

На правах рукописи

Магилат Владимир Александрович

**ЖАРОСТОЙКИЙ ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ
АЛЮМОБОРФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО
И ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОТХОДОВ НЕФТЕХИМИИ**

Специальность 05.23.05 – "Строительные материалы и изделия"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа - 2002

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете и Башкирском филиале ЗАО «Тепломонтаж».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кузеев Искандер Рустемович.

Научный консультант: заслуженный изобретатель РСФСР
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
Абызов Александр Николаевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Недосеко Игорь Вадимович.
кандидат технических наук
Завьялов Олег Александрович.

Ведущая организация Челябинский филиал ЗАО «Союзтеплострой»

Защита состоится «20» декабря 2002 года на заседании диссертационного совета Д 212.289.02 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул.Космонавтов, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2002 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Денисов О.Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В области производства огнеупорных и жаростойких материалов в последнее время наметилась тенденция повышения требований к качеству применяемых жаростойких материалов, снижения потерь тепла и расхода топлива. Это явление наблюдается как в России, где оно усугубляется общим сложным положением в промышленности, так и за рубежом. Наиболее перспективными путями решения данной проблемы считаются: во-первых – замена дорогостоящих штучных обжиговых огнеупоров жаростойким бетоном, при производстве которого не требуется обжиг, возможно изготовление изделий крупных размеров и широкой номенклатуры, а также сокращаются сроки строительства; во-вторых – применение теплоизоляционных материалов, наибольший результат от использования которых достигается при высоких температурах. В связи с этим повышенную актуальность приобретают вопросы разработки новых жаростойких материалов для эффективной высокотемпературной тепловой изоляции.

Применение ячеистого жаростойкого бетона позволяет снизить потери тепла в окружающую среду и тем самым – расход топлива. В отличие от легких бетонов для его изготовления не требуются дефицитные легкие огнеупорные заполнители. Применение этого эффективного материала в настоящее время ограничено узкой сырьевой базой и, как следствие, высокой стоимостью. Существует несколько его видов (на различных вяжущих). Наибольшую температуру применения имеет газобетон на основе фосфатных связующих, использование которых в последнее время расширяется. Материалы на их основе обладают высокой прочностью, имеют стабильные свойства в широком интервале температур, а рабочая температура может достигать 1800°С. Широкое применение жаростойкого фосфатного газобетона сдерживается отсутствием доступных высококачественных связующих. Чаще всего используются алюмохромфосфатное (АХФС) и алюмофосфатное (АФС) связующие. Они отличаются высокой стоимостью (для производства АХФС необходимы дефицитные хромиты). Более дешевая магнийфосфатная связка (МФС) менее технологична – не подлежит длительному хранению, так как

склонна к старению (кристаллизации). Кроме того, продукты ее отверждения более легкоплавки.

Таким образом, вопросы расширения сырьевой базы для жаростойкого фосфатного газобетона за счет использования дешевых и доступных промышленных отходов и новых фосфатных связок являются весьма актуальными. Одно из возможных направлений снижения себестоимости – замена применяемых в настоящее время в производстве газобетона связок сравнительно недорогой, качественной и, что немаловажно, выпускающейся промышленностью алюмоборфосфатной связкой (АБФС). Относительно дорогие дисперсные огнеупорные заполнители можно без заметного снижения свойств заменять на промышленные отходы надлежащего состава.

Целью настоящей работы является разработка на основе алюмоборфосфатного связующего и высокоглиноземистых промышленных отходов жаростойкого газобетона, твердеющего без применения термообработки, со средней плотностью 500...800 кг/м³ и температурой применения 1400...1600°С.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование основных показателей реакции взаимодействия дисперсного металлического алюминия с АБФС;
- исследование фазовых превращений и физико-химических процессов, протекающих при нагревании поризованных композиций на основе АБФС и дисперсного металлического алюминия;
- разработка составов газобетона со средней плотностью 400...800 кг/м³ на основе АБФС, шамота и корундовых отходов с добавкой высокоглиноземистых отходов производства синтетического каучука;
- исследование физико-механических и жаростойких свойств газобетона;
- внедрение разработанного газобетона и определение его технико-экономических показателей.

Научная новизна работы:

- изучены фазовый состав и превращения, протекающие при нагревании поризованных композиций на основе АБФС и дисперсного алюминия;
- исследованы физико-механические и жаростойкие свойства газобетона на основе АБФС, шамота, корундовых отходов и отходов производства синтетического каучука;
- установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств газобетона от содержания фосфатного связующего и дисперсного алюминия;
- на основе полученных математических моделей разработаны оптимальные составы жаростойкого газобетона, не уступающие известным аналогам по физико-механическим и жаростойким свойствам.

Практическое значение работы состоит в том, что разработан жаростойкий газобетон на основе алюмоборфосфатного связующего с шамотным и корундовым наполнителями со средней плотностью 400...800 кг/м³ и температурой применения 1400...1600°С. Газобетон имеет высокие физико-механические и жаростойкие свойства, способен заменить в футеровках тепловых агрегатов дорогостоящие шамотные легковесные огнеупоры и жаростойкие бетоны на основе дефицитных технических материалов. Отличительной особенностью фосфатного газобетона является его способность твердеть в короткие сроки в естественных условиях, без термообработки. Полученный материал отличается низкой стоимостью по сравнению с газобетоном на основе алюмофосфатного и алюмохромфосфатного связующих.

Разработанные составы газобетона переданы ООО «ПАККО» (г. Пенза), где осуществляется производство изделий из жаростойкого фосфатного газобетона для изоляции стекловаренных печей. Расчетный экономический эффект за период 2000...2001 гг. составил 124587 руб. Изделия из жаростойкого газобетона на алюмоборфосфатном связующем использованы для изоляции стекловаренных печей Рославльского стекольного завода ОАО «СИТАЛЛ» (бывший Смоленск-

стеклотара), стекольного завода «СИМВОЛ» (г. Гусь-Хрустальный) и ЗАО «Агростройсервис» (г. Дзержинск).

Разработаны рекомендации по составам фосфатного газобетона на основе алюмоборфосфатного связующего, шамота, отходов производства электрокорунда и синтетического каучука. Полученные в ходе работы данные использованы при составлении рекомендаций по составам и технологии приготовления жаростойкого фосфатного газобетона и технических условий – ТУ 5713-046-00290038-2002.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались:

– за «круглым столом» на IV Международной специализированной выставке по энергосбережению на промышленных предприятиях (Челябинск, 1999);

– на региональной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы использования сырьевой базы Челябинской области» (Челябинск, 2000);

– на региональной научно-практической конференции «Состояние и развитие сырьевой базы стройиндустрии Челябинской области» (Челябинск, 2001);

– на международной научно-практической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (Пенза, 2001);

– на международной научно-практической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (Пенза, 2002).

Разработанные материалы были представлены на :

– III Уральской межрегиональной выставке «Теплый дом. Энергосбережение в нашей жизни» (Челябинск, 1998);

– IV Международной специализированной выставке «Энергосбережение на промышленных предприятиях» (Челябинск, 1999);

– Строительной выставке межведомственного совета Госстроя России. (Екатеринбург, 1999);

– Уральской межрегиональной выставке «Теплый дом. Энергосбережение в нашей жизни» (Челябинск, 2002).

Автор защищает:

– состав и результаты исследования свойств поризованных жаростойких фосфатных композиций на основе АБФС и дисперсного металлического алюминия, твердеющих без термообработки;

– составы жаростойкого газобетона на основе АБФС, шамота, корундовых отходов и отходов производства синтетического каучука;

– результаты исследования физико-механических и жаростойких свойств газобетона на основе АБФС, шамота, корундовых отходов и отходов производства синтетического каучука;

– результаты испытания бетонов в промышленных условиях и технико-экономические показатели.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 7 научных работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, и основных выводов, содержит 134 страницы машинописного текста, 18 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 222 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. В последние годы в мировой практике производства жаростойких и огнеупорных материалов наметилась тенденция к повышению доли безобжиговых материалов (преимущественно жаростойких бетонов) и соответственно снижению доли мелкоштучных огнеупорных изделий.

Исследования жаростойких бетонов в нашей стране были начаты в 1940-х г.г. в ЦНИПСе в связи с наблюдавшейся в тот момент острой нехваткой огнеупоров.

Большой вклад в развитие теории и практики применения жаростойких бетонов в СССР и России внесли К.Д. Некрасов и его школа в НИИЖБе, группы исследователей в ЦНИИСКе, ВНИПИтеплопроекте, ВостИО, ЛТИ, МХТИ, ИОНХе, УралНИИСтромпроекте, МГСУ, КИСИ и некоторых других организациях. Работы в этой области ведутся и за рубежом.

В настоящее время промышленно выпускаются и широко применяются жаростойкие бетоны на основе портландцемента, жидкого стекла, глиноземистого и высокоглиноземистого цемента. Работами отечественных и зарубежных исследователей показано, что наилучшими жаростойкими и прочностными свойствами обладают жаростойкие бетоны на основе фосфатных связующих.

Перспективным направлением в технологии жаростойкого бетона является разработка его теплоизоляционных разновидностей – легкого бетона, особенно такого его вида, как ячеистый. Это позволяет существенно экономить материалы, снижать размеры и массу ограждающих конструкций и, главное, – уменьшать расход топлива в тепловых агрегатах и потери тепла в окружающую среду. Последнее особенно актуально из-за постоянного роста цен на энергоносители. Наиболее эффективной разновидностью легкого жаростойкого бетона является ячеистый. Для него не требуются дефицитные и дорогие фракционированные огнеупорные пористые заполнители, в таком материале нет температурных напряжений, обычно возникающих на границе заполнителя и цементного камня..

В ЦНИИСКе на основе золы-уноса, алюминиевой пудры и ортофосфорной кислоты (ОФК) был разработан газозолобетон с плотностью 500 кг/м^3 и температурой применения 800°C . Последующими работами ЦНИИСКА было показано, что на основе ОФК, алюмохромфосфатного связующего и технического глинозема можно получить ячеистый бетон со средней плотностью $800\text{...}1200 \text{ кг/м}^3$ и температурой применения 1500°C . Серьезными недостатками, затрудняющими распространение этого материала, являются особенности технологии – применение двухстадийной термообработки..

В 1970...80-х гг. в УралНИИСтромпроекте был получен жаростойкий фосфатный газобетон со средней плотностью $400\text{...}1000 \text{ кг/м}^3$ и температурой применения $1400\text{...}1600^\circ\text{C}$. Его отличительной особенностью является твердение без термообработки, что позволяет легко наладить выпуск изделий практически любой формы и размеров. Вспучивание и затвердевание бетона осуществляется за счет

газо- и тепловыделения во время реакции между алюминиевой пудрой и ОФК или фосфатной связкой (например, АФС, АХФС или МФС).

Масштабы производства данного материала невелики из-за отсутствия доступных, дешевых и высококачественных связующих (как уже отмечалось выше, обычно используемые АФС и АХФС дороги, а дешевая МФС нетехнологична, продукты ее отверждения сравнительно легкоплавки).

Как показывает анализ литературных данных, наилучшими свойствами отличаются связующие на основе двойных и сложных фосфатов (алюмохромфосфатные, алюмоборфосфатные и другие). В наибольшей степени повышает их стабильность и соответственно стойкость при хранении и максимально возможную степень замещения, а зачастую и огнеупорность, введение трехвалентных катионов, в особенности Al^{3+} и Cr^{3+} . Трехвалентные катионы в фосфатных материалах способствуют образованию более упорядоченной структуры, что повышает их прочность. Применение соединений хрома нежелательно из-за высокой стоимости и по экологическим соображениям. Кроме того, технология приготовления хромсодержащих фосфатных связующих сложна. Из выпускаемых промышленностью связок интерес представляет алюмоборфосфатная. Известно, что плотные композиции на ее основе обладают высокими физико-механическими и жаростойкими свойствами. Возможность получения жаростойкого газобетона на основе АБФС методом самораспространяющегося экзотермического синтеза ранее не рассматривалась.

На основе анализа литературных данных можно предположить, что возможна замена в жаростойком фосфатном газобетоне применяемых в настоящее время связок на доступную и недорогую АБФС с сохранением высоких жаростойких и физико-механических свойств материала.

Материалы и методы исследования. В экспериментальной части данной работы использовалась 70%-ная термическая ортофосфорная кислота по ГОСТ 10678-76. Целесообразность использования кислоты именно такой концентрации для разведения готовых связок была ранее показана в работах по исследованию

газобетона на основе АХФС и других связках. Связующее готовилось смешиванием АБФС с кислотой в различных соотношениях с целью получения связок различной активности. В качестве АБФС применялся алюмоборфосфатный концентрат производства ЗАО «ФК» (г. Буй) по ТУ 113-08-606-87 (с изм. № 2 от 1999 г.). Концентрат представляет собой вязкую жидкость, плотность при 20°С – 1,6 г/см³ (согласно требованиям технических условий, плотность может находиться в пределах 1,5...1,7 г/см³). В качестве дисперсного алюминия использовалась пудра марки ПАП-2 по ГОСТ 5494-95.

При разработке поризованной композиции и подборе составов газобетона в качестве дисперсных наполнителей применялись шамотный порошок и тонкомолотый шамот производства Челябинского металлургического комбината и высокоглиноземистые промышленные отходы – отходы производства нормального электрокорунда АО "Челябинский абразивный завод" (высушенные корундовые шламы – порошок с размером зерна 0...0,2 мм), удовлетворяющие требованиям ГОСТ 20910, и отработанный алюмохромовый катализатор ИМ-2201 ОАО "Каучук" (г. Стерлитамак) по ТУ 38.103544-89. Химический состав и свойства заполнителей приведены в табл. 1,2. Выбор данных заполнителей обусловлен как их свойствами и составом, так и обширным положительным опытом использования в газобетоне на других фосфатных связках.

Таблица 1

Химический состав заполнителей

Тонкомолотая добавка	Содержание, %										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	C _{общ}	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п
Шамот	39,12	54,82	—	0,98	0,70	0,38	4,00	—	—	—	—
Шлам нормального электрокорунда	89,16	1,96	0,60	3,29	1,68	0,80	2,51	—	—	—	—
Отработанный катализатор ИМ-2201	71,60	12,03	12,10	—	0,70	—	1,3	—	0,76	0,32	1,19

Физико-механические свойства исходных материалов

Материал	Насыпная плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, см ² /г	Огнеупорность, °С
Шамотный порошок фр. 0...5 мм	1460	—	1670
Шамот тонкомолотый	1300	2500...3000	1670
Шлам нормального электрокорунда	1500	1100	2000
Отработанный катализатор ИМ-2201	1145	2145	1900

При проведении физико-химических исследований для оценки температурных интервалов фазовых превращений применялся дифференциально-термический анализ, а для дальнейшего уточнения фазового состава – рентгенофазовый анализ и ИК-спектроскопия. Физико-механические и жаростойкие свойства (плотность, предел прочности при сжатии, усадка, остаточная прочность и термостойкость) определялись стандартными методами.

Для обеспечения величины внутрисерийного коэффициента вариации (не должен превышать 5%) количество образцов в одной серии было установлено на уровне 6 шт. Все эксперименты проводились с использованием методов математического планирования эксперимента, а адекватность полученных на ПЭВМ моделей оценивалась в дальнейшем по величине критерия Фишера.

Основные результаты исследований. Для получения связующего соответствующей активности связка предварительно разводилась до плотности 1,5 г/см³ и смешивалась в различных соотношениях с ОФК. В дальнейшем в процессе разработки поризованной алюмоборфосфатной композиции исследовались основные показатели реакции взаимодействия дисперсного алюминия и связующего. Было установлено, что максимальная температура саморазогрева смеси составляет свыше 130°С (что достаточно для образования твердой композиции), минимальное время начала интенсивного взаимодействия - 3 мин. С увеличением содержания в смеси кислоты (то есть, фактически, с уменьшением степени замещения

водорода бором и алюминием в молекуле кислоты) повышается температура и уменьшается время начала интенсивного взаимодействия связующего с алюминием. При введении 3...5% алюминиевой пудры уже образуется твердая пористая масса. Наиболее технологичным является связующее с соотношением ОФК : АБФС = 50 : 50, которое и использовалось в дальнейшем. Это вполне согласуется с данными, полученными ранее в работах, посвященных исследованию газобетона на основе АХФС и алюмомагнийфосфатного связующего.

Изменяя соотношение исходных компонентов связующего и количество алюминиевой пудры, можно легко регулировать время начала взаимодействия связующего с пудрой, температуру саморазогрева и интенсивность вспучивания. В результате можно управлять свойствами композиции – плотностью и прочностью.

Физико-химическими методами исследования затвердевшей алюмоборфосфатной композиции установлено, что после твердения ее состав представлен аморфными гидрофосфатами бора и алюминия, а также большим количеством не прореагировавших частиц алюминия. В процессе дальнейшего нагревания происходит дегидратация и образование триполифосфата алюминия (выше 270°C), затем тетраметафосфата формы А. Конечными продуктами термических превращений при нагревании до 1300°C являются огнеупорные соединения, преимущественно $AlPO_4$ кристобалитового типа и небольшие количества корунда. Установлено, что присутствие соединений бора препятствует образованию кристаллических фаз (продукты реакции дольше остаются аморфными), что повышает прочность композиции.

При подборе составов жаростойкого фосфатного газобетона исследовалось влияние степени замещения связующего, жидко-твердого (Ж/Т) отношения и количества дисперсного алюминия. Граничными условиями были приняты:

– вспучивание и последующее твердение в течение 10...30 мин без термообработки, за счет саморазогрева смеси;

– температура применения газобетона свыше 1300°C при средней плотности 500...800 кг/м³;

– компоненты сырьевой смеси должны быть доступны и недефицитны, обеспечивать получение материала с заданной средней плотностью при максимальных значениях прочности при сжатии после твердения и нагревания до 1000°С.

В качестве основных параметров, влияющих на указанные свойства, выбраны следующие:

- расход связки в виде Ж/Т отношения;
- расход газообразователя – дисперсного алюминия;
- вид и соотношение тонкомолотых наполнителей.

Пределы изменения указанных параметров были приняты по результатам ранее проведенных нами работ и с учетом данных, уже известных для других связок аналогичной активности. Затем с использованием методов математического планирования эксперимента были рассчитаны регрессионные зависимости, количественно описывающие (полиномом второй степени) влияние Ж/Т отношения и содержания дисперсного алюминия на среднюю плотность и прочность при сжатии газобетона. В качестве примера можно привести изолинии предела прочности при сжатии и плотности, построенные по регрессионной зависимости (рис. 1). Сопоставлением полученных зависимостей были выбраны оптимальные составы, характеризующиеся наибольшей прочностью при сжатии при заданных уровнях плотности. В результате проведенных исследований разработаны составы алюмоборфосфатного газобетона со средней плотностью 600, 700 и 800 кг/м³ (что соответствует маркам D600...D800 по ГОСТ 20910) на основе корундовых отходов с добавкой 20 % отработанного катализатора ИМ-2201. При использовании в качестве заполнителей шамота с добавкой отработанного катализатора получен газобетон с плотностью 500...700 кг/м³ (марки D500... D700).

В дальнейшем для разработанных составов газобетона были исследованы физико-механические и жаростойкие свойства. Изучение кинетики прочности при сжатии в процессе нагрева жаростойкого газобетона на корундовом заполнителе (при средней плотности 600 и 800 кг/м³) показало, что после сушки прочность возрастает.

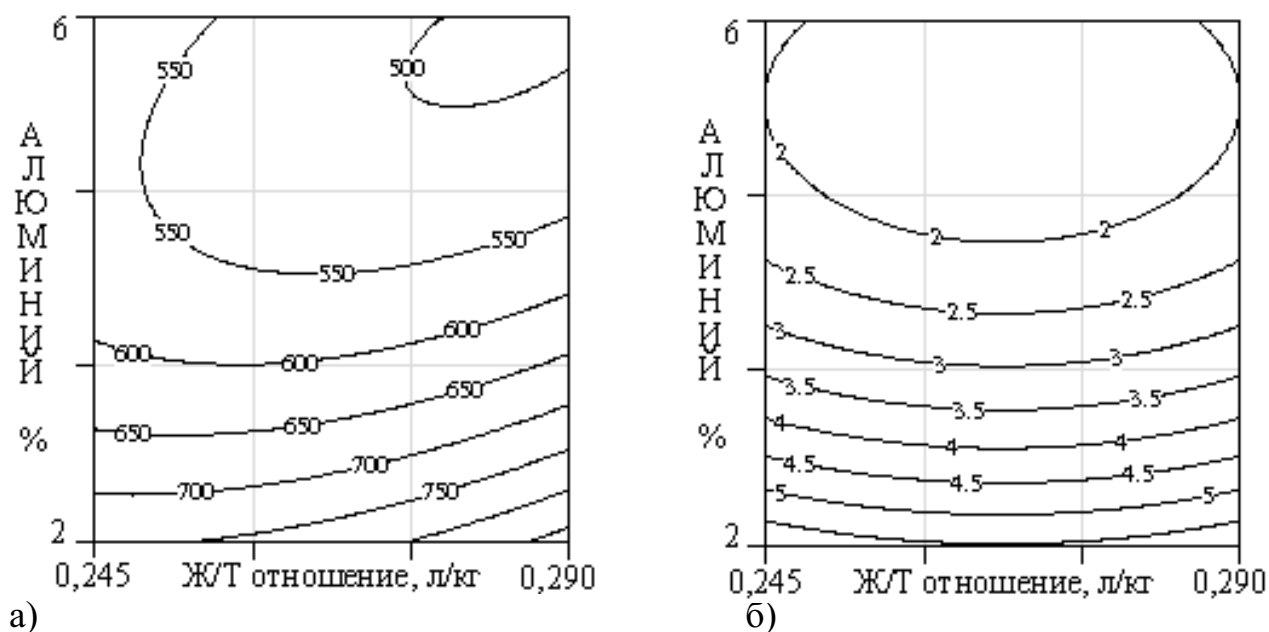


Рис. 1. Влияние количества связки и дисперсного алюминия на среднюю плотность и предел прочности при сжатии жаростойкого фосфатного газобетона на шамоте: а) - изолинии средней плотности (кг/м^3); б) - изолинии прочности при сжатии (МПа).

до 2,0...3,1 МПа. При последующем нагреве в интервале температур 200...1400°C она меняется незначительно, понижаясь до 1,5...2,5 МПа только при 1600°C.

Отсутствие прироста прочности можно объяснить тем, что спекание начинается при более высоких температурах. В целом динамика остаточной прочности примерно соответствует фосфатному газобетону на аналогичных заполнителях и АФС или АХФС. Термостойкость повышается по мере увеличения средней плотности бетона и в зависимости от величины последней составляет 10...25 воздушных теплосмен (табл. 3). Наибольшая термостойкость (при плотности 800 кг/м^3) – 30 теплосмен – даже превышает максимальную марку по термостойкости (Т₂₅), установленную для ячеистых бетонов по ГОСТ 20910.

Для уточнения процессов, протекающих в корундовом газобетоне при нагревании, были проведены дополнительные физико-химические исследования. Исходная композиция состоит из заполнителя и аморфных фосфатов.

Свойства газобетона на корундовом заполнителе

	Характеристика	Номер состава		
		1	2	3
1	Плотность после сушки, кг/м ³	600	700	800
2	Марка по плотности (ГОСТ 20910)	D600	D700	D800
3	Предел прочности при сжатии через 4 часа после изготовления, Мпа	1,9	2,3	2,8
4	Предел прочности при сжатии после сушки, Мпа	2,0	2,5	3,1
5	Предел прочности после нагрева до предельной температуры применения, МПа	1,7	2,0	2,3
6	Температурная усадка при предельной температуре применения, %	0,90	0,81	0,76
7	Остаточная прочность при 800°С, %	100	100	100
8	Термостойкость при 800°С, воздушные теплосмены / марка по термостойкости	<u>10</u> Т ₂ 10	<u>23</u> Т ₂ 20	<u>25</u> Т ₂ 25
9	Огнеупорность, °С	1700	1740	1770
10	Коэффициент линейного термического расширения в интервале от 20 до 1000°С, град ⁻¹ · 10 ⁻⁶	7,21	7,52	7,88
11	Коэффициент теплопроводности при 20°С, Вт/м · К	0,22	0,24	0,29
12	Предельная температура применения, °С	1600	1600	1600
13	Класс бетона по предельно допустимой температуре применения по ГОСТ 20910	И16	И16	И16

Процессы, протекающие при нагревании, можно в общем описать следующей схемой:

$\text{Al} + \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{аморфные гидрофосфаты алюминия и бора}$

$\downarrow 200^\circ\text{C}$

$\text{Al} + \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{аморфные продукты дегидратации} + \text{Al}(\text{PO}_3)_3 \text{ (формы A)}$

$\downarrow 560^\circ\text{C}$

$\text{Al} + \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{Al}(\text{PO}_3)_3 \text{ (формы A)} + \text{AlPO}_4$

$\downarrow 700^\circ\text{C}$

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{Al}(\text{PO}_3)_3 \text{ (формы A)} + \text{AlPO}_4$

$\downarrow 1000^\circ\text{C}$

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{AlPO}_4.$

Фосфаты бора содержатся в очень небольших количествах и не поддаются идентификации, их отражения на рентгенограммах практически не видны на фоне отражений заполнителя и интенсивных отражений соединений алюминия.

Рабочая температура применения, назначенная по величине 2%-ной усадки, составляет 1600°C .

Исследование кинетики изменения прочности шамотного газобетона показало рост прочности после сушки до 2,0...5,0 МПа. При последующем нагреве до 400 , 600 и 800°C прочность меняется незначительно, нагрев до 1000 и 1200°C показал некоторое ее снижение. При 1400°C возрастает усадка, заметно повышается прочность, что объяснимо началом спекания. Рост прочности при нагревании объясняется также большей активностью заполнителя (шамота), чем в корундовом газобетоне. Термостойкость значительно выше, чем у корундового бетона — 13...30 воздушных теплосмен у газобетона (то есть марки T_210 ... T_230 , см. табл. 4). Полученные результаты соответствуют свойствам газобетона на основе АФС. Установлено, что температура применения газобетона составляет 1400°C для марок D500, D600 и 1500°C - при плотности 700 кг/м^3 .

Разработанный газобетон превосходит аналогичный материал на основе МФС и соответствует по всем показателям газобетону на АФС.

На основе АБФС были изготовлены изделия из жаростойкого фосфатного газобетона для изоляции стекловаренных печей Рославльского стекольного завода

Свойства газобетона на шамотном заполнителе

	Характеристика	Номер состава		
		1	2	3
1	Плотность после сушки, кг/м ³	500	600	700
2	Марка по плотности (ГОСТ 20910)	D500	D600	D700
3	Предел прочности при сжатии через 4 часа после изготовления, МПа	1,9	3,0	4,8
4	Предел прочности при сжатии после сушки, Мпа	2,0	3,1	5,0
5	Предел прочности при сжатии после нагрева до предельной температуры применения, МПа	2,5	3,7	6,2
6	Температурная усадка при предельной температуре применения, %	0,7	0,5	0,9
7	Остаточная прочность при 800°С, %	118	109	116
8	Термостойкость при 800°С, воздушные теплосмены / марка по термостойкости	<u>13</u> Т ₂ 10	<u>17</u> Т ₂ 15	<u>30</u> Т ₂ 25
9	Огнеупорность, °С	1620	1680	1700
10	Коэффициент линейного термического расширения в интервале от 20 до 1000 °С, град ⁻¹ · 10 ⁻⁶	6,8	7,1	7,2
11	Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/м · К	0,11	0,14	0,17
12	Предельная температура применения, °С	1400	1400	1500
13	Класс бетона по предельно допустимой температуре применения по ГОСТ 20910	И14	И14	И15

ОАО «СИТАЛЛ» (бывший Смоленск-стеклотара), стекольного завода «СИМВОЛ» (г. Гусь-Хрустальный) и ЗАО «Агростройсервис» (г. Дзержинск). Изделия в виде блоков крепились к изолируемой поверхности путем приклеивания на фосфатную связку с последующей обвязкой. Полученные в ходе работы

данные использованы при составлении рекомендаций по составам и технологии приготовления жаростойкого фосфатного газобетона и технических условий – ТУ 5713-046-00290038-2002.

Расчетный экономический эффект от замены АХФС на алюмоборфосфатную связку за период 2000...2001 гг. составил 124587 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований на основе алюмоборфосфатного связующего, шамота и корунда с добавкой отходов нефтехимии разработаны составы жаростойкого газобетона со средней плотностью 500...800 кг/м³ и температурой применения 1400...1600°C.

2. Разработаны поризованные алюмоборфосфатные композиции, вспучивающиеся и затвердевающие без термообработки за счет газо- и тепловыделения при прохождении реакции между связующим и алюминиевой пудрой.

3. Установлено, что время начала интенсивного взаимодействия алюмоборфосфатного связующего с дисперсным алюминием и температуру смеси можно регулировать соотношением компонентов и степенью замещения связующего.

4. Физико-химическими исследованиями установлено, что в процессе нагревания разработанных поризованных композиций каких-либо деструктивных явлений не наблюдается. Конечными продуктами после нагревания до 1400°C являются стабильные огнеупорные соединения – α -Al₂O₃ и AlPO₄ кристобалитового типа.

5. Установлено, что введение в связующее борной кислоты способствует повышению содержания в нем алюмофосфатов и препятствует образованию кристаллических фаз.

6. Установлено, что основные физико-механические свойства газобетона можно регулировать Ж/Т отношением и количеством дисперсного алюминия. Рассчитаны регрессионные зависимости, количественно описывающие влияние Ж/Т отношения и количества дисперсного алюминия на среднюю плотность и прочность при сжатии газобетона. Установленные закономерности позволяют по-

лучать жаростойкий газобетон с заданными свойствами.

7. С использованием полученных зависимостей на основе АБФС, шамота и шлама нормального корунда с добавкой алюмохромовых отходов нефтехимии разработаны составы жаростойкого газобетона со средней плотностью 500...800 кг/м³ (марки D500...D800).

8. Установлено, что разработанные бетоны, в зависимости от состава и плотности после сушки, имеют прочность:

- шамотные 2,0...5,0 МПа;
- корундовые 2,0...3,1 МПа.

9. Термостойкость газобетона на основе корунда в зависимости от плотности составляет 10...25 воздушных теплосмен (марки T₂10...T₂25), на основе шамота – 13...30 (марки T₂10...T₂25).

10. Установлено, что основными конечными фазами после нагревания корундового газобетона до 1400°С являются α-Al₂O₃, AlPO₄ кристобалитового типа, которые формируются при меньших (чем в поризованных композициях) температурах под влиянием заполнителя.

11. На основании выполненных исследований назначены следующие максимальные температуры применения: для шамотного газобетона – 1400...1500°С (классы И14, И15), для корундового – 1600°С (класс И16).

12. Полученные данные использованы при составлении рекомендаций по составам и технологии приготовления жаростойкого фосфатного газобетона и технических условий – ТУ-5713-046-00290038-2002.

13. Изделия из разработанного фосфатного газобетона использованы в качестве элементов тепловой изоляции стекловаренных печей. Расчетный экономический эффект в 2001 г. от замены алюмоборфосфатной связкой АХФС при производстве изделий для тепловой изоляции стекловаренной печи ОАО «СИТАЛЛ» (г. Рославль Смоленской обл.), стекольного завода «СИМВОЛ» (г. Гусь-Хрустальный) и ЗАО «Агростройсервис» (г. Дзержинск) составил 124587 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Абызов А.Н., Магилат В.А. Применение металлургических шлаков, высокоглиноземистых промышленных отходов для изготовления жаростойких материалов // 300 лет горно-геологической службы России. Современное состояние и перспективы использования сырьевой базы Челябинской области: Сб. науч. статей науч.-практич. конф. – Челябинск: Комитет по природоресурсному комплексу, 2000. – С. 50-51.

2. Абызов А.Н., Магилат В.А. Промышленные отходы как сырье для изготовления жаростойких материалов // Состояние и развитие сырьевой базы строительной промышленности Челябинской области: Сб. науч. статей науч. практич. конф. – Челябинск: Комитет по природоресурсному комплексу, 2001. – С. 10-12.

3. Магилат В.А., Тимохин А.Л. Футеровочные материалы для нагревательных печей нефтепереработки и нефтехимии // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. науч. тр. Международной науч.-практич. конф. Ч.П. – Пенза: ПГАСА, 2001. – С. 20-21.

4. Абызов А.Н., Клинов О.А., Магилат В.А. Жаростойкий фосфатный газобетон на основе промышленных отходов // Информ. листок ЦНТИ № 83-61-01. – Челябинск: ЦНТИ, 2001. – 3 с.

5. Тимохин А.Л., Хуснияров М.Х., Магилат В.А. Влияние соотношения заполнителя на свойства жаропрочного керамзито-вермикулитового бетона // Интернет-журнал: Нефтегазовое дело.- 2001.- № 7. – 10 с.

6. Магилат В.А., Кузеев И.Р., Тимохин А.Л. Влияние компонентного состава алюмосиликатного керамзито-вермикулитового бетона на его эксплуатационные свойства // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. науч. тр. Международной науч.-практич. конф. – Пенза: ПГАСА, 2002. – С. 232-233.

7. Абызов А.Н., Абызов В.А., Магилат В.А., Трофимов Б.Я. Жаростойкий газобетон на алюмоборфосфатном связующем // Строительные материалы и изделия: Межвузовский сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – С. 30-35.