

Абызов Виктор Александрович

**ЖАРОСТОЙКИЙ ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ
АЛЮМОМАГНИЙФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО
И ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 05.23.05 – "Строительные материалы и изделия"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Пермь - 2000

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Б.Я. Трофимов.

Официальные оппоненты: д.т.н. А.Н. Чернов.
к.т.н. О.А. Завьялов.

Ведущая организация ЗАО «Союзтеплострой-Челябинск».

Защита состоится «__» июня 2000 года, в __ часов, на заседании диссертационного совета К 063.66.12 в Пермском государственном техническом университете по адресу: 614600, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29а, ауд. 423.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного технического университета.

Автореферат разослан «__» мая 2000 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат экономических наук,
доцент



А.В. Кикугин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В связи с интенсификацией производственных процессов и разработкой новых технологий рабочие температуры тепловых агрегатов повышаются, ужесточаются требования к качеству применяемых жаростойких материалов, потерям тепла и расходу топлива. Такая тенденция наблюдается не только в России, где она усугубляется экономическим кризисом, но и за рубежом, поэтому особую актуальность приобретают вопросы разработки новых жаростойких материалов для эффективной высокотемпературной тепловой изоляции. Значительный эффект достигается при замене дорогостоящих штучных легковесных огнеупоров ячеистым жаростойким бетоном. Для его производства не требуется обжиг, возможно изготовление изделий практически любой формы и размеров, повышается уровень механизации работ и сокращаются сроки строительства.

Применение ячеистого жаростойкого бетона позволяет снизить потери тепла в окружающую среду и тем самым — расход топлива. В настоящее время существует несколько его видов на различных вяжущих. Наиболее эффективным является газобетон на основе фосфатных связующих, которые в последнее время находят все большее применение. Материалы на их основе обладают высокой прочностью при сжатии и изгибе, имеют стабильные свойства во всем интервале температур, а рабочая температура может достигать 1800 °С. Широкое применение жаростойкого фосфатного газобетона сдерживается отсутствием доступных высококачественных связующих — обычно используемые алюмофосфатная (АФС), хромфосфатная и алюмохромфосфатная (АХФС) связки дороги и в настоящее время в России не выпускаются, при их производстве необходимы дефицитные хромиты, а более дешевая магнийфосфатная связка (МФС) склонна к старению (кристаллизации) и не может длительно храниться, 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 является весьма актуальными. Одно из воз-

бяз.
кз.

Южно-Уральский
гос. университет
НАУЧНАЯ

возможных направлений снижения себестоимости — повышение качества МФС путем ее модификации введением катионов алюминия. Это позволит увеличить длительность хранения без изменения свойств, а также повысит жаростойкие свойства газобетона на ее основе благодаря присутствию более огнеупорных фосфатов алюминия.

Целью настоящей работы является разработка на основе нового алюмомагнийфосфатного связующего (АМФС) и высокоглиноземистых промышленных отходов жаростойкого газобетона, твердеющего без применения термообработки, со средней плотностью $400 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ и температурой применения $1400 \dots 1600 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка способов получения АМФС на основе ортофосфорной кислоты и компонентов, содержащих соединения алюминия и магния.
2. Исследование основных показателей реакции взаимодействия дисперсного металлического алюминия с АМФС.
3. Исследование фазовых превращений и физико-химических процессов, протекающих при нагревании поризованных композиций на основе АМФС и дисперсного металлического алюминия.
4. Разработка составов газобетона со средней плотностью $400 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ на основе АМФС, шамота и корундовых отходов с добавкой высокоглиноземистых отходов производства синтетического каучука.
5. Исследование физико-механических и жаростойких свойств газобетона;
6. Внедрение разработанного газобетона и определение его технико-экономических показателей.
7. Разработка рекомендаций по составам и технологии приготовления АМФС и газобетона на его основе.

Научная новизна работы

— впервые разработаны рецептура и способы получения алюмомагнийфосфатных связок;

— изучены фазовый состав и превращения, протекающие при нагревании поризованных композиций на основе АМФС и дисперсного алюминия;

— исследованы физико-механические и жаростойкие свойства газобетона на основе АМФС, шамота, корундовых отходов и отходов производства синтетического каучука;

— установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств газобетона от степени замещения и количества фосфатного связующего, количества 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 модифицированного ионами алюминия магнийфосфатного связующего с шамотным и корундовым наполнителями со средней плотностью 400...1000 кг/м³ и температурой применения 1400...1600 °С. Газобетон обладает высокими физико-механическими и жаростойкими свойствами, 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 аломофосфатного связующего.

Разработанные составы газобетона и связок переданы ЗАО "Союзтеплострой – Челябинск" (г. Челябинск) и Башкирскому филиалу ЗАО "Тепломонтаж" (г. Уфа), где осуществляется производство изделий из жаростойкого фосфатного газобетона для изоляции стекловаренных печей. Экономический эффект за 1999 г. составил 48000 руб. Изделия из жаростойкого газобетона на аломомагнийфосфатном связующем использованы для изоляции стекловаренных печей Салаватского стекольного и Томского радиолампового заводов, Смоленского завода "Стеклотара";

а также при изготовлении фасонных элементов футеровки котлов ТЭС в г. Челябинске и области.

Разработаны рекомендации по составам, технологии приготовления и применения алюмомагнийфосфатного связующего и фосфатного газобетона на основе данного связующего, шамота, отходов производства электрокорунда и синтетического каучука.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на III Академических чтениях "Актуальные проблемы строительного материаловедения" (Саранск, 1997); научно-технической конференции по проблемам строительного материаловедения, посвященной памяти проф. Д.И. Чемоданова (Томск, 1998); 50 научно-практической конференции преподавателей и сотрудников ЮУрГУ (Челябинск, 1998); региональной конференции "Проблемы рационального природопользования и устойчивого развития Челябинской области. Проблемы химического загрязнения территорий" (Челябинск, 1999); международной научно-технической конференции "Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов" (Екатеринбург, 2000).

Разработанные материалы были представлены на выставках: III уральской межрегиональной выставке "Теплый дом. Энергосбережение в нашей жизни" (Челябинск, 1998); IV международной специализированной выставке "Энергосбережение на промышленных предприятиях". Челябинск, 1999.

Автор защищает:

- рецептуру и способы получения алюмомагнийфосфатных связок;
- состав и результаты исследования свойств поризованных жаростойких фосфатных композиций на основе АМФС со степенью замещения 0,25...0,75 и дисперсного металлического алюминия, твердеющих без термообработки;
- составы жаростойкого газобетона на основе АМФС, шамота, корундовых отходов и отходов производства синтетического каучука;

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

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

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 5 статьях и одном научно-техническом отчете.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, основных выводов и приложений, содержит 178 страниц машинописного текста, 28 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 205 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. В мировой практике производства огнеупоров систематически повышается доля безобжиговых материалов и, соответственно, снижается доля мелкоштучных огнеупорных изделий.

Систематические исследования жаростойких бетонов в нашей стране впервые были начаты в 1940-х гг. в ЦНИПСе, в связи с наблюдавшейся в тот момент острой нехваткой огнеупорных материалов.

В развитие основных положений теории и практики применения жаростойких бетонов в нашей стране большой вклад внесли К.Д. Некрасов и его школа в НИИЖБе, группы исследователей в ЦНИИСКе, ВостИО, ВНИПИтеплопроекте, ЛТИ, МХТИ, ИОНХе, УралНИИСтромпроекте, МГСУ, КИСИ и ряде других организаций. Исследования в области жаростойких бетонов проводят и за рубежом.

Широкое применение в различных отраслях промышленности нашли жаростойкие бетоны на портландцементе, глиноземистом и высокоглиноземистом цементе, жидком стекле и фосфатных связующих. Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что для получения жаростойких вяжущих и бе-

тонов с высокой прочностью, термостойкостью и температурой применения наиболее целесообразно применение фосфатных связующих.

Одним из наиболее перспективных направлений развития жаростойкого бетона является разработка легких теплоизоляционных бетонов. При этом в значительной степени экономятся материалы, снижается масса и толщина ограждающих конструкций, сокращается расход топлива в тепловых агрегатах и потери тепла в окружающую среду, что особенно актуально в связи с постоянным ростом цен на энергоносители. Эффективной разновидностью легких жаростойких бетонов являются ячеистые. В отличие от легких бетонов, для них не требуются фракционированные огнеупорные пористые заполнители, в этом случае отсутствуют температурные напряжения, возникающие на границе цементного камня и заполнителя, они имеют меньшую материалоемкость и теплопроводность.

В ЦНИИСКе на основе ортофосфорной кислоты (ОФК), золы-уноса и алюминиевой пудры разработан газозобетон с плотностью 500 кг/м^3 и температурой применения 800°C . На основе ОФК, алюмохромфосфатного связующего и наполнителя из технического глинозема в ЦНИИСКе были разработаны составы ячеистого бетона со средней плотностью $800\text{...}1200 \text{ кг/м}^3$ и температурой применения 1500°C . Необходимость применения двухстадийной термообработки (в формах и после распалубки изделий) является существенным недостатком и ограничивает использование такого материала преимущественно изготовлением малогабаритных изделий.

В УралНИИСтромпроекте получен жаростойкий фосфатный газобетон со средней плотностью $400\text{...}1000 \text{ кг/м}^3$ и температурой применения $1400\text{...}1600^\circ\text{C}$. Отличительной особенностью является то, что он твердеет без применения термообработки. Вспучивание и затвердевание бетона осуществляется за счет газо- и тепловыделения реакции взаимодействия алюминиевой пудры и ортофосфорной кислоты или фосфатных связок (алюмофосфатной, алюмохромфосфатной, магнийфосфатной) со степенями замещения $0,25\text{...}1,0$ атома водорода в кислоте.

Однако широкое применение жаростойкого фосфатного газобетона сдерживается отсутствием доступных высококачественных связующих – обычно используемые алюмофосфатная и алюмохромфосфатная связки дороги и в настоящее время в России не выпускаются, при производстве последней необходимы дефицитные хромиты, а более дешевая магнийфосфатная связка (МФС) склонна к старению (кристаллизации) и не может длительно храниться, продукты ее отверждения более легкоплавки

Анализ литературных данных показывает, что наилучшими эксплуатационными свойствами и стабильностью отличаются связующие на основе сложных фосфатов (алюмохромфосфатное, алюмоборфосфатное и другие). В наибольшей степени повышает их стабильность, и соответственно, стойкость при хранении и максимально возможную степень замещения, а также огнеупорность, введение катионов Al^{3+} и Cr^{3+} . Незначительные примеси поливалентных катионов, которые могут присутствовать в техническом сырье и промышленных отходах, практически не снижая огнеупорность, также увеличивают стабильность связующих за счет комплексообразования. Применение соединений хрома нежелательно из-за высокой стоимости и по экологическим соображениям. Кроме того, технология приготовления хромсодержащих фосфатных связующих сложна. Известно, что алюмомагнийфосфатные композиции обладают высокими физико-механическими и жаростойкими свойствами благодаря сочетанию в цементном камне фосфатов алюминия и магния.

Таким образом, анализ литературных данных и результаты поисковых исследований позволили выдвинуть гипотезу о возможности улучшения стабильности МФС и повышении максимальной степени замещения введением модифицирующих добавок, содержащих катионы Al^{3+} . Помимо увеличения сроков хранения связки, материалы на ее основе будут иметь большую температуру эксплуатации по сравнению с композициями на основе МФС, ввиду наличия в продуктах отверждения таких огнеупорных соединений, как фосфаты алюминия.

Материалы и методы исследования. В экспериментальной части работы при разработке алюмомагнийфосфатного связующего использовалась 60%-ная термическая ортофосфорная кислота по ГОСТ 10678, оксид магния марки "хч", порошок магнезитовый с содержанием $MgO=75\%$ производства АО "Комбинат Магнезит" (г. Сатка). При разработке поризованной композиции и подборе составов газобетона применялись алюминиевая пудра марки ПАП-2 по ГОСТ 5494, шамотный порошок и шамот тонкомолотый производства Челябинского металлургического комбината, отходы нормального электрокорунда АО "Челябинский абразивный завод", 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.

Таблица 1

Химический состав заполнителей

Тонкомолотая добавка	Содержание, %										
	Al_2O_3	SiO_2	Cr_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	$C_{общ}$	K_2O	Na_2O	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

Таблица 2

Физико-механические свойства исходных материалов

Материал	Насыпная плотность, $кг/м^3$	Удельная поверхность, $см^2/г$	Огнеупорность, $°C$
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 применялись дифференциально-термический и рентгенофазовый анализы, ИК-спектроскопия. Плотность, предел прочности при сжатии, усадка, остаточная прочность и термостойкость определялись стандартными методами.

Количество образцов в одной серии устанавливалось таким образом чтобы внутрисерийный коэффициент вариации не превышал 5 %. Эксперименты проводились с использованием методов математического планирования эксперимента, адекватность полученных на ПЭВМ моделей оценивалась по критерию Фишера.

Основные результаты исследований. Связка готовилась последовательным введением расчетных количеств MgO и $Al(OH)_3$ в ОФК при перемешивании. Установлено, что возможны три различных способа приготовления связки. По первому способу введение оксида магния обеспечивает разогрев связки до 30... 40 °С, затем добавляется гидроксид алюминия, взаимодействие с которым протекает без дополнительного нагрева. Во втором случае с целью ускорения процесса связка подогревается после введения $Al(OH)_3$. Третий способ предусматривает предварительную частичную нейтрализацию ОФК гидроксидом алюминия и последующее введение MgO , взаимодействие с которым в этом случае протекает спокойнее, чем с чистой кислотой. Первый способ позволяет при производстве связки отказаться от нагревания, третий — технологичнее, так как взаимодействие протекает менее интенсивно.

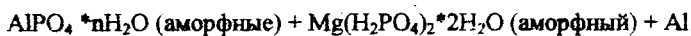
С целью получения АМФС, стойкой к старению, исследовалось влияние мольного соотношения между однозамещенными фосфатами алюминия и магния при различных степенях замещения на длительность хранения связки. Установлено, что связки со степенями замещения 0,25... 0,5 стабильны при любых соотношениях в течение длительного времени. Однозамещенная связка обладает наибольшей стойкостью при мольном соотношении $Al(H_2PO_4) : Mg(H_2PO_4)_2$ не менее 1. В дальнейших исследованиях использовалась связка с соотношением, равным 1. Такая связка сохраняет свойства в течение длительного времени — 4,5 месяцев (чистая МФС стабильна в течение 5 суток, затем начинается ее кристаллизация). Обычно

использующиеся при производстве фосфатного газобетона 0,25 и 0,5-замещенные связки могут храниться в течение 2 лет и более.

Для разработки поризованной алюмомагнийфосфатной композиции исследовались основные показатели реакции взаимодействия дисперсного алюминия и АМФС со степенями замещения 0,25...1,0. Установлено, что максимальная температура саморазогрева композиции составляет 170...180 °С, минимальное время начала интенсивного взаимодействия составляет 2 мин. 10 сек. С увеличением степени замещения связки снижается температура и увеличивается время начала интенсивного взаимодействия АМФС с алюминием. При введении 3 % и более алюминиевой пудры образуется твердая пористая масса с размером пор 1...6 мм. Таким образом, 0,25, 0,5 и 0,75-замещенные связки обеспечивают достаточный для затвердевания саморазогрев композиции.

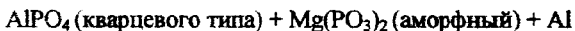
Соотношением исходных компонентов и степенью замещения АМФС можно в широких пределах регулировать время начала взаимодействия связующего с алюминиевой пудрой, температуру саморазогрева и интенсивность вспучивания.

Физико-химическими методами исследования затвердевшей алюмомагнийфосфатной композиций установлено, что после твердения они состоят из аморфных гидрофосфатов алюминия и магния и непрореагировавших частиц алюминия. Конечными продуктами термических превращений при нагревании до 1400 °С являются огнеупорные соединения: $AlPO_4$ (кристаллитового и тридимитового типов), корунд и $Mg_3(PO_4)_2$. Последнее соединение плавится при 1357 °С, однако наличие незначительных количеств жидкой фазы ускоряет раннее спекание бетона, что повышает его прочность. Приведенные исследования показывают, что превращения АМФС, отвержденного дисперсным алюминием, происходящие при его нагревании до 1400 °С, можно описать следующей схемой:





↓ 550 °C



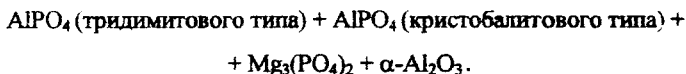
↓ 700 °C



↓ 1000 °C



↓ 1400 °C



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

- твердение в течение 10...30 мин без внешней термообработки,
- температура применения газобетона свыше 1300 °C при средней плотности 400...1000 кг/м³;
- компоненты сырьевой смеси должны быть доступны и недефицитны.

В качестве заполнителей использовались шамотный порошок и шамот тонкомолотый, отходы нормального электрокорунда и отработанный алюмохромовый катализатор ИМ-2201.

С использованием методов математического планирования эксперимента были рассчитаны регрессионные зависимости, описывающие влияние Ж/Т отношения и количества дисперсного алюминия на среднюю плотность и прочность при сжатии газобетона. Сопоставление полученных зависимостей позволило выбрать оптимальные составы, характеризующиеся наибольшей прочностью при сжатии при заданных уровнях плотности. В результате проведенных исследований разработаны составы газобетона со средней плотностью 400 и 600 кг/м³ (что соответствует маркам D400 и D600 по ГОСТ 20910) и поризованного газобетона с плотностью 800 и 1000 кг/м³ (марка D800 и D1000), затвердевающего без термообработки, на

основе АМФС и шамоте с добавкой 20 % отработанного катализатора ИМ-2201. При использовании в качестве заполнителей отходов нормального электрокорунда с добавкой отработанного катализатора получен газобетон с плотностью 600... 900 кг/м³ (марки D600... D900).

Для разработанных составов газобетона определялись физико-механические и жаростойкие свойства. Исследование изменения прочности при сжатии жаростойкого газобетона на корундовом заполнителе с добавкой отработанного катализатора (при средней плотности 600 и 800 кг/м³) показало, что после сушки она возрастает до 1,5...2,65 МПа (исходная 1,2...2,4 МПа) и при последующем нагревании в интервале температур 200...1000 °С меняется незначительно (рис.1, табл.3).

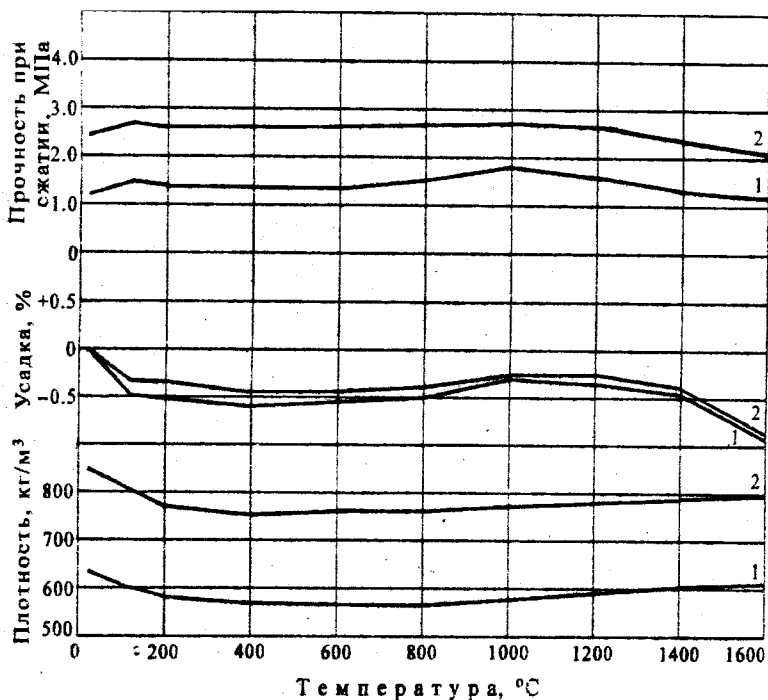


Рис. 1. Изменение прочности при сжатии, величины температурной усадки и средней плотности при нагревании газобетона на основе корундовых отходов: 1 — при средней плотности 600 кг/м³; 2 — при средней плотности 800 кг/м³

При нагревании до 1200, 1400 и 1600 °С прочность несколько понижается. Отсутствие прироста прочности можно объяснить тем, что спекание начинается при более высоких температурах. В целом остаточная прочность соответствует фосфатному газобетону на алюмофосфатной связке и аналогичных заполнителях. Термостойкость повышается по мере увеличения средней плотности бетона и в зависимости от величины последней составляет 10...30 воздушных теплосмен (табл. 3). Наибольшая достигнутая термостойкость (при плотности 900 кг/м³) — 30 теплосмен — превышает максимальную марку по термостойкости (Т₂₅), установленную для ячеистых бетонов по ГОСТ 20910.

Таблица 3

Свойства газобетонов на корундовом заполнителе

№ п/п	Характеристика	Состав					
		1	2	3	4	5	6
1	Плотность после сушки, кг/м ³	600	700	700	800	800	900
2	Предел прочности при сжатии через 4 часа после изготовления, МПа	1,21	1,87	1,41	2,42	1,72	1,81
3	Предел прочности при сжатии после сушки, МПа	1,52	2,18	1,62	2,65	1,80	2,01
4	Предел прочности после нагрева до предельной температуры применения, МПа	1,17	1,98	1,59	2,12	1,50	1,93
5	Температурная усадка при предельной температуре применения, %	-0,70	-0,76	-0,77	-0,80	-0,82	-0,71
6	Остаточная прочность при 800 °С, %	100	99	101	100	100	102
7	Термостойкость при 800 °С, воздушные теплосмены	10	23	21	30	30	30
8	Огнеупорность, °С	1770	1770	1770	1770	1770	1770
9	Коэффициент линейного термического расширения в интервале от 20 до 1000 °С, град ⁻¹ ·10 ⁻⁶	7,3	7,56	7,61	7,86	7,84	7,89
10	Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/м·К	0,22	0,24	0,24	0,29	0,29	0,36
11	Предельная температура применения, °С	1500	1600	1600	1600	1600	1600

Для уточнения процессов, протекающих в корундовом газобетоне при нагре-

вании, были проведены дополнительные физико-химические исследования. Состав исходной композиции представлен заполнителем и аморфными фосфатами. При нагревании происходит кристаллизация фосфатов магния и алюминия. Установлено, что при 700 °С, то есть раньше, чем в композициях без заполнителя, происходит образование метафосфата магния. Нагрев до 1000 °С обнаружил раннее образование ортофосфата алюминия кристобалитового типа, по-видимому, под влиянием заполнителя. Максимальная температура применения, назначенная по величине 2 % усадки и с учетом данных об эксплуатации ячеистого бетона на основе АФС и аналогичных заполнителей, составляет 1500 °С для марки D600 и 1600 °С для марок по плотности D700... D900.

Исследование кинетики изменения прочности шамотного газобетона на основе АМФС показало значительный прирост прочности после сушки — 2,5... 5,2 МПа и при 200 °С — дальнейшее повышение до 2,9... 6,8 МПа (рис. 2). При последующем нагреве до 400, 600 и 800 °С прочность меняется незначительно, нагрев до 1000 °С и 1200 °С показал некоторое ее снижение (табл. 4).

При 1400 °С возрастает усадка, прочность повышается в среднем на 20 %, что объясняется началом спекания. Большой прирост прочности при нагревании по сравнению с газобетоном на корунде объясняется большей активностью заполнителя. Установлено, что поризованный газобетон имеет меньшую огневую усадку, что объясняется положительным влиянием крупного заполнителя — шамота фракции 0...5 мм. Прочность поризованного шамотного бетона практически не меняется в интервале температур 200... 1400 °С, что также объясняется влиянием крупного заполнителя. Термостойкость значительно выше, чем у корундового бетона — 10... 12 воздушных теплосмен у газобетона (то есть марка T₂₁₀), 30 и 100 теплосмен у поризованного (см. табл. 4), что значительно превосходит наибольшее значение термостойкости, установленное для ячеистых бетонов. Установлено, что температура применения газобетона составляет 1400 °С и поризованного шамотного бетона — 1500 °С. По данным показателям материал превосходит газобетон на основе шамота и МФС и соответствует газобетону на АФС.

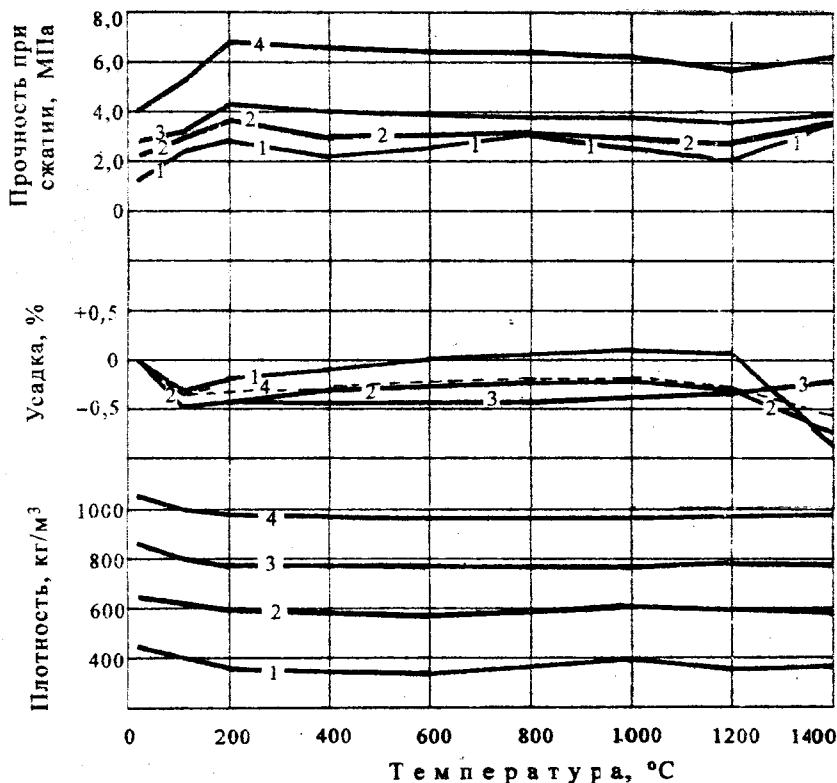


Рис.2. Изменение прочности при сжатии, температурной усадки и средней плотности при нагревании газобетона на основе шамота с добавкой отходов нефтехимии: 1 — при средней плотности 400 кг/м³; 2 — при средней плотности 600 кг/м³; 3 — при средней плотности 800 кг/м³; 4 — при средней плотности 1000 кг/м³

Из разработанного жаростойкого газобетона на основе нового — алюмомагнийфосфатного связующего изготовлены изделия для изоляции стекловаренных печей ОАО "САЛАВАТСТЕКЛО", Томского электролампового завода, а также для обмуровки низа верхних барабанов котлов ДЕ и ДКРВ при проведении ремонтных работ на ТЭС г. Челябинска и области. Экономический эффект от замены алюмохромфосфатной связки разработанной АМФС на 1 м³ газобетона со-

ставляет 3486 руб. Фактический эффект в 1999 г. по ЗАО "СОЮЗТЕПЛОСТРОЙ" составил 48000 руб

Таблица 4

Свойства газобетона на шамотном заполнителе

№ п/п	Характеристика	Состав			
		1	2	3	4
1	Плотность после сушки, кг/м ³	400	600	800	1000
2	Предел прочности при сжатии через 4 часа после изготовления, МПа	1,2	2,2	2,6	4,0
3	Предел прочности при сжатии после сушки, МПа	2,5	3,0	3,3	5,2
4	Предел прочности после нагрева до предельной температуры применения, МПа	3,4	3,5	1,9	4,5
5	Температурная усадка при максимальной температуре службы, %	-0,50	-0,65	-0,30	-0,75
6	Остаточная прочность при 800 °С, %	120	107	70	123
7	Термостойкость при 800 °С, воздушные теплосмены	10	12	30	100
8	Огнеупорность, °С	1600	1600	1600	1600
9	Коэффициент линейного термического расширения в интервале от 20 до 1000 °С, град ⁻¹ ·10 ⁻⁶	7,21	7,38	7,87	6,12
10	Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/м·К	0,09	0,14	0,16	0,25
11	Предельная температура применения, °С	1400	1400	1500	1500

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований на основе алюмомагнийфосфатно-связующего, шамота и корунда с добавкой отходов нефтехимии разработаны составы и технология изготовления жаростойкого газобетона со средней плотностью 400...1000 кг/м³ и температурой применения 1400...1600 °С.

2. Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность улучшения свойств магнийфосфатного связующего за счет введения катионов алюминия. Разработан новый вид связующего — алюмомагнийфосфатное, отличающееся

ся от МФС большей стойкостью к хранению и меньшей стоимостью по сравнению с АФС и АХФС.

3. Установлено, что наибольшей стойкостью к старению, вероятно, благодаря комплексобразованию, обладают алюмомагнийфосфатные связки с мольным соотношением $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3 : \text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ не менее 1.

4. Предложены 3 способа получения алюмомагнийфосфатного связующего различного состава, позволяющие значительно уменьшить затраты на нагрев связки и упростить ее приготовление за счет энергии, выделяющейся при нейтрализации ОФК соединениями алюминия и магния.

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

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

7. 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 — $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, AlPO_4 кристобалитового и тридимитового типов и $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$.

8. Установлено, что основные физико-механические свойства газобетона можно регулировать степенью замещения связующего, 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 получать жаростойкий газобетон с заданными свойствами.

9. С использованием полученных зависимостей на основе АМФС, шамота и шлама нормального корунда с добавкой алюмохромовых отходов нефтехимии

разработаны составы жаростойкого газобетона со средней плотностью 400...1000 кг/м³.

10. Установлено, что разработанные бетоны, в зависимости от состава и плотности через 4 часа после затвердевания имеют прочность:

- шамотные 1,2...4,0 МПа;
- корундовые 1,2...2,4 МПа.

После сушки прочность возрастает и незначительно снижается при нагревании до температуры применения.

11. Термостойкость газобетона на основе корунда в зависимости от плотности составляет 10...30 воздушных теплосмен, на основе шамота — 10...100.

13. 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.

14. На основании выполненных исследований назначены следующие максимальные температуры применения: для шамотного газобетона — 1400...1500 °С, для корундового — 1500...1600 °С.

15. Разработаны рекомендации по технологии приготовления АМФС и жаростойкого газобетона на ее основе.

16. Изделия из разработанного фосфатного газобетона использованы в качестве элементов тепловой изоляции стекловаренных печей и котлов ТЭС. Экономический эффект в 1999 г. от замены алумомагнийфосфатной связкой АХФС при производстве изделий для тепловой изоляции стекловаренной печи ОАО "САЛАВАТСТЕКЛО" и обмуровки котлов ТЭС г. Челябинска составил 48 000 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Трофимов Б.Я., Абызов В.А. Жаростойкий газобетон на алюмофосфатном и алюмокальцийфосфатном связующих // Актуальные проблемы строительного материаловедения: Сб. тр. Всерос. научн.-техн. конф. — Томск: ТГАСУ, 1998. — С. 96–97.
2. Трофимов Б.Я., Абызов В.А. Разработка фосфатного связующего для жаростойкого газобетона // Строительство и образование: Сб. науч. тр. — Екатеринбург: УГТУ, 1998. — С. 181–185
3. Абызов В.А., Трофимов Б.Я. Эффективные теплоизоляционные жаростойкие материалы на основе промышленных отходов // Проблемы химического загрязнения территорий Челябинской области: Сб. науч. статей. — Челябинск: Гос. ком. охраны окружающей среды Челябинской области, 1999. — С. 20–21
4. Получение экспериментально-теоретических зависимостей свойств строительных конгломератов: Отчет о НИР: ВНИЦентр. Руководитель Трофимов Б.Я. — № ГР 01.980006116, Инв. № 02990003667. — Челябинск, 1999. — 37 с.
5. Абызов В.А., Трофимов Б.Я. Разработка фосфатного связующего для жаростойкого газобетона // Вестник УГТУ: № 1. Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов: Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. — Екатеринбург: УГТУ, 2000. — С. 105–107.
6. Абызов В.А., Трофимов Б.Я. Жаростойкий фосфатный газобетон // Строительство и образование: Сб. науч. тр. — Екатеринбург, УГТУ, 2000. — Вып. 3. — С. 112–114.

Абызов Виктор Александрович

**ЖАРОСТОЙКИЙ ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ
АЛЮМОМАГНИЙФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО
И ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 05.23.05 — «Строительные материалы и изделия»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного университета

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 11.05.2000. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,0
Тираж 80. Заказ 225/203.

УОП Издательства. 454080. г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.