1]

1.4 Пластификаторы и их применение в жаростойком бетоне

Добавками называют вещества, вводимые в бетонную смесь в составе цемента или как отдельный компонент бетонной смеси. Существует широкий спектр добавок, влияющих на свойства бетонной смеси, сроки схватывания, кинетику твердения бетона и другие. Отдельно выделяют группу комплексных полифункциональных добавок, введение которых позволяет существенно влиять на гидратацию цемента, модифицировать структуру цементного камня и бетона, замедлять его старение и повышать долговечность, что обеспечит высокие эксплуатационные качества бетонных изделий и конструкций.

В соответствии с классификацией добавок по ГОСТ 24211-2003 суперпластификаторы (СП) относятся к добавкам, регулирующим свойства бетонных смесей, а в группе пластифицирующих добавок занимают первое место. Это обусловлено чрезвычайно высоким эффектом разжижения бетонной смеси без снижения прочности бетона во все сроки испытания. СП появились в начале 70-

х годов в результате исследований японских и немецких ученых. Основная идея создания таких добавок состояла в том, чтобы получить бетонные смеси, которые можно было бы укладывать в формы, совсем не применяя механических воздействий, либо применяя их при резком снижении уровня интенсивности таких воздействий. Суперпластификаторами в настоящее время принято называть специально синтезируемые органические соединения, применение которых в оптимальных дозировках позволяет получать из малоподвижных бетонных смесей ($O_k = 2-4$ см) литые или высокоподвижные смеси ($O_k = 18-24$ см) без снижения прочности бетона во все сроки твердения по сравнению с исходным составом без добавки. По своему химическому составу все суперпластификаторы (СП) можно условно разделить на четыре группы:

- к первой группе относят СП на основе сульфированной меламиноформальдегидной смолы;
- ко второй группе относят добавки на основе продуктов поликонденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида.
- третья группа объединяет продукты поликонденсации окси- карбоновых кислот;
- в четвертую группу включены модифицированные лигносульфонаты.

Основные виды суперпластификаторов, нашедших сравнительно широкое применение в производстве бетонных смесей и их оптимальные дозировки.

Таблица 5 – Виды суперпластификаторов

Наименование	Условное обозначение	Дозировка, % от массы цемента
Сульфированные меламино-формальдегидные смолы	10-03	0,3-0,9
	МФАС	0,3-0,9
	С-3	0,4-1,0
	MELMENT	1,0-2,5
Сульфированные нафталин – формальдегидные смолы	Полипласт СП-1	0,4-0,8
	Полипласт СП-3	0,4-0,8
	Полипласт СП-1ВП	0,4-0,8
	STANEMENT N	0,4-1,0
	STANEMENT NN	0,4-0,8
	30-03	0,4-0,8
	40-03	0,4-0,8
Модифицированные лигно-сульфонаты	МЛС	0,4-0,9
	МТС-1	0,3-0,6
	НИЛ-20	0,4-0,6
	ХДСК-1	0,1-0,5
	МЛС	0,3-0,35
	КОД-С	0,2-0,3
	BETOFLUID	0,3-0,5
	STACHEPLAST	0,3-0,5
Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов		

По механизму действия и технической эффективности добавки СП на основе меламина (МФ) и нафталина (НФ) довольно близки. Основное отличие их заключается в продолжительности сохранения пластифицирующего эффекта, стоимости и доступности исходного сырья. Пластифицирующий эффект добавок СП обусловлен их принадлежностью к категории поверхностноактивных веществ, что приводит к образованию на поверхностях частиц цемента и тонкодисперсной фракции заполнителей мономолекулярных адсорбционных оболочек.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						20

чек, снижающих внутреннее трение в бетонной смеси. Кроме того, наблюдается и пептизирующее действие добавки, противодействующее образованию флокул из цементных частиц в процессе гидратации. Явление пептизации цементных частиц приводит в свою очередь к увеличению удельной поверхности частиц и оказывает положительное влияние на интенсивность процессов гидратации и структурообразования цементного камня. Продолжительность пластифицирующего эффекта зависит от многих факторов. [12]

Механизм действия суперпластификаторов сегодня до конца еще не ясен, но, тем не менее, можно считать установленными следующие факты:

- молекулы суперпластификатора снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз "жидкость- твердое тело", в то время как большинство ПАВ снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз "газжидкость". Этим обстоятельством как раз и обусловлено пониженное воздухововлечение в бетонную смесь в присутствии СП;

- молекулы СП обладают диспергирующим эффектом на частицы вяжущего. В результате доля мелких фракций в присутствии СП увеличивается в два раза, что повышает вяжущие свойства цемента;

- продолжительность пластифицирующего действия СП значительно меньше, чем обычных ПАВ, что связано с особенностями строения молекул СП и величиной их молекулярной массы;

- добавки многих СП оказывают меньшее влияние на скорость гидратации цемента по сравнению с обычными ПАВ.

Так же существует суперпластификатор С-3, который предназначен:

- для резкого повышения удобоукладываемости и формуемости бетонных смесей без снижения прочности и показателей долговечности бетона (при неизменном водоцементном отношении);

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						21

- для существенного повышения физико-механических показателей и строительно-технических свойств бетона (при сокращении расхода воды и неизменной удобоукладываемости);

- для повышения удобоукладываемости бетонных смесей и повышения физико-механических показателей и строительно-технических свойств бетонов (при одновременном снижении водоцементного отношения и повышении удобоукладываемости);

- для сокращения расхода цемента без снижения удобоукладываемости бетонной смеси, физико-механических показателей и строительнотехнических свойств бетона (при снижении водосодержания бетонной смеси). Суперпластификатор С-3 также является основой для изготовления комплексных добавок различного вида.

Эффективное действие (PCE) суперпластификаторов на жаростойкий бетон на ВГЦ отлично описано сотрудниками ЮУрГУ (В.А. Абызов, С.Н. Черногорлов, Д.А. Речкалов)

- Цементы из клинкеров КВЦ-70, КВЦ-75 отличаются медленным твердением в первые 7 сут, для ускорения твердения вводили добавку – шлак феррохрома (ППГ-50). Это обеспечило интенсивный набор прочности цемента к 1 сут, но сократились сроки схватывания. Для нормализации свойств цемента использовали пластификаторы. Введение СП-1 обеспечивает необходимый эффект, но снижает остаточную прочность. В связи с этим, были использованы добавки на основе PCE. Они являются наиболее эффективными, кроме того, адсорбируются в первую очередь на алюминатах.

Наилучшие результаты были достигнуты с использованием добавок Glenium 51, Melflux 1641F. Получен ВГЦ с началом схватывания 45...50 мин. Изучение цементного камня РФА показало, что добавки в 1 сут замедляют про-

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Выводы

1. Бетоны на ПЩ – наиболее доступный, дешевый вид бетонов для температур 1100-1150С.
2. Необходимо вводить в бетоны на ПЩ тонкомолотую добавку, обеспечивающую связывание СаО.
3. Используемые в настоящее время тонкомолотые добавки – вводятся в значительном количестве (около 30%) и снижают прочность бетона.
4. Получить жаростойкие бетоны с прочностью при сжатии 35-40 МПа из подвижных бетонных смесей можно только на основе эффективных вяжущих – глиноземистых цементов.
5. Повысить эффективность жаростойкого бетона на ПЩ и шамотном заполнителе можно, вводя современные активные минеральные добавки – МТК, МК.
6. Добавки МТК, МК, обладающие высокой активностью, имеют большую водопотребность, поэтому ранее не применялись в жаростойком бетоне.
7. Введение добавок суперпластификаторов на основе РСЕ, отличающихся сильным водоредуцирующим эффектом, обеспечивает возможность введения таких дисперсных добавок, как МТК и МК.
8. Совместное использование МТК и МК и РСЕ позволяет получить бетонные смеси с высокими показателями удобоукладываемости (марки по подвижности ПЗ-П4).
9. Применение мелких фракций заполнителя – повышает термическую стойкость бетона. При этом, благодаря введению РСЕ, сохраняется высокая подвижность бетонных смесей.

ГЛАВА 2. Материалы и методы исследования

2.1 Выбор материалов

Жаростойкий бетон может быть более многокомпонентным материалом по сравнению с обычным бетоном и для большинства составов помимо вяжущего и заполнителя включает тонкомолотую добавку, а в ряде случаев и отвердитель. К исходным материалам для жаростойкого бетона предъявляются более высокие требования, так как бетон должен сохранять заданные свойства не только при нормальных, но и при высоких температурах. Для жаростойкого бетона в качестве заполнителей применяют обожженные и необожженные естественные породы, искусственно изготовленные материалы, а также вторичные продукты различных производств, стойкие в условиях воздействия высоких температур.

В ходе работы по подбору состава жаростойкого бетона были выбраны следующие материалы: портландцемент, шамотный заполнитель, активная минеральная добавка (метакаолин и микрокремнезём), суперпластификатор, вода. Ниже рассмотрим данные материалы подробно.

Одним из главнейших требований, предъявляемых к жаростойкому бетону, является прочность при сжатии. Все закономерности изменения прочности при сжатии присущие обычным бетонам на портландцементе справедливы и для жаростойких бетонов.

В данной работе использован ПЦ ЦЕМ I 42,5 Н производства ООО «Дюккерхофф» Коркино Цемент», г. Коркино. Данный цемент обладает следующими свойствами:

- Насыпная плотность – 1300 кг/м³

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

- Удельная поверхность – 3600 см²/г

- Активность – 52,7 МПа

Прочность на изгиб 6,4 МПа. Начало схватывания – 50 мин. Прочность на сжатие 52,7 Мпа.

Портландцемент, в отличие от глинозёмистого, и тем более, высокоглинозёмистого, является дешёвым материалом, а значит наиболее доступным. При этом, прочность и температура применения практически не отличается от глинозёмистого.

Обобщая данные о влиянии высоких температур на свойства затвердевшего портландцемента можно сделать следующие выводы:

- воздействие температуры 100 г на невысушенные образцы, изготовленные из клинкерного ПЦ, вызывают нарастание прочности в следствие дополнительной гидратации минералов

- нагревание в интервале 155 – 400 градусов приводит к постепенному снижению прочности из – за дегидратации, в основном, алюминатов кальция.

- при дальнейшем повышении температуры от 400 до 550 г происходит дегидратации гидроокиси кальция с выделением окиси кальция.

- дегидратация вызывает некоторое нарушение структуры и сброс прочности.

- портландцементные образцы, прогретые до температуры 600 – 800 градусов, полностью разрушаются после выдерживания их в воздушно – сухих условиях, в следствие вторичной гидратации окиси кальция.

Наибольшее распространение в качестве заполнителя для жаростойкого бетона получил шамот. К шамотным относят материалы, содержащие $Al_2O_3 + TiO_2$ от 30 до 40%.

Для жаростойкого бетона применяют кусковой шамот, полученный после обжига огнеупорной глины. Шамот является недорогим, но очень качественным материалом, повсеместно применяемым в отделочных и строительных работах. Обладает отличными показателями стойкости к воде и изменения температур, что в свою очередь, делает его незаменимым при конструкции объектов высокотемпературного типа в виде специальной глубокозалежной форме. Что отлично показывает производство печей из шамота. В виде порошка требует дополнительной защиты от влаги, которая способна разрушить его отличные свойства.

В данной работе применялся шамотный заполнитель производства ООО «Мечел-материалы». г. Челябинск. В настоящее время ещё нет специального производства заполнителя для жаростойкого бетона из глин. В связи с этим необходимо определять гранулометрический состав полученного материала и делать его пригодным для жаростойкого бетона. Однако, при этом необходимо строго следить, чтобы материал не был загрязнён посторонними примесями. В процессе работы был произведён рассев на две фракции:

1) 0,315-1,25 мм

2) 0,16-0,315 мм

Выбор фракций осуществлялся на основе работ по получению жаростойких и огнеупорных бетонов на корундовом заполнителе, где применение мелкозернистых бетонов позволяет получить высокие показатели удобоукладываемости бетонной смеси, а также способствует повышению однородности бетона, снижению влияния температурного расширения заполнителя – и, как следствие, увеличению термической стойкости.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Была определена насыпная плотность фракций:

1) для фракции 0,315-1,25 мм - 1400 кг/м³

2) для фракции 0,16-0,315 мм – 1300 кг/м³

Огнеупорность данного шамота 1670—1710 °С

- Для жаростойкого бетона в качестве заполнителей применяют обожженные и необожженные естественные породы, искусственно изготовленные материалы, а также вторичные продукты различных производств, стойкие в условиях воздействия высоких температур.

- Заполнители, применяемые в жаростойких бетонах, могут быть промышленного изготовления или приготовлены на месте производства работ дроблением соответствующих материалов.

- Кусковой шамот и шамот из вторичных огнеупоров должны иметь водопоглощение не более 12 % массы материала. Для боя шамотных изделий и других заполнителей водопоглощение не нормируется.

- Рекомендуемый зерновой состав заполнителей для жаростойкого бетона.

- Для определения качества заполнителей для бетонов со средней плотностью более 900 кг/м³ следует отбирать от каждой партии поступающего материала из разных мест (не менее чем из 10) среднюю пробу массой 5 кг для мелкого и 16 кг - для крупного заполнителей.

- Для проверки качества заполнителей для бетонов со средней плотностью 900 кг/м³ и менее отбор средней пробы от каждой партии необходимо производить в объеме 10 л для мелкого и 30 л - для крупного заполнителей.

Для связывания свободного СаО используются АМД.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					28

В середине XX века в качестве добавки в бетоны стали применять метаксаолин. Исследованию влияния МТК на свойства цементных композиций посвящены работы многих исследователей.

Метаксаолин представляет собой химическую фазу, которая образуется при термической обработке каолина. Химический состав каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. В результате термообработки кристаллическая вода удаляется и образуется аморфный силикат алюминия. Замена 8 % цемента в бетоне на метаксаолин позволила повысить раннюю прочность бетона на 15 %, а конечную на 30 %.

Модифицирующее действие МК в составе вяжущих композиций проявляется в увеличении плотности цементного камня за счет микронаполнения и связывания (пуццоланический эффект) гидратной извести (портландита).

МТК снижает расход цемента в бетоне, приводит к получению высокой ранней и конечной прочности бетона, но обладает повышенной водопотребностью, вследствие чего его необходимо использовать совместно с водоредуцирующими добавками.

В данной работе применялся высокоактивный метаксаолин произведённый в г. Магнитогорске, Челябинская область.

Таблица 6 - Химический состав МТК

В состав метаксаолина входят следующие оксиды, % по массе						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
54	43	0,7	0,5	0,9	0,4	0,1

Таблица 7 - Свойства МТК

Показатель	Значение	Нормы по ТУ
Средний размер частиц, мкм	5 – 7	5 – 7
Насыпная плотность, кг/м ³	340	< 350
Истинная плотность, кг/м ³	240	-
Удельная поверхность, см ² /г	20600	-

Известно, что метакаолин позволяет повысить прочность бетона, его водонепроницаемость. Некоторые исследователи говорят об ускорении гидратации цемента в его присутствии. При этом особенности применения метакаолина в производстве тяжелых бетонов, его влияние на формирование фазового состава и долговечность цементных материалов при использовании как отдельно, так и в комплексе с микрокремнеземом и суперпластификатором, ранее основательно не изучали.

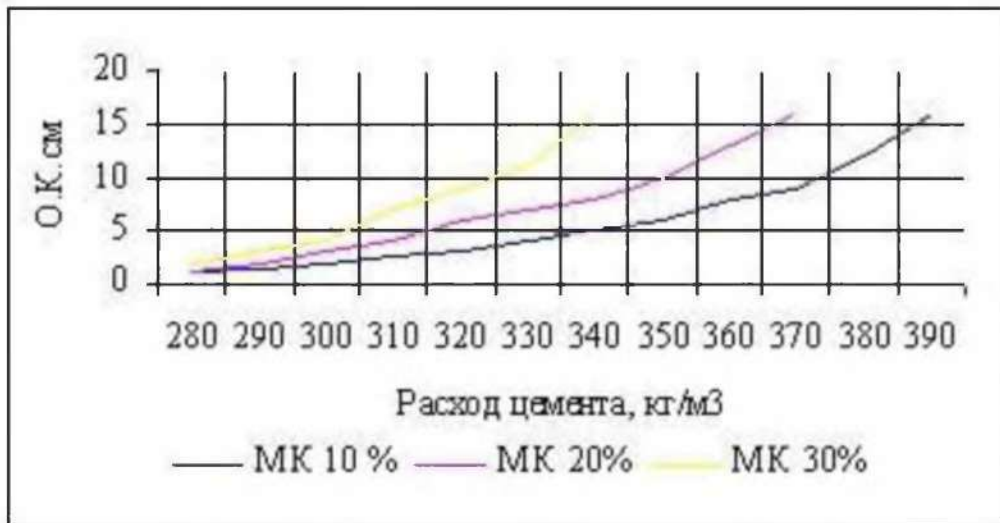
Второй активной минеральной добавкой, применяемой в работе, является микрокремнезем.

Микрокремнезем образуется в процессе выплавки ферросилиция и его сплавов. После окисления и конденсации некоторая часть диоксида кремния образует чрезвычайно мелкий продукт в виде шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема.

Популярность МК объясняется его уникальной способностью позитивно влиять на свойства строительных материалов, улучшая их качественные характеристики: прочность, морозостойчивость, проницаемость, химическую стойкость, сульфатостойкость, износостойкость и др., что позволяет им длительное время техногенным воздействиям.

Использование микрокремнезема позволяет получать из рядовых материалов бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками и уникальными конструкционными возможностями:

- Стойкость к истиранию
- Уменьшенный до 200—450 кг/м³ расход цемента
- Высокая прочность (прочность на сжатие 60—80 МПа) и сверхвысокопрочные (прочность на сжатие выше 80 МПа) бетоны, в т. ч. мелкозернистые
- Бетоны с высокой ранней прочностью при твердении в нормальных условиях (25—40 МПа в 1 сут)
- Высокоподвижные (ОК=22—24 см) бетонные смеси повышенной связности — нерасслаиваемости
- Повышенная антикоррозионная стойкость. Добавление МК снижает водопроницаемость на 50%, повышает сульфатостойкость на 100%
- Морозостойкость F200-F600 (до F1000 со специальными добавками)
- Повышенная долговечность (стойкость к сульфатной и хлоридной агрессии, воздействию слабых кислот, морской воды, повышенной до 400 С температур и морозостойкости).



Влияние МК на пластичность и расход цемента. (рис.1.)

В данной работе применялся микрокремнезём производства ООО «Микросилика» «Челябинский Электрометаллургический Комбинат».

Таблица 8 - Химический состав МК

Содержание основных оксидов микрокремнезёма, в % по массе						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃
91,9	0,8	1,1	1,4	2,7	1,8	0,3

Таблица 9 - Свойства МК

Показатель	Значение	Нормы по ТУ
Массовая доля МК в пересчёте на сухой остаток, не менее, %	97	97
Средний размер частиц, мкм	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2
Насыпная плотность, кг/м ³	220	215 – 320
Истинная плотность, кг/м ³	224	222 – 226
Удельная поверхность, см ² /г	12000	12000 – 13000

5) Вода - Вода для затворения бетонной смеси должна удовлетворять требованиям ГОСТ

23732-79.

2.2 Методы исследования

В этом разделе опишем методы, применяемые при исследовании жаростойкого бетона.

Рассмотрим методы исследования используемых материалов подробнее.

Одним из важнейших свойств для цемента является активность, или его марка, ее определяют по прочности на сжатие и изгиб стандартных образцов размером 40x40x160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 нормальной консистенции после необходимого срока твердения (для портландцемента – 28 сут) в стандартных условиях (ГОСТ 310.4-81). Ниже рассмотрена методика определения марки (активности) портландцемента. [13]

При определении марки цемента мы использовали стандартный песок, что позволило исключить влияние качества песка на прочность испытуемого цемента. Стандартный песок (ГОСТ 6139-91) представляет собой чистый кварцевый песок (содержание $SiO_2 > 98\%$; потери при прокаливании $< 0,05\%$; влажность $< 0,2\%$).

Так же не маловажным является определение предела прочности при изгибе. Испытание образцов и расчет предела прочности при изгибе выполняем в соответствии с инструкцией, прилагаемой к испытательной машине. Предел прочности при изгибе испытуемого цемента вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших значений результатов испытания трех образцов.

Следом происходит замер предела прочности при сжатии. Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергали испытанию на сжатие на прессах с предельной нагрузкой 200... 500 кН.

Остаточную прочность бетона на сжатие, в %, определяют по формуле:

$$\gamma = \frac{R_t}{R} \cdot 100 \quad (\text{формула 1})$$

Водонепроницаемость в серии оценивают максимальным давлением воды сквозь тело образца, в нашем случае на четырех из шести образцах не наблюдалось просачивание воды. После выдерживания в ванне с водой подготовленные пробы или образцы взвешивают, ставят в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Постоянной считаем массу пробы (образца), при которой результаты двух последовательных взвешиваний отличаются не более чем на 0,1%. При этом время между взвешиваниями должно быть не менее 4 ч.

Перед повторным взвешиванием пробы (образцы) охлаждают в эксикаторе с безводным хлористым кальцием или вместе с сушильным шкафом до комнатной температуры.

Жесткость и подвижность бетонной смеси определяем по ГОСТ 10181.1.

Определяя остаточную прочность пользовались методикой, описанной в Справочном пособии к СНиП СНиП 3.09.01-85 и СНиП 3.03.01-87

Остаточная прочность представляет собой отношение в процентах прочности образцов после нагревания до 800°C и последующей выдержки над водой к контрольной прочности образцов для бетонов классов 8 и выше. Для бетонов классов ниже 8 остаточная прочность определяется процентным отношением прочности после (нагревания до предельно допустимой температуры применения и последующей выдержки над водой к контрольной прочности.

Средняя плотность жаростойкого бетона определяется на образцах размером $100 \times 100 \times 100$ мм после твердения и после высушивания до постоянной массы по ГОСТ 12730.1-78.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Из заданного состава бетона изготавливают три образца-куба с ребром 70 мм. образцы выдерживают в нормальных условиях твердения. По окончании срока выдерживания образцы распалубливают и делают замеры микрометром, снабженным, фиксирующим устройством, позволяющим устанавливать образцы в строго центральном положении по отношению к микрометру.

Замеры выполняют в трех взаимно перпендикулярных направлениях и вычисляют среднее арифметическое значение замеров. После этого образцы высушивают при температуре 105 - 110 °С до постоянной массы, затем нагревают до максимальной температуры применения данного вида бетона и выдерживают при этой температуре 4 ч. После охлаждения образцов их внимательно осматривают и при отсутствии трещин и признаков оплавления вновь измеряют по вышеуказанной методике.

Величину усадки каждого образца в процентах вычисляют по формуле

$$E_y = (l_1 - l_2) / l_1 \cdot 100,$$

где l_1 - среднее значение размера образца после твердения, мм; l_2 - среднее значение размера образца после нагревания до предельно допустимой температуры применения, мм.

Таблица 13 – Состав бетонной смеси с применением метакаолина (ТВО)

	Цемент, кг/м ³	Кр. Зап. кг/м ³	Мелк. Зап., кг/м ³	МТК, %	Sika, %	В/Ц	$\rho_{см}$, кг/м ³
1	500	1146	343	10	0,5	0,54	2148
2		1064	426			0,54	2102
3		993	496			0,54	2224
4		1146	343		1	0,52	1984
5		1064	426			0,52	2014
6		993	496			0,52	2110

При дозировке РСЕ в количестве 0,5%, в зависимости от соотношения фракций шамотного заполнителя, плотность бетонной смеси составляет от 2102 до 2252 кг/м³. Таким образом, при соотношении мелкого и крупного заполнителя в количестве 30 % достигается наиболее высокая плотность – и, соответственно, лучшая упаковка (расход цемента и В/Ц – одинаковые). Смеси – равноподвижные, так как в наибольшей степени влияет расход цемента, В/Ц отношение и расход РСЕ. При высоких значениях расхода добавок, подвижность, преимущественно, зависит от них, а соотношение заполнителя – практически не влияет.

При дозировке РСЕ в количестве 1% в зависимости от соотношения фракций шамотного заполнителя, плотность бетонной смеси составляет от 1984 до 2214 кг/м³. Наибольшей плотностью обладают смеси с соотношением фракций шамота – 50%.

Сравнивая плотности смесей с различной дозировкой РСЕ можно обнаружить, что наибольшей плотностью обладают смеси с дозировкой РСЕ – 0,5 %. Данную зависимость можно объяснить тем, что при введении суперпластификатора в большом количестве смесь приобретает повышенную пористость. Суперпластификатор имеет полезный побочный эффект – снижение усадки (получение

безусадочных бетонов). Это достигается газовыделением – по-видимому, в добавке содержится небольшое количество алюминиевой пудры. Соответственно, при значительных дозировках добавки (1%) - повышается закрытая пористость цементного камня. Поэтому составы бетона с дозировкой РСЕ 1% имеют повышенную пористость и, соответственно, пониженную плотность бетонной смеси. Соответственно, чем больше дозировка РСЕ, тем ниже плотность. Данный эффект полезен для таких свойств как морозостойкость и теплопроводности.

Таблица 13 – Состав бетонной смеси с применением микрокремнезёма (нормальное твердение – 3 суток)

	Цем, кг/м ³	Кр. Зап. кг/м ³	Мелк. Зап, кг/м ³	МК, %	Sika, %	В/Ц	ρ _{см} , кг/м ³
1	500	1146	343	10	0,5	0,53	2134
2		1064	426			0,53	2096
3		993	496			0,53	2096
4		1146	343		1	0,48	2170
5		1064	426			0,48	2111
6		993	496			0,48	2126

Таблица 14 - Состав бетонной смеси с применением микрокремнезёма (нормальное твердение – 7 суток)

	Цем, кг/м ³	Кр. Зап. кг/м ³	Мелк. Зап, кг/м ³	МК, %	Sika, %	В/Ц	ρ _{см} , кг/м ³
1	500	1146	343	10	0,5	0,52	2183
2		1064	426			0,52	2102
3		993	496			0,52	2088
4		1146	343		1	0,50	2170
5		1064	426			0,50	2108
6		993	496			0,50	2131

Таблица 15 – Состав бетонной смеси с применением микрокремнезёма (нормальное твердение – 28 суток)

	Цемент, кг/м ³	Кр. Зап. кг/м ³	Мелк. Зап., кг/м ³	МТК, %	Sika, %	В/Ц	ρ _{см} , кг/м ³
1	500	1146	343	10	0,5	0,54	2232
2		1064	426			0,54	2176
3		993	496			0,54	2169
4		1146	343		1	0,51	2165
5		1064	426			0,51	2192
6		993	496			0,51	2243

Таблица 16 – Состав бетонной смеси с применением микрокремнезёма (ТВО)

	Цемент, кг/м ³	Кр. Зап. кг/м ³	Мелк. Зап., кг/м ³	МТК, %	Sika, %	В/Ц	ρ _{см} , кг/м ³
1	500	1146	343	10	0,5	0,54	2120
2		1064	426			0,54	1992
3		993	496			0,54	1983
4		1146	343		1	0,51	1966
5		1064	426			0,51	1961
6		993	496			0,51	2012

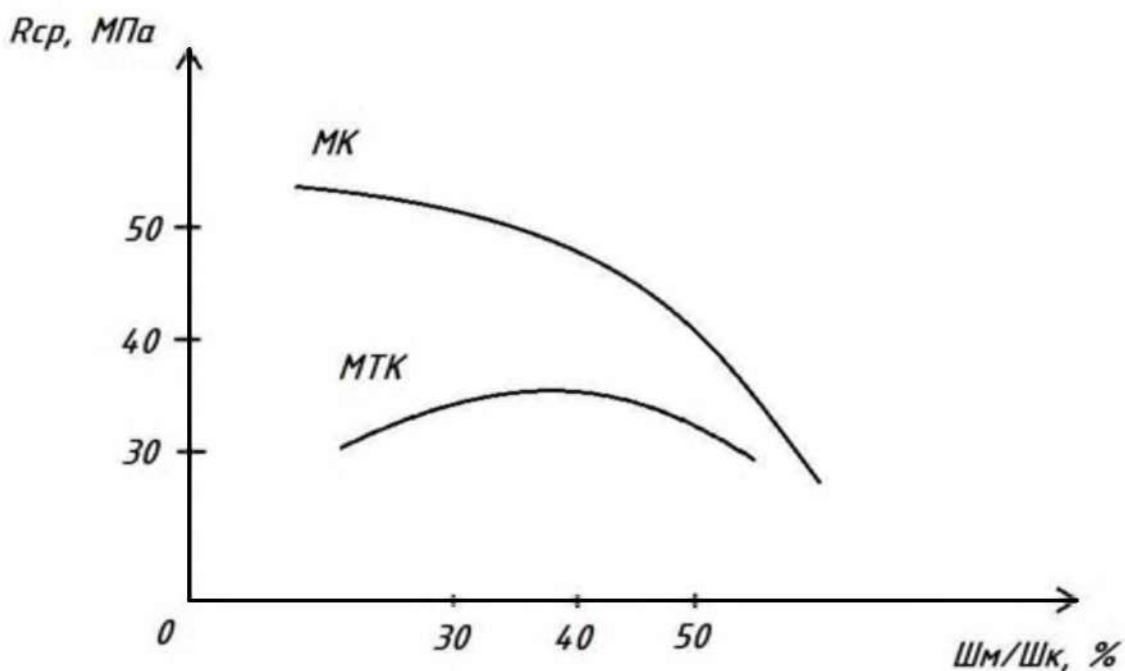
Таблица 17- Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МТК в 3-х суточном возрасте.

	Ш _м /Ш _к , %	РСЕ, %	ρ _{ср} , кг/м ³	Р _{ср} , МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	2010	22,6	0,1
2	40	0,5	2100	23,9	0,1
3	50	0,5	2044	19,9	0,1
4	30	1	2041	12,7	0,1
5	40	1	2100	13,5	0,1
6	50	1	2042	11,6	0,1

Таблица 18 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МК в 3-х суточном возрасте.

	Ш _м /Ш _к , %	РСЕ, %	ρ _{ср} , кг/м ³	Р _{ср} , МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	1920	50,5	0,1
2	40	0,5	1930	50,0	0,1
3	50	0,5	1941	35,8	0,1
4	30	1	1932	39,6	0,1
5	40	1	1924	42,0	0,1
6	50	1	1928	38,7	0,1

При исследовании жаростойкого бетона было выявлено, что усадка при обжиге (огневая) составляет 0,1 % для всех составов бетона. Усадка низкая, так как цементный камень с данными добавками (МК, МТК) достаточно огнеупорен, и спекание при температуре 800°С еще не начинается.



Влияние соотношения фракций шамота на $R_{сж}$ жаростойкого бетона в 3 – х суточном возрасте. (рис 2.)

Зависимость соотношения фракций шамота на $R_{сж}$ жаростойкого бетона в 3 – х суточном возрасте можно определить по (рис 2.)

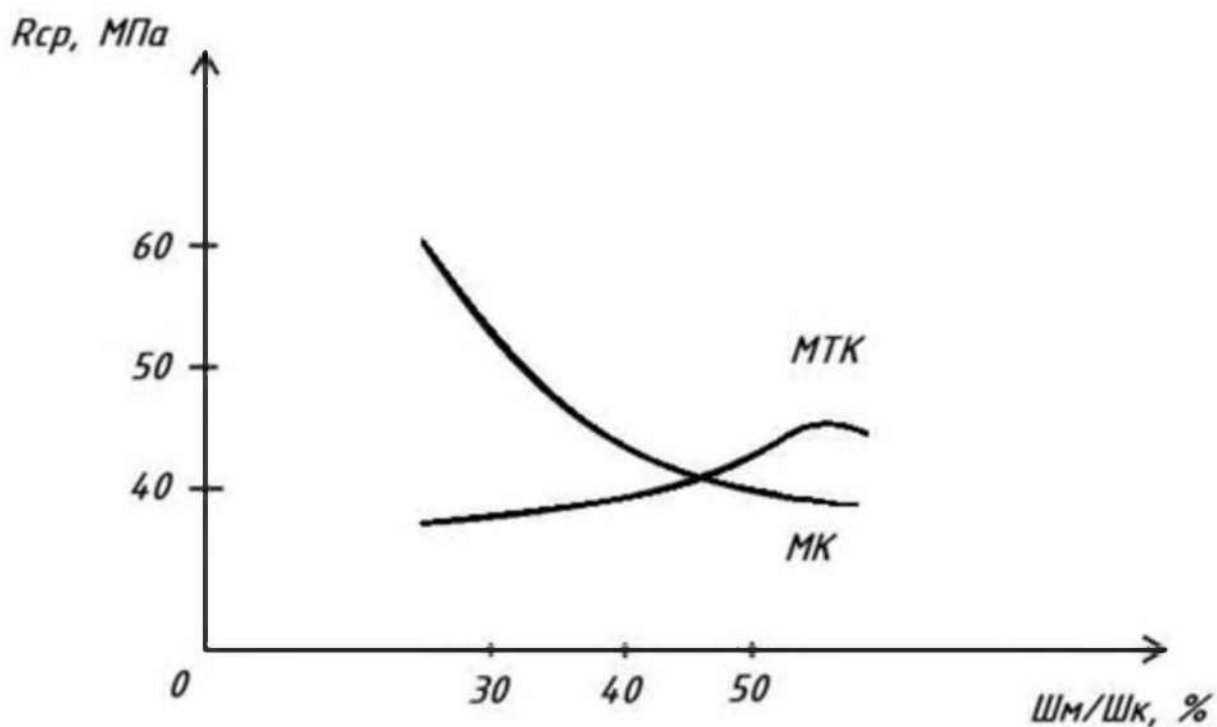
На данном рисунке видно, что при применении в составе жаростойкого бетона метаксаолина, оптимальным, является соотношение мелкой фракции шамота к крупной – 40%: 60 %. При применении добавки микрокремнезёма видна следующая зависимость: чем меньше мелкой фракции шамота, тем выше прочность жаростойкого бетона. Данную зависимость можно объяснить тем, что при увеличении количества мелкой фракции увеличивается межзерновое расстояние крупной фракции, в следствии чего происходит разуплотнение бетонной смеси, бетон получается менее плотной структуры. Соответственно, снижается его прочность.

Таблица 19 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МТК в 7-и суточном возрасте.

	Ш _М /Ш _К , %	РСЕ, %	$\rho_{\text{ср.}}$, кг/м ³	Рср, МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	1988	39,4	0,1
2	40	0,5	1924	39,5	0,1
3	50	0,5	1954	39,6	0,1
4	30	1	1946	28,4	0,1
5	40	1	1935	33,2	0,1
6	50	1	1962	45	0,1

Таблица 20 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МК в 7-и суточном возрасте.

	Ш _М /Ш _К , %	РСЕ, %	$\rho_{\text{ср.}}$, кг/м ³	Рср, МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	2140	58,0	0,1
2	40	0,5	2010	43,8	0,1
3	50	0,5	1986	38,7	0,1
4	30	1	2030	42,6	0,1
5	40	1	1994	39,6	0,1
6	50	1	2020	47,5	0,1



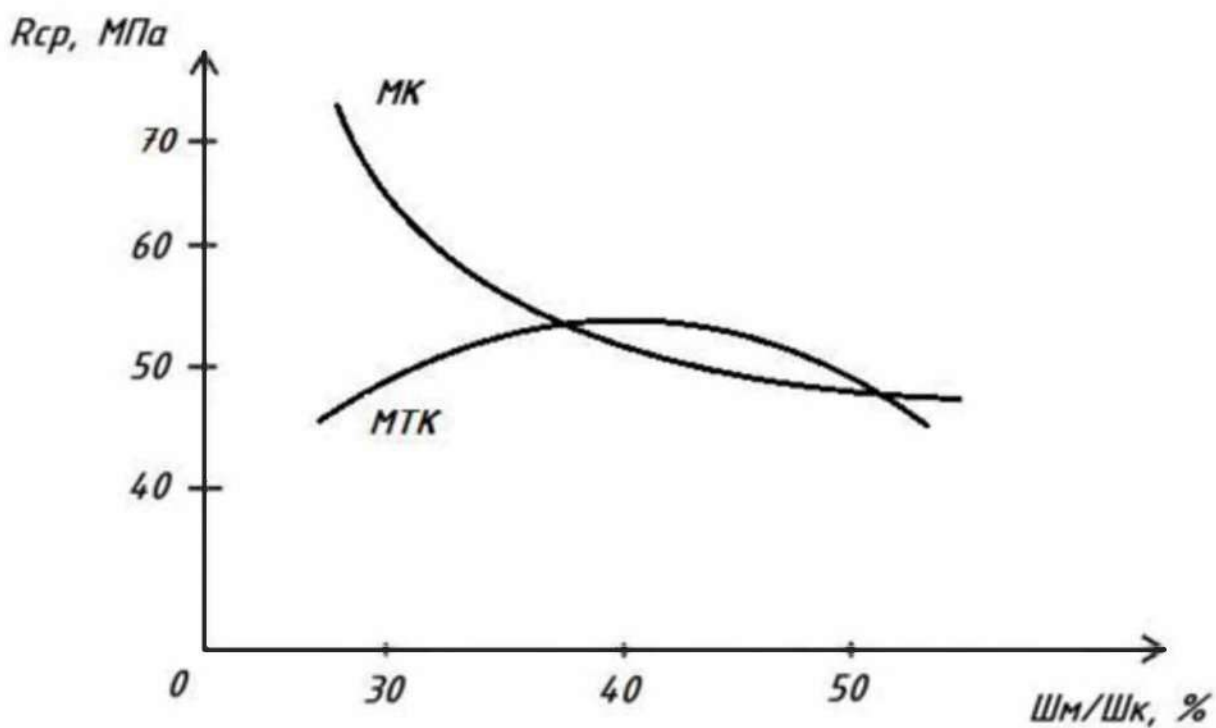
Влияние соотношения фракций шамота на $R_{сж}$ жаростойкого бетона в 7-и суточном возрасте. (рис.3)

Таблица 21 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МТК в 28-и суточном возрасте.

	$\text{Ш}_m/\text{Ш}_k, \%$	РСЕ, %	$\rho_{ср}, \text{кг/м}^3$	$R_{ср}, \text{МПа}$	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	1976	52,6	0,1
2	40	0,5	1954	56,7	0,1
3	50	0,5	1967	49,1	0,1
4	30	1	1958	40,9	0,1
5	40	1	1943	47,8	0,1
6	50	1	1961	64,7	0,1

Таблица 22 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МК в 28-и суточном возрасте.

	$\text{Ш}_M/\text{Ш}_K, \%$	PCE, %	$\rho_{\text{ср}}, \text{кг/м}^3$	$R_{\text{ср}}, \text{МПа}$	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	1988	72,5	0,1
2	40	0,5	1924	54,7	0,1
3	50	0,5	1954	48,4	0,1
4	30	1	1946	53,3	0,1
5	40	1	1935	49,5	0,1
6	50	1	1962	59,4	0,1



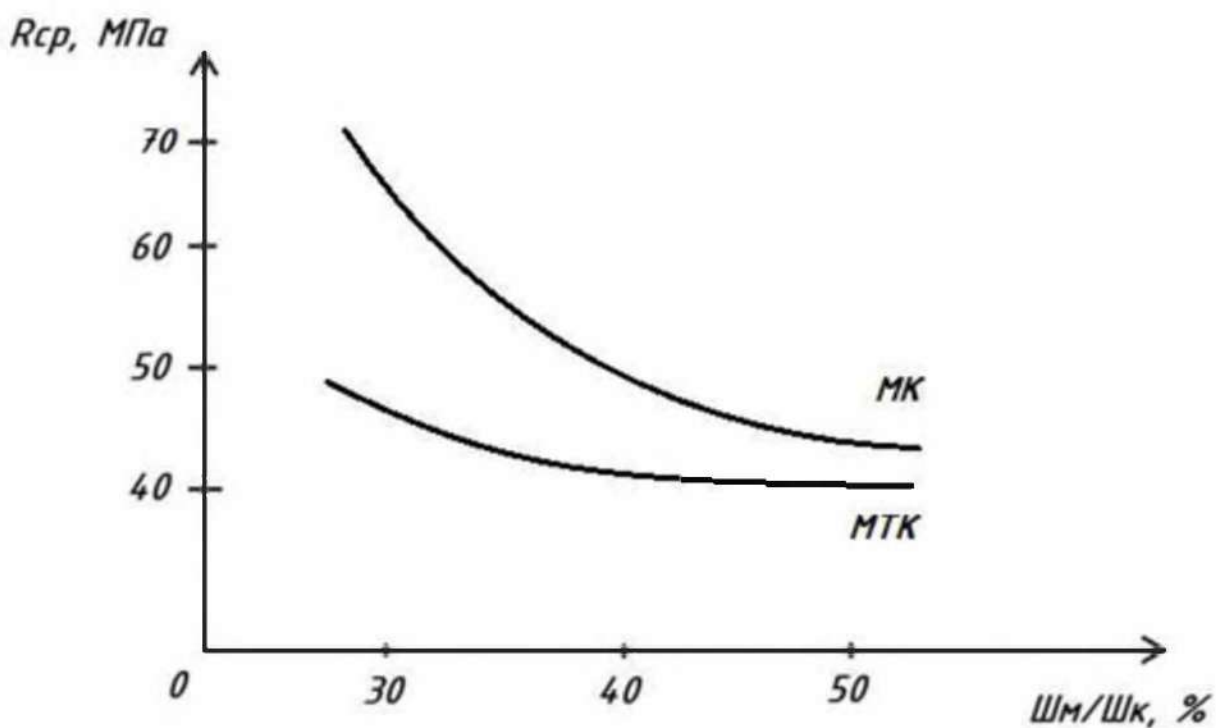
Влияние соотношения фракций шамота на $R_{\text{ср}}$ жаростойкого бетона в 28 -и суточном возрасте. (рис.4)

Таблица 22 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МГК после ТВО.

	$Ш_M/Ш_K, \%$	PCE, %	$\rho_{cp},$ кг/м ³	Rcp, МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	2050	45,3	0,1
2	40	0,5	2014	42,1	0,1
3	50	0,5	2120	40,3	0,1
4	30	1	2006	32,7	0,1
5	40	1	1987	38,2	0,1
6	50	1	1923	51,8	0,1

Таблица 23 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МК после ТВО.

	$Ш_M/Ш_K, \%$	PCE, %	$\rho_{cp},$ кг/м ³	Rcp, МПа	Усадка при обжиге, %
1	30	0,5	2023	66,7	0,1
2	40	0,5	1925	50,4	0,1
3	50	0,5	1961	44,5	0,1
4	30	1	1944	49,0	0,1
5	40	1	1931	45,5	0,1
6	50	1	1989	54,6	0,1



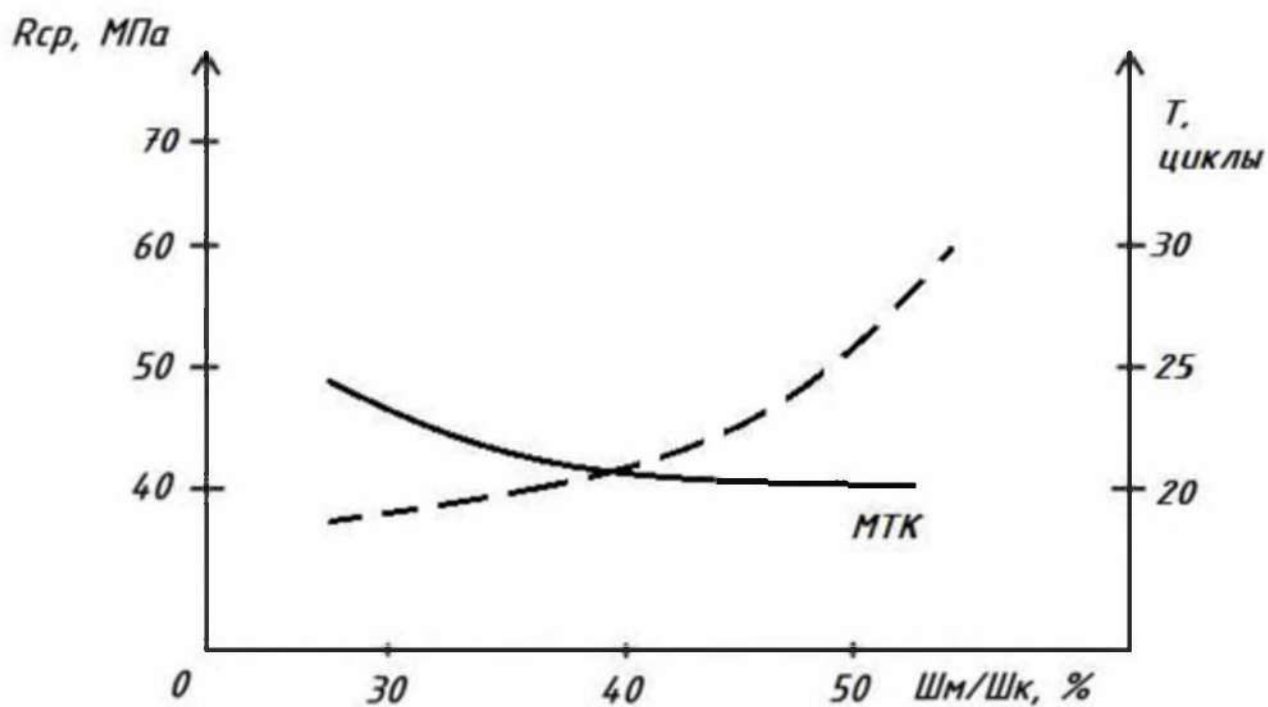
Влияние соотношения фракций шамота на $R_{сж}$ жаростойкого бетона после ТВО. (рис.5)

Таблица 24 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МТК после ТВО.

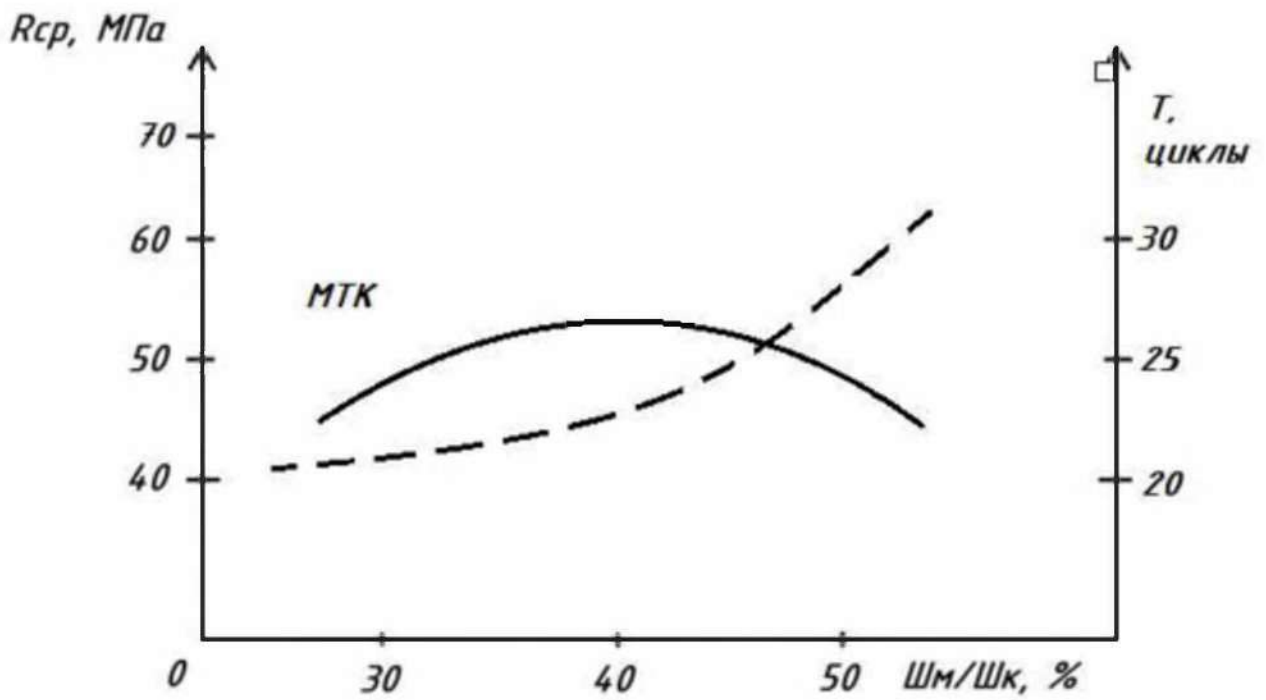
	$R_{тво}$, МПа	$R_{обж}$, МПа	Рост, %
1	45,3	32,2	71
2	42,1	26,5	63
3	40,3	26,6	66
4	32,7	21,3	65
5	38,2	26,7	70
6	51,8	30,8	68

Таблица 25 - Свойства жаростойкого бетона, с введённой добавкой МК после ТВО.

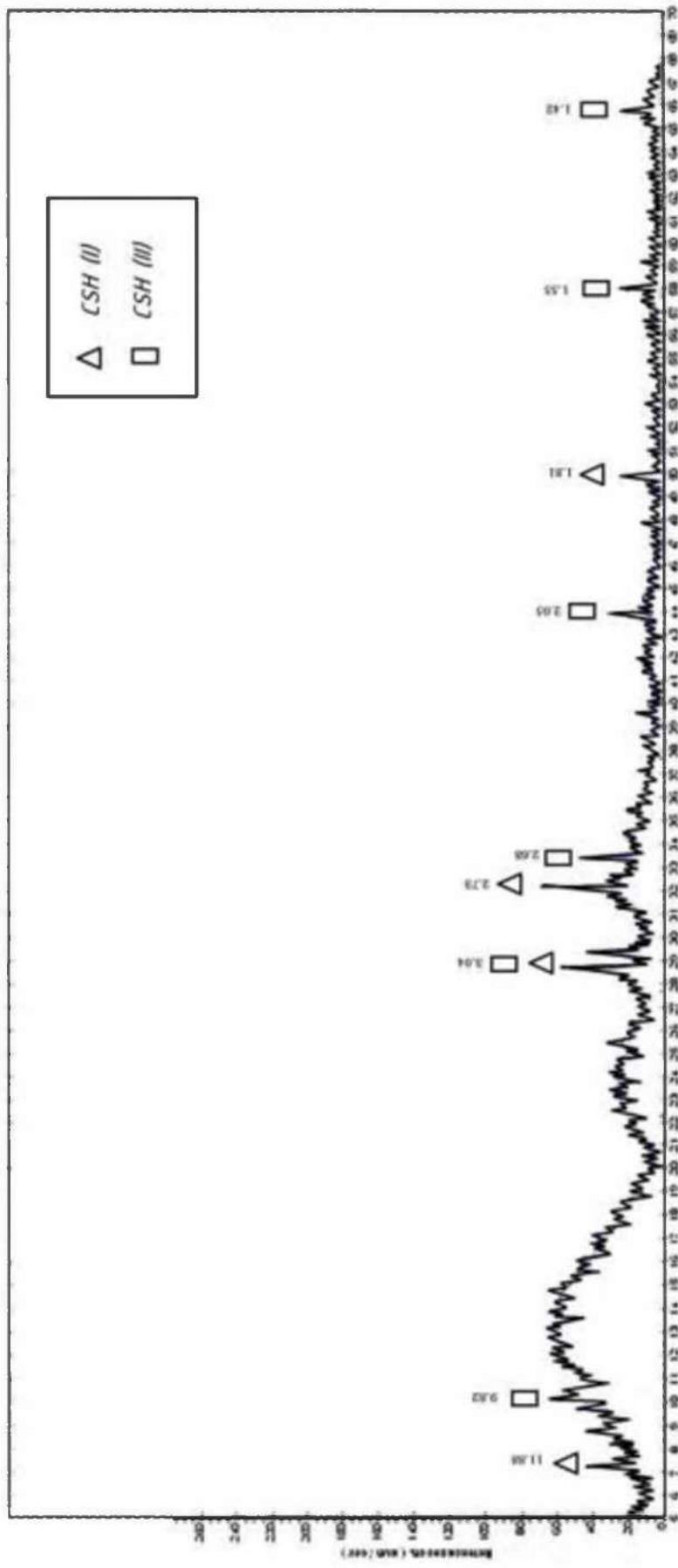
	Р _{тво} , МПа	Р _{обж} , МПа	Рост, %
1	66,7	46,0	69
2	50,4	35,3	70
3	44,5	32,0	72
4	49,0	32,3	66
5	45,5	29,1	64
6	54,6	37,7	69



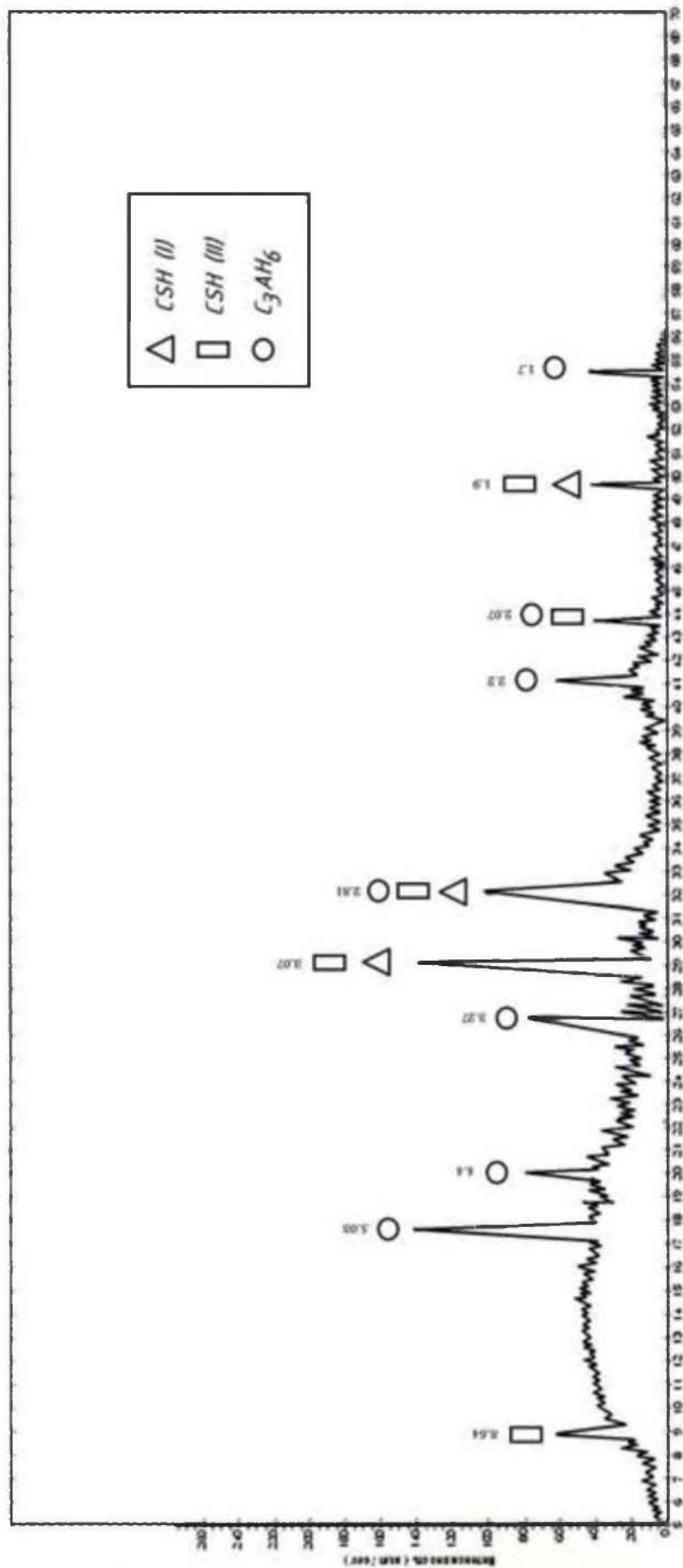
Зависимость прочности на сжатие образцов бетона с МТК от количества теплосмен после ТВО.(рис.6.)



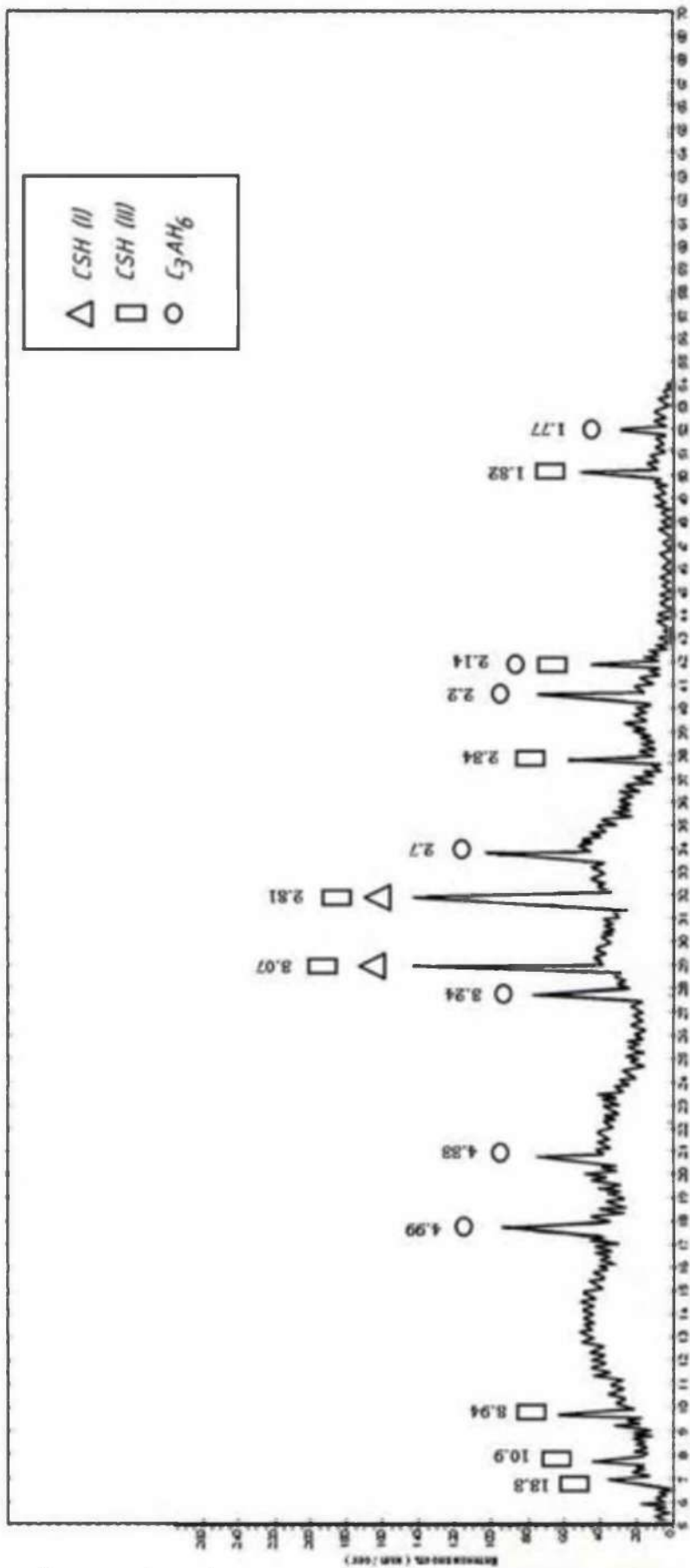
Зависимость прочности образцов на сжатие бетона с МТК от количества теплосмен 28 сут. (рис.7.)



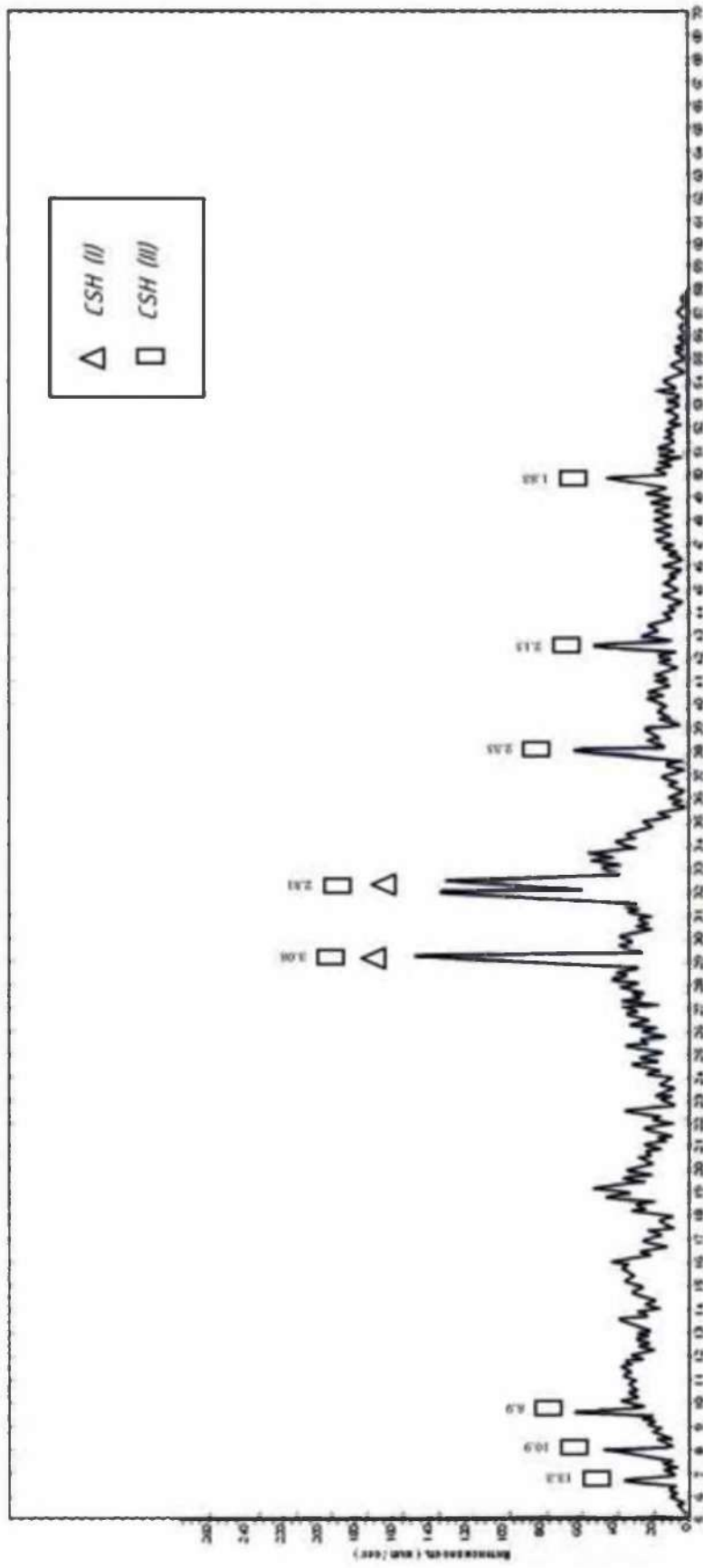
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Глава 4. Безопасность жизнедеятельности

Воздействие шамота на окружающую среду

Процесс производства шамота предполагает процесс обжига, что в свою очередь дает мощный выкидыш фенольных и сернистых материалов в воздух вокруг предприятий. Также, значительную роль в загрязнении окружающей среды играет шамотная пыль, попадающая в воздух от одной печи в количестве около 13800 тонн. Вдыхание такого вида пыли может развить у человека силикоз.

Максимальная разовая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать предельно допустимой концентрации для: шамотных изделий - 6 мг/м³, полукислых - 3 мг/м³ по гигиеническим нормативам.

- в местах выделения пыли используют индивидуальные средства защиты от пыли по ГОСТ 12.4.028 и ГОСТ 12.4.041.

СИЗод одноразового использования не подлежат чистке, регенерации, дезактивации, дегазации и дезинфекции и после использования сдаются в места временного хранения для последующей утилизации. Правила временного хранения и утилизации устанавливаются в стандартах общих технических условий на виды изделий и инструкциях по эксплуатации.

- Сменные элементы СИЗод могут подвергаться регенерации, дезактивации, дегазации и дезинфекции в соответствии с требованиями инструкций по эксплуатации.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

- СИЗОД многократного использования должны выдерживать чистку, регенерацию, дезактивацию, дегазацию и дезинфекцию в соответствии с регламентами на эти работы, изложенными в инструкциях по эксплуатации и других нормативных документах на конкретный вид СИЗОД.

Требования к утилизации средств индивидуальной защиты органов дыхания и их элементов.

Отработанные СИЗОД и их элементы должны подлежать утилизации в соответствии с требованиями стандартов на группы изделий, инструкций по эксплуатации. При невозможности утилизации отработанные СИЗОД и их элементы подлежат сбору в специально отведенные емкости и вывозу в места хранения и/или захоронения промышленных отходов в соответствии с действующими правилами.

Требования к инструкции по эксплуатации.

Каждая наименьшая упаковка изделий должна иметь инструкцию по эксплуатации, составленную изготовителем на языке страны-потребителя. Требования к содержанию инструкций устанавливаются в стандартах общих технических условий на конкретный вид СИЗОД.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции и, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно до-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						56

пустимых концентраций - максимально разовых рабочей зоны (ПДК_{мр.рз}) и среднесменных рабочей зоны (ПДК_{сс. рз}).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) отношений фактических концентраций каждого из них {K1, K2 . . . Kn} в воздухе к их ПДК (ПДК1, ПДК2 . . . ПДКn) не должна превышать единицы. [14]

Шамотные заполнители – экологически-чистый материал. По степени воздействия на организм человека алюмосиликатные заполнители отнесены к четвертому классу опасности, что делает необходимым использование средств защиты органов дыхания.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						57

Глава 5. Экономическая эффективность

Для сравнения эффективности применения разработанного состава жаростойкого бетона, в качестве эталона был принят состав бетона, изготовленного на глиноземистом цементе. Минимальный расход цемента при получении жаростойкого бетона класса В35 равен 450 кг.

Расход материалов, их стоимость и интегральный экономический эффект от применения разработанных комплексных добавок приведены в таблице далее.

Материал	Ед. Изм.	Норма расхода, на 1м3	Цена, руб за 1 кг	Стоимость на 1 м3, руб
Цемент ЦЕМ I 42,5Н	кг	500	4,8	2400
МТК/ МК	кг	50	30	1500
Шамот (кг	1500	10,54	15810
СП СИКА	кг	2,5	600	1500
Вода техническая	М3	0,270	25	7
Итого:				21217
ГЦ 40	кг	450	22	9900
Шамот	кг	1550	10,54	16337
Вода техническая	М3	0,3	25	8
Итого:				26245

В исследовании для изготовления 1м3 Жаростойкого бетона на модифицированном цементе была предложена бетонная смесь следующего состава:

- Цемент – 500 кг;
- Шамот – 1500 кг;
- Тонкомолотая добавка – 50 кг.

Выбор прототипа для сравнения заключается в достижении бетоном необходимой прочности. В следствии того, что жаростойкий бетон с шамотным заполнителем является низко прочным, а состав с введением тонкомолотых добавок и СП не изучено, было решено выбрать состав на ГЦ, т.к. жаростойкие свойства схожи, а прочность достигается путем введения добавок.

Библиографический список

- [1] Строительные материалы. Учебник для студентов вузов. — М.: Высш. школа, 1981. —412 с. ил. Горчаков Г. И.
- [2] Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Калинина В.А. Анализ состояния производства жаростойких композиционных материалов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2. Ч. 1 [Электронный ресурс]
- [3] Справочное пособие к СНиП. СНиП 3.09.01-85 и СНиП 3.03.01-87 Технология изготовления жаростойких бетонов Москва Стройиздат 1991
- [4] ГОСТ 20910-90: Бетоны жаростойкие. Технические условия.
- [5] Форилов, Алексей Иванович
Разработка составов и технологии безобжиговых огнеупорных карбидкремниевых строительных композиций
- [6] АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖАРОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Тарасов Роман Викторович, Макарова Людмила Викторовна, Калинина Вероника Андреевна
- [7] Тарасов, Роман Викторович
Эффективный жаростойкий материал на основе модифицированного глиношлакового вяжущего
- [8] Бастрыгина, Светлана Валентиновна
Изменение гидросиликатов магния в процессе хранения и возможность их переработки в строительные и технические материалы
- [9] Казлитин, Сергей Алексеевич
Фибробетон для тяжелонагруженных полов
- [10]Ерофеев, Павел Сергеевич
Оптимизация составов бетонов с применением численного моделирования
- [11]Тараканов, Олег Вячеславович
Структурообразование и твердение цементных бетонов с комплексными ускоряющими и противоморозными добавками на основе вторичного сырья
- [12] «В.С. Изотов, Ю.А. Соколова Химические добавки для модификации бетона Монография ПАЛЕОТИП Москва 2006 УДК 691 ББК 38.33 ИЗ8

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

