

На правах рукописи

Щукина Юлия Васильевна

**НЕАВТОКЛАВНЫЙ ЗОЛО-ЦЕМЕНТНЫЙ ГАЗОБЕТОН С
ХЛОРИДОМ И СУЛЬФАТОМ НАТРИЯ**

**05.17.11 - “Технология силикатных и тугоплавких
неметаллических материалов”**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Барнаул 2007

2

Работа выполнена на кафедре “Строительные материалы” Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Овчаренко Геннадий Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лотов Василий Агафонович

кандидат технических наук
Черных Константин Павлович

Ведущая организация: Томский государственный архитектурно-
строительный университет

Защита состоится « 31 » мая 2007 года в 11 часов на заседании диссертационного совета К 212.004.06 в Алтайском государственном техническом университете по адресу: 656038, г. Барнаул, пер. Некрасова 64, ауд. № 304 (химический корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Автореферат разослан « 25 » апреля 2007 г.

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

Напилкова О.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Производство неавтоклавных ячеистых бетонов, в том числе малыми предприятиями, - наиболее динамично развивающаяся сегодня отрасль стеновых материалов. Классическая технология таких бетонов базируется главным образом на цементе и немолотом песке. Применение зол ТЭЦ для ячеистых бетонов рекомендовано большинством нормативных документов. Наибольший эффект достигается при использовании высококальциевых зол.

Все предыдущие решения по разработке технологий неавтоклавных газобетонов на основе высококальциевых зол ТЭЦ от сжигания Канско-Ачинских углей были направлены на максимальное их введение в сырьевые смеси. Это приводило к неоправданно сложным и энергоемким технологиям (постоянное изменение дозировок и технологических режимов в соответствии с колебаниями свойств зол, обязательное пропаривание, и в некоторых решениях помол компонентов или сушка изделий). Все это не позволило широко внедрить предложенные технологии, особенно в условиях малых производств. Поэтому требовалась разработка технологии неавтоклавного газобетона на основе высококальциевых зол ТЭЦ, обеспечивающая получение материала со стабильно высокими строительно-техническими свойствами по технологии, не требующей пропаривания, помола и других сложных для малых производств переделов.

Работа выполнялась в рамках тематического плана госбюджетных НИР Федерального агентства по образованию и Алтайского научно-образовательного комплекса (тема № 57-06).

Цель работы. Разработка состава неавтоклавного золосодержащего газобетона с химическими добавками и технологии его производства для получения материала с улучшенными строительно-техническими свойствами без пропаривания и помола компонентов.

Задачи исследования.

1. Провести анализ физико-химических процессов технологии золосодержащих композиций для улучшения характеристик газобетона.
2. Исследовать физико-химические процессы при формировании фазового состава ячеистого материала на основе цемента, высококальциевой золы ТЭЦ и химических добавок, а также оценить их влияние на технологию и свойства газобетона.
3. Исследовать строительно-технические свойства материала и оценить влияние статистики колебаний состава высококальциевых зол на его свойства.
4. Провести заводское опробование технологии, разработать нормативно-техническую документацию и внедрить в производство неавтоклавный газобетон из предложенных композиций.

Научная новизна. Обоснован состав композиции для неавтоклавного газобетона, включающий цемент, 50-70 % высококальциевой золы и добавку NaCl или Na₂SO₄. Выявлены закономерности протекания процессов структуро- и фазообразования при твердении предложенной композиций. При этом установлено, что в результате обменных реакций между хлоридом или сульфатом натрия и свободной известью золы в присутствии алюминатов и алюмоферритов кальция образуется NaOH, а также AF_i и AF_m – фазы различного состава. Образовавшаяся щелочь явля-

ется катализатором процессов газовыделения, а AF_i и AF_m – фазы – активными структурообразующими компонентами камня. Также установлено, что:

- при использовании добавки хлорида натрия в золо-цементной системе наряду с ускорением гидратации свободного оксида кальция, исходных клинкерных минералов цемента и высококальциевой золы, увеличивается доля AF_m – фаз по сравнению с эттрингитоподобными AF_i – фазами. При этом AF_m – фазы представлены: C₃A•CaSO₄•12H₂O; C₃A•CaCl₂•10H₂O и C₃A•CaCO₃•12H₂O и кроме них в такой системе образуется значительное количество гидрокалюмита, который является членом серии твердых растворов между C₃A•CaCl₂•10H₂O и C₄AH₁₃₋₁₉;

- при применении добавки сульфата натрия образуется повышенное количество эттрингита, гидросиликатов кальция типа CSH (I и II) и кальцита. В такой системе отмечаются противоположные явления, заключающиеся в замедлении гидратации CaO_{своб} золы в ранние сроки за счет образования коллоидного эттрингита с одной стороны, и более интенсивное связывание портландита – с другой;

- установлены достоверные математические модели изменения основных строительно-технических свойств золо-цементного газобетона от состава и свойств высококальциевой золы: плотности, теплопроводности, прочности при сжатии и изгибе, собственных деформаций, морозостойкости. Главными параметрами золы, влияющими на отмеченные свойства материала, являются: свободная известь золы в открытом и закрытом состоянии, показатель активности золы – в виде критерия ΔT, водопотребность и другие.

Практическое значение. Предложенные и запатентованные (патент № 2259975) композиции, включающие портландцемент, высококальциевую золу ТЭЦ, а также хлорид или сульфат натрия, обеспечивают:

- снижение оптимального количества воды затворения в среднем на 5-10 % при увеличении высоты вспучивания массива на 15-20 %. Увеличение пластической прочности газобетонного массива на 120-180 % при сокращении времени ее достижения на 5-20 % по сравнению с цементно-песчаным газобетоном;

- компенсацию избыточных деформаций расширения золо-цементного камня за счет обменных реакций между свободной известью золы и химическими добавками. При этом предложенные составы позволяют получать неавтоклавный безусадочный газобетон со стабильными собственными деформациями;

- получение конструкционно-теплоизоляционного газобетона с пониженными средней плотностью ($\rho = 600-700 \text{ кг/м}^3$) и коэффициентом теплопроводности ($\lambda = 0,15-0,16 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$), при соответствии всех остальных характеристик требованиям ГОСТ 21520 и 25485.

Реализация работы. Разработаны технологические регламенты на производство неавтоклавного газобетона по резательной технологии и с применением многоместных форм. Результаты работы внедрены с 2003 г. на 16 малых предприятиях г. Барнаула. Это обеспечивает использование в летний период полного объема образующейся высококальциевой золы на ТЭЦ-3. Месячный объем производства в летний период оценивается в 4 тыс. м³ газобетонных изделий.

На защиту выносятся:

- теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение эффективности золо-цементной композиции с NaCl и Na₂SO₄ для газобетона по темпам структурообразования, ранней и поздней прочности, собственным деформациям камня и его долговечности;

- закономерности формирования фазового состава в исследуемых системах с химическими добавками;

- установленные закономерности и математические модели изменения основных строительно-технических свойств золо-цементного газобетона с химическими добавками от состава и свойств высококальциевой золы: плотности, теплопроводности, прочности при сжатии и изгибе, собственных деформаций, морозостойкости;

- результаты опытно-промышленной апробации и внедрения технологии неавтоклавного золо-цементного газобетона.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции “Современные строительные материалы”, г. Новосибирск, 2004 г.; на X Академических чтениях РААСН «Достижения, проблемы и перспективные направления развития теории и практики строительного материаловедения», г. Казань, 2006 г.; на XIII международном семинаре Азиатско - Тихоокеанской академии материалов (АТАМ) “Строительные и отделочные материалы, стандарты XXI века”, г. Новосибирск, 2006 г.; а также на ежегодных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ, г. Барнаул 2003 – 2006 гг.

Публикации. Результаты исследований изложены в 13 научных публикациях, в том числе в двух статьях в центральных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, содержит 210 страниц машинописного текста, 25 таблиц, 52 рисунка, список литературы из 145 источников и 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы и дается её общая характеристика.

В первой главе приведен анализ литературы, посвященной вопросу разработки технологии неавтоклавного газобетона на основе высококальциевых зол ТЭЦ. При этом даны понятия о ячеистых бетонах и технологиях их производства, рассмотрены как актуальные вопросы изготовления, так и свойства ячеистых бетонов, факторы, их обуславливающие.

Достаточное внимание уделено рассмотрению состава и свойств высококальциевых зол ТЭЦ, статистическим взаимосвязям между их составом и свойствами. На основе анализа публикаций таких исследователей, как А.В. Волженский, П.И. Боженков, Э.Г. Оямаа, Е.А. Галибина, Т.А. Ухова, А.А. Безверхий, К.В. Гладких, В.К. Козлова, Г.И. Овчаренко, А.В. Ришес, В.Б. Францен, В.В. Костин, К.П. Черных, Н.Г. Васильевская, Н.А. Артемьева и других, показаны преимущества использования высококальциевых зол в производстве ячеистых бетонов.

Основное препятствие при использовании золы как сырья для производства строительных материалов является содержание в ней свободной извести в состоянии пережога и иногда – повышенное содержание периклаза. Другое препятствие – это широкий разброс состава высококальциевой золы, определяющий значительные колебания свойств (прочности, средней плотности, морозостойкости и т.д.) готового материала. По литературным данным было установлено, что нейтрализовать негативное влияние $\text{CaO}_{\text{своб}}$ золы возможно различными способами: физическими, химическими, а также за счет совместного использования с цементом или другими «разбавителями». Наибольшее распространение для устранения деструк-

тивных явлений при твердении высококальциевых зол находят добавки хлористого кальция, соляной кислоты и других хлоридов.

Исследователи, занимавшиеся вопросом максимального использования высококальциевой золы для производства ячеистых бетонов, мало учитывали фактор изменчивости состава и свойств золы. Поэтому существовавшие производства золного газобетона характеризовались значительным процентом брака за счёт вариации свойств готовых изделий, другими технологическими проблемами. Последнее заключается в том, что часто было невозможно организовать устойчивый технологический процесс, использующий сырьё с большой вариацией его состава и свойств без корректировки (состав массы, параметры технологических процессов и т.п.). По результатам литературного обзора сделаны выводы, а также сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приводится описание методик, применявшихся в исследованиях, а также характеристики использованных материалов.

При определении свойств исходных материалов – портландцемента (ПЦ), высококальциевой золы ТЭЦ (БУЗ), песка (П), а также газобетонной смеси и образцов из нее, – применялись как стандартные методы испытаний, соответствующие ГОСТам и другим нормативным документам, так и оригинальные методики (ΔT , $\text{CaO}_{\text{своб}}$). Определение пластической прочности проводилось с помощью конического пластометра П.А. Ребиндера.

При исследовании фазового состава были использованы: дифференциально-термический анализ (DTA), совместно с методом дифференциальной термогравиметрии (DTA-DTG), рентгенофазовый анализ (РФА), инфракрасная спектроскопия. Рентгенофазовый анализ проводился методом съемки образца в порошкообразном состоянии на дифрактометре ДРОН-3, условия съемки: интервал углов 2θ от 6 до 65° , излучение CuK_α , напряжение на трубке 24 кВ, сила тока анодной трубки 14 мА. Метод DTA осуществлялся с применением дериватографа фирмы «Paulik – Paulik - Erdey» в неокислительной среде, которая создавалась закрытым тиглем, параметры съемки: верхний температурный предел – 1000°C , скорость – 10 град/мин. Морфологический анализ продуктов гидратации вяжущих веществ был проведен с помощью электронного микроскопа Analytical Scanning Microscope марки JEOL JSM – 6380 LA методом растровой электронной микроскопии. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили на компьютере с помощью программы “STATISTICA” в составе пакета прикладных программ Math Cad.

В исследованиях применялась высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула, полученная при сжигании бурых углей КАБ в парогенераторах с жидким шлакоудалением. Золы отбирались с электрофильтров в разное время с 2003 по 2006 годы. Эти золы представляют собой обожженную минеральную часть бурых углей Назаровского и Ирша-Бородинского разрезов Канско-Ачинского бассейна. Полученные в ходе исследования характеристики проб зол свидетельствуют о колебаниях их свойств в широком диапазоне. Так, очевидны колебания по срокам схватывания зол: начало схватывания изменяется в пределах от 5 до 50 минут и конец – от 20 минут до 3 часов 20 минут. Содержание свободного открытого CaO находится в пределах от 1,79 до 6,63 %; суммарной свободной извести – от 2,94 до 7,46 %. Содержание свободного MgO – от 0 до 4,5 %. Температурный эффект ранней гидратации золы (критерий ΔT), изменяется от 2 до 7°C , при этом время достижения максимальной температуры колеблется от 20 минут до 1,5 часов.

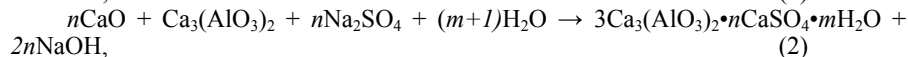
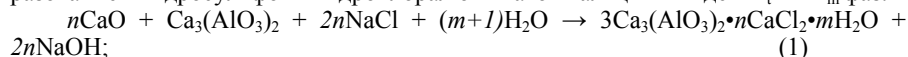
Также в качестве вяжущего использовали портландцементы М400 Д20 Искитимского, Голухинского и Топкинского цементных заводов. В качестве мелкого заполнителя для производства неавтоклавного цементно-песчаного газобетона (без помола кремнеземистого компонента) использовался речной песок с поймы реки Обь с $M_{кр} = 1,2$, содержанием илистых, глинистых и пылеватых частиц 5-6 %.

Кроме указанных веществ, в работе использовались химические добавки NaCl и Na_2SO_4 .

В третьей главе излагается физико-химическая сущность предложенных решений, приводятся результаты исследования особенностей формирования фазового состава камня, свойств газобетонного массива, а также развитие его ранней и марочной прочности.

Физико-химические процессы в рассматриваемых смесях заключаются в следующем. Газобетон на основе золо-цементной композиции должен быть менее чувствителен к значительным колебаниям состава и свойств золы, как вследствие разбавления, так и сдерживания деструктивных явлений прочным цементным камнем (межпоровая перегородка), а также пористой структурой материала. Для ослабления возможных деструктивных явлений, а также для ускорения темпов набора прочности и интенсификации процессов газовыделения необходимо применять такие добавки, которые способны вступать в реакции обмена и присоединения с составляющими золо-цементной композиции с образованием щелочи NaOH и структурно активных AF_1 и AF_m фаз.

Наиболее распространенные и доступные добавки такого типа - это хлорид и сульфат натрия. Возможный механизм действия этих добавок может быть представлен следующим образом: для них характерно то, что при взаимодействии с известью золы в присутствии алюминийсодержащих фаз портландцементного клинкера и высококальциевой золы должна происходить обменная реакция с образованием гидросульфо- и гидроклоралюминатов кальция в виде AF_1 и AF_m фаз.



где $n = 1$ или 3; $m = 10 - 12$ или $30 - 32$.

При этом будет ускоряться гидратация $CaO_{своб}$ золы и высвобождаются в поровый раствор щелочь NaOH. Ускорение гидратации $CaO_{своб}$ должно приводить к ослаблению деструктивных процессов в камне. Наличие в поровом растворе щелочи, образующейся через обменную реакцию с лимитируемой скоростью, должно позволять регулировать процессы газовыделения и вспучивания массива. Образование дополнительного количества AF_1 и AF_m фаз должно увеличивать структурную прочность массива и раннюю прочность газобетона.

Дальнейшая гидратация золо-цементных композиций с добавкой сульфата натрия может проходить по схеме, предложенной Аяповым У.А., который в растворе сульфата натрия обнаружил в цементном камне увеличение содержания гидросиликатов кальция CSH и степени карбонизации его продуктов гидратации.

Для подтверждения вышеизложенного в работе на первом этапе изучили **особенности фазообразования**, происходящего при гидратации золо-цементной композиции совместно с химическими добавками или без них.

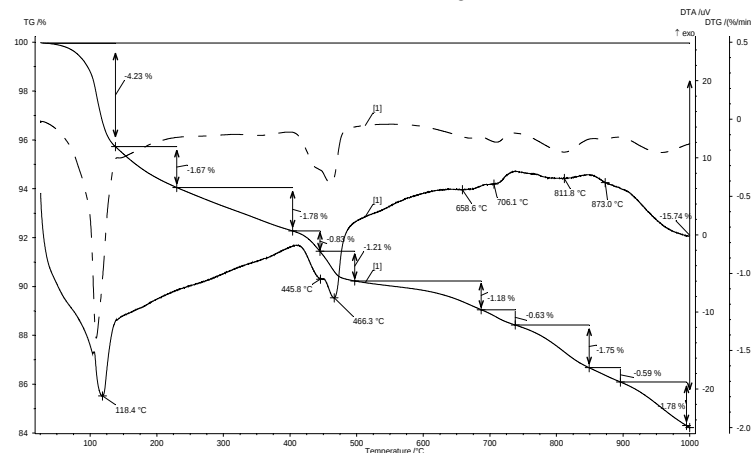


Рисунок 1 - Термограмма продуктов гидратации золо-цементного вяжущего через 3 суток нормального твердения

Особенности формирования фазового состава в золо-цементных композициях без добавок заключаются в образовании большого количества этtringитоподобных AF_1 - фаз (рисунок 2), представленных этtringитом $d/n = (9.64; 4.96; 3.837; 3.49; 2.49; 2.77; 2.207; 2.154; 1.66) \cdot 10^{-8}$ мм, $C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$ $d/n = (9.438; 3.801; 2.961; 2.711) \cdot 10^{-8}$ мм, $C_3F \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ $d/n = (4.707; 2.424; 2.27; 2.19; 2.055; 1.834) \cdot 10^{-8}$ мм (эндозффект при 118.4 °C – рисунок 1), по сравнению с AF_m - фазами, в частности - гексагональными гидроалюминатами кальция состава C_4AH_{13} . Кроме этого, в такой системе, по результатам ДТА, через 3 суток четко идентифицируются портландиты разной принадлежности, которые образовались как при гидролизе алита цемента (эндотермический эффект при 466.3 °C), так и при гидратации свободной извести золы (эндотермический эффект при 445.8 °C) (рисунок 1). Здесь также можно отметить наличие сульфатной AF_m фазы (потеря массы при 160–200 °C), гидросиликатов кальция типа CSH (I и II) (небольшой эндозффект при 658.6 и 706.1°C), присутствие небольших количеств карбоната кальция (эндозффект при 811.3 °C). В области температур 873–1000 °C идет разложение оставшегося угля БУЗ в неокислительных условиях, а также, возможно, перекристаллизация стеклофазы золы и геля CSH. Со временем (через 3 месяца) сохраняется разная закристаллизованность $Ca(OH)_2$, которая проявляется в меньшей степени.

При добавлении в золо-цементные системы **хлорида натрия** ускоряется гидратация свободного оксида кальция, исходных клинкерных минералов цемента и высококальциевой золы, по сравнению с исходной золо-цементной системой, увеличивается доля AF_m - фаз по сравнению с этtringитоподобными AF_1 - фазами (рисунок 2). При этом AF_m - фазы включают: $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ $d/n = (8.96; 4.44; 4.00; 2.875; 2.74; 2.45; 1.816$ и другие) $\cdot 10^{-8}$ мм; $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ $d/n = (7.844; 3.801; 2.35) \cdot 10^{-8}$ мм и $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ $d/n = (3.801; 2.862; 1.664) \cdot 10^{-8}$ мм. Также в такой системе фиксируется увеличенное количество гидрокальюмита $d/n = (8.2; 3.867; 2.875; 2.55; 2.45; 2.39; 1.664; 1.632) \cdot 10^{-8}$ мм, являющегося членом серии твердых растворов между $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ и C_4AH_{13-19} .

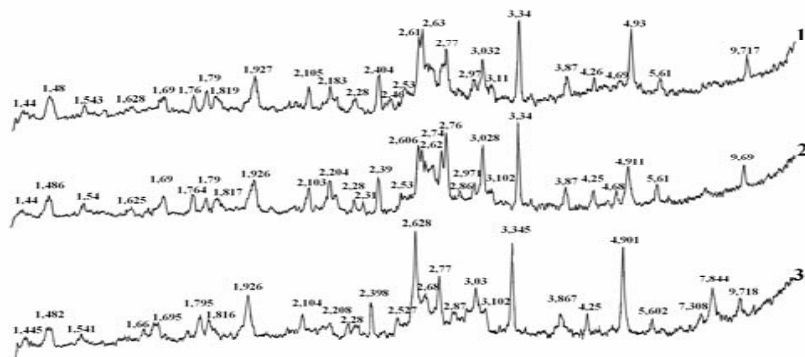


Рисунок 2 - Рентгенограммы золо-цементного камня с химическими добавками, гидратированного в течение 3 месяцев нормального твердения:

1 – золо-цементный камень; 2 - золо-цементный камень с сульфатом натрия; 3 - золо-цементный камень с хлоридом натрия

В золо-цементных композициях с добавкой Na_2SO_4 образуется значительное количество этtringита (рисунок 4 Б), гидросиликатов кальция типа CSH (I и II) (рисунок 4 А, Б) и кальцита. В такой системе отмечаются противоположные явления, заключающиеся в замедлении гидратации $\text{CaO}_{\text{своб}}$ золы за счет образования коллоидного этtringита с одной стороны, и более интенсивное связывание портландита, образовавшегося при гидролизе силикатов кальция – с другой (рисунок 2). По результатам ДТА, здесь сохраняется ступенчатая дегидратация портландита при 439,8 и 458,1 °C, при этом она характеризуется меньшей потерей массы (1,74 %), чем в золо-цементном бездобавочном составе (2,04 %). Двойной эндоэффект при 824,5 и 848,6 °C связан со значительной потерей массы (при 820 °C) определенной при DTG анализе (4,03 %), которая выше на 42,4 %, чем у золо-цементного бездобавочного состава, на 84,4 % - чем у цемента и на 48,6 % - чем у золы (рисунок 3). Этот эффект связан с разложением карбоната кальция. Карбонизация продуктов гидратации в системе с Na_2SO_4 усиливается к 3 месяцам, что подтверждает предложенную схему гидратации.

Об увеличении степени связывания воды в золо-цементном вяжущем с добавкой сульфата натрия свидетельствует как общая потеря массы при DTG анализе (22,58 % через 3 месяца), так и общее значительное увеличение интенсивности и рельефности широкой полосы поглощения 3200 – 3600 cm^{-1} , определенной при ИК-спектроскопии. В более поздние сроки (9 мес., 1 год) количество свободной извести золы в системе с сульфатом натрия неуклонно уменьшается и достигает величины, характерной для бездобавочной золо-цементной композиции.

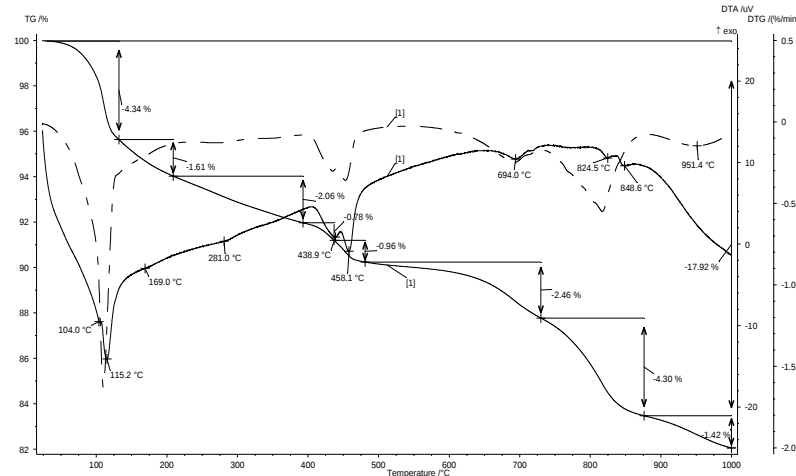


Рисунок 3 - Термограмма продуктов гидратации золо-цементного вяжущего с добавкой сульфата натрия через 3 суток нормального твердения

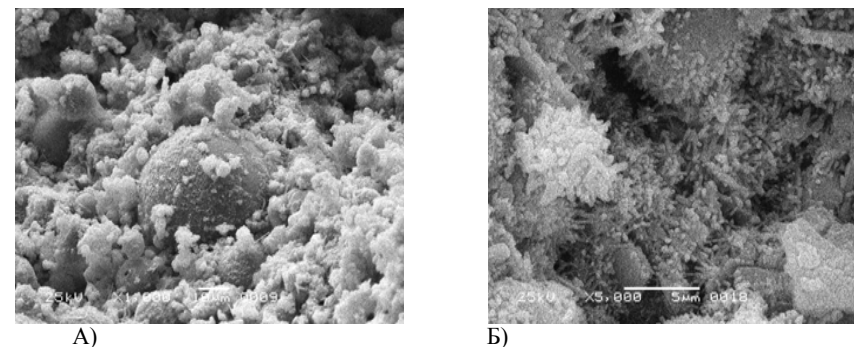


Рисунок 4 - Микрофотография золо-цементного камня 3 месячного возраста

Данные ИК-спектроскопии (ИКС) подтверждают изложенные закономерности, полученные по результатам ДТА и РФА. В золо-цементной системе по сравнению с индивидуальными вяжущими (цемент и зола), отмечается заметное присутствие этtringита (колебания SO_4^{2-} в высокосульфатном гидросульфатоалюминате при 1113,9 cm^{-1}) и CSH (колебания связи Si–O при 970 cm^{-1}). В этой системе с добавлением сульфата натрия в ранние сроки фиксируется относительное увеличение интенсивности полосы поглощения этtringита в 2 раза (колебания полос SO_4^{2-} в высокосульфатном гидросульфатоалюминате при 1117,6 cm^{-1}), что в сопоставлении с данными РФА свидетельствует о наличии коллоидного этtringита. Также значительно возрастает (примерно в 1,5–2 раза) относительная интенсивность поглощения карбонатсодержащих фаз, вероятно CaCO_3 (полосы поглощения при 1427 и 874 cm^{-1} , относящиеся к колебаниям CO_3 – групп) при снижении доли OH – групп (3620 cm^{-1}). Все это свидетельствует об увеличении в системе этtringита, гидросиликатов CSH, кальцита и снижении количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В поздние сроки в этой системе увеличивается в 1,5

раза относительная интенсивность полосы поглощения гидросиликатов кальция ($966,9 \text{ см}^{-1}$).

Далее в работе были изучены **особенности вспучивания и кинетика развития пластической и ранней прочности** золо-цементных композиций с химическими добавками.

Для этого было определено оптимальное **водотвердое отношение**, которое для золо-цементных составов было ниже на 5–10 % по сравнению с цементно-песчаным газобетоном.

Использование высококальцевой золы вместо песка позволяет увеличить высоту вспучивания на 11%, а применение химических добавок – дополнительно ещё от 3 до 10 % за счет интенсификации процессов газовыделения в результате постепенного образования NaOH в обменных реакциях (1, 2).

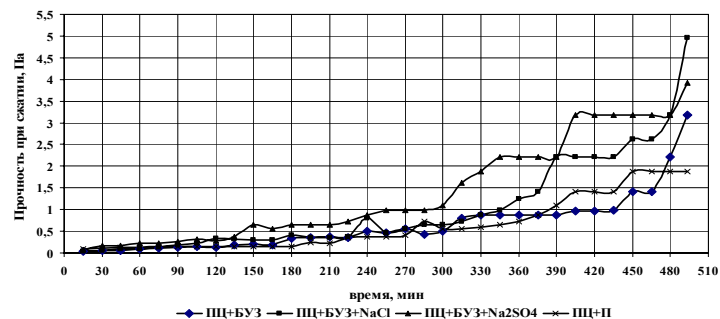


Рисунок 5 - Изменение пластической прочности газобетонного массива от вида сырьевой смеси

Кроме этого, применение добавок позволяет сократить сроки схватывания массива за счет дополнительного интенсивного синтеза AF_1 и AF_m фаз, связывающих повышенное количество воды. Эти фазы обладают высокой скоростью роста и обеспечивают ускоренный набор **структурной прочности** бетона (рисунок 5).

Замедленным структурообразованием обладает классический **цементно-песчаный** газобетон. Для него характерен медленный рост пластической прочности, составляющий к концу схватывания цемента (3 ч. 50 мин) 0,75 Па, а через 8 часов – всего 1,8 Па, в то время как для кантования и резки массива газобетона необходимо, согласно СН 277 – 80 иметь 2,50 – 3,0 Па (рисунок 5).

Для **золо-цементного** газобетона также характерны замедленные темпы набора пластической прочности, хотя через 8 часов можно осуществлять распалубку и резку массива. При этом следует отметить, что через 1 сутки прочность золо-цементного газобетона выше, чем у цементно-песчаного в среднем на 50 %. Применение химических добавок дополнительно увеличивает ее величину еще на 20–30 % (рисунок 6). Ускоренное структурообразование и высокую прочность материала обеспечивают химические добавки NaCl и Na_2SO_4 . Так, добавка Na_2SO_4 ускоряет нарастание пластической прочности золо-цементной системы на 18 %. Добавка **хлорида натрия** также сокращает сроки набора пластической прочности (на 10 %), хотя и в меньшей степени, чем сульфат натрия (рисунок 5).

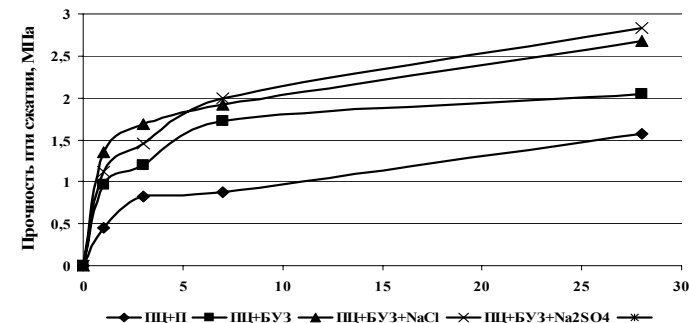


Рисунок 6 - Кинетика набора прочности при сжатии газобетона плотностью D700 от состава сырьевой смеси

Примечание: ПЦ+П – цементно-песчаный газобетон (без помола кремнеземистого компонента); ПЦ+БУЗ – золо-цементный газобетон; ПЦ+БУЗ+NaCl – золо-цементный газобетон с добавкой хлорида натрия 0,5 %; ПЦ+БУЗ+ Na_2SO_4 – золо-цементный газобетон с добавкой сульфата натрия 1 %.

Таким образом, применение высококальцевых зол и химических добавок позволяет регулировать свойства газобетона на стадии созревания массива и формирования ранней и марочной прочности.

В четвертой главе рассмотрены результаты оптимизации составов и технологических режимов изготовления золо-цементного газобетона и закономерности изменения их строительно-технических свойств от изменяющихся состава и свойств высококальцевой золы ТЭЦ.

В ходе эксперимента было установлено, что марочная прочность всех **золо-цементных** бездобавочных составов выше на 31-61 % по сравнению с цементно-песчаным газобетоном. Добавки **хлорида и сульфата натрия** значительно увеличивают как раннюю (от 5 до 155 %), так и позднюю прочность (от 10 до 30 %) – рисунок 6. Если ранняя прочность бетона с химическими добавками возрастает главным образом за счет быстрого накопления твердой фазы в виде AF_1 и AF_m – фаз, то поздняя – также и за счет основной фазы - CSH, которая увеличивается в системе с Na_2SO_4 .

По результатам лабораторных исследований был установлен оптимальный состав газобетона с соотношением компонентов ПЦ 40 - 50%, БУЗ 50 - 60 %, химические добавки NaCl 0,5-1 % и Na_2SO_4 1-1,5 % и с температурой воды затворения 30-40 °С.

В связи с тем, что зола ТЭЦ имеет состав и свойства, колеблющиеся в довольно широких пределах, необходимо было статистически проверить работоспособность оптимального состава для неавтоклавного газобетона, а также разработать методы, которые позволят прогнозировать его свойства и при необходимости изменять дозировки компонентов. С этой целью на 15 пробах буроугольных зол ТЭЦ–3 г. Барнаула (отобранных в различное время с 2005 по 2006 год) были изготовлены блоки из газобетона в условиях малого предприятия ООО «ГОСТ», которые твердели при нормальных условиях (1, 3, 7 и 28 суток). В результате проведенного эксперимента были установлены статистические изменения основных характеристик газобетона.

Одним из основных свойств ячеистого бетона является *средняя плотность (ρ)*. Эта характеристика предопределяет то или иное свойство материала. Установлено, что на плотность материала в наибольшей степени оказывают влияние следующие характеристики золы: свободный открытый оксид кальция ($\text{CaO}_{\text{отк}}$), время достижения максимальной температуры ранней гидратации золы (τ) и её температурный эффект (ΔT), сроки схватывания зольного теста нормальной густоты (Нач.сх.). Всего было установлено 17 взаимосвязей с минимальным значением коэффициента корреляции $R = 0,68$ и максимальным $R = 0,97$ (таблица 1). Плотность колеблется в пределах 600–700 кг/м³.

Таблица 1 - Уравнения и коэффициенты корреляции для определения влияния характеристик БУЗ на плотность неавтоклавного газобетона

При использовании выявленных двухпараметрических моделей можно с известной степенью достоверности теоретически определять плотность и пористость неавтоклавного газобетона по свойствам использованных зол.

Все стеновые материалы, используемые для возведения стен зданий и сооружений, должны подвергаться испытанию на теплопроводность, которая для сухих газобетонов колеблется от 0,13 до 0,23 Вт/(м²·°C) и находится в линейной

$\rho = f$ (характеристика БУЗ)	R	Уравнение регрессии
$\rho = f(\text{CaO}_{\text{отк}}, \Delta T)$	0.96	$\rho = 646,79 + 69,34 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} - 73,65 \cdot \Delta T + 2,261 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} \cdot \Delta T - 5,41 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}}^2 + 4,114 \cdot \Delta T^2$
$\rho = f(\text{CaO}_{\text{отк}}, \text{Нач.сх.})$	0.85	$\rho = 830,79 - 68,316 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} - 8,347 \cdot \text{Нач.сх.} + 2,034 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} \cdot \text{Нач.сх.} + 4,177 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}}^2 + 0,058 \cdot \text{Нач.сх.}^2$
$\rho = f(\text{ТНГ}, \text{Нач.сх.})$	0.86	$\rho = 57,303 \cdot \text{ТНГ} - 139,14 + 10,113 \cdot \text{Нач.сх.} - 0,337 \cdot \text{ТНГ} \cdot \text{Нач.сх.} - 1,031 \cdot \text{ТНГ}^2 - 0,047 \cdot \text{Нач.сх.}^2$
$\rho = f(\text{CaO}_{\text{сум}}, \tau)$	0.85	$\rho = 636,67 + 12,97 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} - 1,397 \cdot \tau + 0,397 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} \cdot \tau - 3,32 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}}^2 + 0,585 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2$

зависимости от их средней плотности.

На рисунке 7 представлено изменение *коэффициента теплопроводности* газобетона плотностью 700 кг/м³ в зависимости от вида и состава сырьевой смеси. Теплопроводность газобетона определялась методом стационарного теплового потока в бикалориметре.

Результаты эксперимента показали, что теплопроводность разработанного неавтоклавного золо-цементного газобетона колеблется в пределах 0,13 – 0,18 Вт/(м²·°C) в зависимости от пробы золы ТЭЦ и средней плотности бетона. Однако определение этих коэффициентов занимает длительное время и требует специальной дорогостоящей аппаратуры.

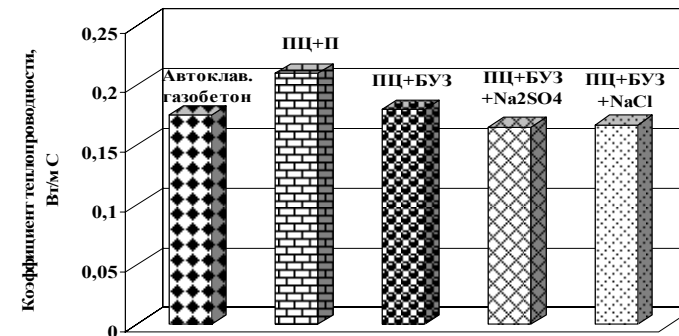


Рисунок 7 - Изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от состава сырьевой смеси газобетона

Примечание: Автоклав. газобетон – автоклавный газобетон с барнаульского завода ячеистых бетонов; остальные обозначения - по рисунку 6.

Поэтому предлагается один из способов оценки и прогнозирования теплопроводности (λ). Для этой цели построены зависимости между коэффициентом теплопроводности и характеристиками зол ТЭЦ, которые описываются регрессионными уравнениями и представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Уравнения и коэффициенты корреляции для определения влияния характеристик БУЗ на теплопроводность неавтоклавного газобетона плотностью 700 кг/м³

$\lambda = f$ (характеристика БУЗ)	R	Уравнение регрессии
$\lambda = f(\text{CaO}_{\text{отк}}, \rho_{\text{нас}})$	0.95	$\lambda = 0,005 \cdot \rho_{\text{нас}} - 2,815 + 0,051 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} - 0,21410^{-5} \cdot \rho_{\text{нас}}^2 - 0,192 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} - 0,0031 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}}^2$
$\lambda = f(\text{CaO}_{\text{отк}}, \Delta T)$	0.87	$\lambda = 0,178 - 0,059 \cdot \Delta T + 0,041 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} - 0,0057 \cdot \Delta T \cdot \text{CaO}_{\text{отк}}$
$\lambda = f(\text{CaO}_{\text{сум}}, \rho_{\text{нас}})$	0.94	$\lambda = 0,0047 \cdot \rho_{\text{нас}} - 2,618 + 0,006 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} - 0,212 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{\text{нас}}^2 + 0,278 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} - 0,003 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}}^2$
$\lambda = f(\rho_{\text{нас}}, \text{ППП})$	0.88	$\lambda = 0,0036 \cdot \rho_{\text{нас}} - 2,006 + 0,082 \cdot \text{ППП} - 0,156 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{\text{нас}}^2 - 0,633 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \text{ППП} - 0,0017 \cdot \text{ППП}^2$
$\lambda = f(\rho_{\text{нас}}, \Delta T)$	0.9	$\lambda = 0,0045 \cdot \rho_{\text{нас}} - 2,648 + 0,111 \cdot \Delta T - 0,189 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{\text{нас}}^2 - 0,711 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot \Delta T - 0,0033 \cdot \Delta T^2$

Известно, что существует связь между прочностью и средней плотностью ячеистого бетона, которая может выражаться через коэффициент конструктивного качества (ККК). ККК находится в пределах для: неавтоклавного золо-цементного газобетона - 5-9; цементно-песчаного - 3,2; автоклавного газобетона - 5,7.

Основными технологическими параметрами, определяющими *прочность при сжатии и изгибе* газобетона, являются активность (содержание в золе сво-

бодного оксида кальция, критерий ΔT), В/Т сырьевой смеси, а также сроки схватывания и ППП зола (таблица 3).

Таблица 3 - Уравнения и коэффициенты корреляции для определения влияния характеристик БУЗ на прочность при сжатии неавтоклавного газобетона через 28 суток

$R_{сж}^{28 \text{ сут}} = f(\text{свойства и основность БУЗ})$	R	Уравнение регрессии
$R = f(\Delta T; CaO_{отк})$	0.74	$R^{28 \text{ сут}} = 0,122 \cdot \Delta T^2 - 0,253 \cdot CaO_{отк}^2 + 0,15 \cdot CaO_{отк} \cdot \Delta T + 2,262 \cdot CaO_{отк} - 2,227 \cdot \Delta T + 1,665$
$R = f(CaO_{сум}; THГ)$	0.86	$R^{28 \text{ сут}} = 1,139 \cdot THГ - 0,04 \cdot CaO_{сум} + 0,021 \cdot CaO_{сум} \cdot THГ - 0,0362 \cdot CaO_{сум}^2 - 0,00238 \cdot THГ^2 - 12,377$
$R = f(CaO_{сум}; ППП)$	0.83	$R^{28 \text{ сут}} = 1,818 + 0,741 \cdot CaO_{сум} - 0,977 \cdot ППП - 0,511 \cdot CaO_{сум} \cdot ППП + 0,0857 \cdot CaO_{сум}^2 + 0,49 \cdot ППП^2$
$R = f(\text{Нач.сх.}; CaO_{отк})$	0.74	$R^{28 \text{ сут}} = 4,255 - 0,877 \cdot CaO_{отк} - 0,052 \cdot \text{Нач.сх.} + 0,016 \cdot CaO_{отк} \cdot \text{Нач.сх.} + 0,078 \cdot CaO_{отк}^2 - 0,25 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Нач.сх.}^2$
$R = f(\text{Нач.сх.}; \Delta T)$	0.73	$R^{28 \text{ сут}} = 7,128 - 0,263 \cdot \Delta T - 1,085 \cdot \text{Нач.сх.} + 0,046 \cdot \text{Нач.сх.} \cdot \Delta T + 0,03 \cdot \text{Нач.сх.}^2 + 0,0021 \cdot \Delta T^2$
$R = f(ППП; THГ)$	0.75	$R^{28 \text{ сут}} = 1,971 \cdot ППП + 0,58 \cdot THГ - 0,138 \cdot ППП \cdot THГ + 0,268 \cdot ППП^2 - 0,00266 \cdot THГ^2 - 8,373$
$R = f(CaO_{отк}; \tau)$	0.8	$R^{28 \text{ сут}} = 2,586 - 0,449 \cdot CaO_{отк} + 0,0113 \cdot \tau - 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot CaO_{отк} \cdot \tau + 0,0477 \cdot CaO_{отк}^2 + 0,19 \cdot 10^{-4} \cdot \tau^2$
$R = f(\Delta T; CaO_{отк})$	0.74	$R^{28 \text{ сут}} = 0,122 \cdot \Delta T^2 - 0,253 \cdot CaO_{отк}^2 + 0,15 \cdot CaO_{отк} \cdot \Delta T + 2,262 \cdot CaO_{отк} - 2,227 \cdot \Delta T + 1,665$

В результате статистического анализа установлена степень влияния независимых переменных (свойства зол ТЭЦ) на прочность при сжатии и изгибе. При этом можно отметить то, что практически у всех установленных зависимостей она, как правило, не постоянна и изменяется во времени твердения газобетона. Для более полного анализа полученных результатов было предложено разделить зависимости прочности от показателей свойств золы на три группы:

1) уменьшающиеся со временем твердения значения коэффициентов корреляции взаимосвязей; 2) увеличивающиеся со временем твердения значения коэффициентов корреляции (рисунок 8); 3) практически не изменяющиеся во времени твердения коэффициенты корреляции.

В результате было установлено, что корреляционные зависимости, находящиеся в *первой группе* могут носить случайный характер, и не позволят достоверно прогнозировать прочностные показатели газобетона в более поздние сроки твердения. Во *второй и третьей группах* преимущественно находятся математические модели, устанавливающие взаимосвязи прочности материала от свободного открытого или суммарного свободного оксида кальция в сочетании с другими характеристиками зол. Повышение коэффициентов корреляции во времени от содержания извести обусловлено тем, что свободный гидроксид кальция будет являться активным фондом, обеспечивающим долговечность вяжущих за счет образования дополнительных продуктов гидратации при дальнейшем взаимодействии со стеклофазой зол.

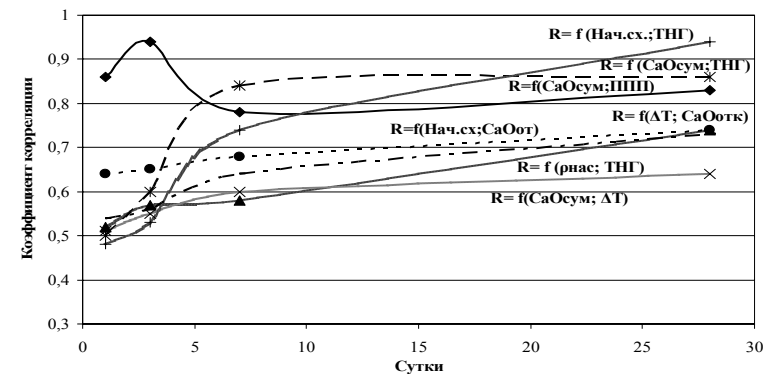


Рисунок 8 - Увеличивающиеся со временем твердения значения коэффициентов корреляции зависимостей прочности при сжатии от показателей свойств золы

Как известно, наличие свободной извести в высококальцевой золе всегда приводит к деформациям расширения золосодержащих материалов. Применение химических добавок в виде NaCl или Na_2SO_4 в зольных системах способствует более интенсивной гидратации свободной извести золы за счет связывания её в обменных реакциях (1, 2). Повышенная карбонизация продуктов гидратации золо-цементных газобетонов в присутствии Na_2SO_4 , также должна способствовать снижению опасности деструктивных расширений за счет карбонизационной усадки.

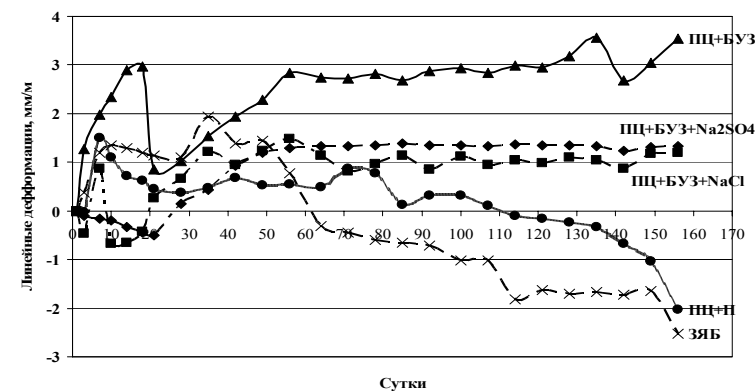


Рисунок 9 - Изменение линейных деформаций во времени в зависимости от состава сырьевой смеси газобетона

Примечание: ЗЯБ – автоклавнога газобетон с барнаульского завода ячеистых бетонов; остальные обозначения - по рисунку 6.

В результате эксперимента было установлено (рисунок 9), что *линейные деформации* усадки автоклавнога газобетона средней плотностью 700 кг/м^3 превышают 2 мм/м , которые вызваны в основном только влажностной и карбониза-

ционной усадкой, так как контракционная усадка в данном случае исключается. **Неавтоклавный цементно-песчаный** газобетон также показал усадку в пределах 2 мм/м, а **золо-цементный бездобавочный** – деформации расширения, превышающие 3 мм/м из-за гашения свободной извести золы. **Золо-цементный газобетон с химическими добавками** после небольшой усадки в пределах 0,5 мм/м в месячном возрасте затем показывает стабилизацию собственных деформаций в пределах + 1 мм/м.

Несмотря на значительные колебания свойств золы ТЭЦ, золо-цементные образцы с химическими добавками характеризуются стабильными показателями собственной деформации. У всех составов удлинение находится в пределах 1-1,5 мм/м (таблица 4).

Таблица 4 - Уравнения и коэффициенты корреляции для определения влияния характеристик БУЗ на собственные деформации неавтоклавного газобетона

$\xi = f(\text{характеристика БУЗ})$	R	Уравнение регрессии
$\xi = f(\text{CaO}_{\text{сум}}, \text{ППП})$	0.75	$\xi = 1,143 \cdot \text{ППП} + 0,891 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} + 0,157 \cdot \text{ППП}^2 - 0,383 \cdot \text{ППП} \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} - 0,001 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}}^2 - 1,663$
$\xi = f(\text{CaO}_{\text{сум}}, \text{ТНГ})$	0.79	$\xi = 1,933 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} - 0,017 \cdot \text{ТНГ} + 0,01 \cdot \text{ТНГ}^2 - 0,092 \cdot \text{ТНГ} \cdot \text{CaO}_{\text{сум}} + 0,0263 \cdot \text{CaO}_{\text{сум}}^2 - 3,182$
$\xi = f(\text{ТНГ}, \text{CaO}_{\text{отк}})$	0.81	$\xi = 0,395 \cdot \text{ТНГ} + 2,23 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} + 0,716 \cdot 10^{-3} \cdot \text{ТНГ}^2 - 0,103 \cdot \text{ТНГ} \cdot \text{CaO}_{\text{отк}} + 0,03 \cdot \text{CaO}_{\text{отк}}^2 - 7,6$
$\xi = f(\Delta T, \text{Ост})$	0.71	$\xi = 0,711 + 1,676 \cdot \text{Ост} - 0,439 \cdot \Delta T - 0,065 \cdot \text{Ост}^2 - 0,257 \cdot \text{Ост} \cdot \Delta T + 0,083 \cdot \Delta T^2$

Одним из показателей долговечности является **морозостойкость** бетона. Поэтому все сравниваемые газобетоны были подвергнуты попеременному замораживанию и оттаиванию в течение 35 циклов. В результате проведенного эксперимента установлено, что потеря массы и прочности, как у контрольных (ПЦ+П, автоклавный газобетон), так и у золо-цементных ячеистых бетонов не превышают допустимые значения. Причем, у составов золо-цементного газобетона с химическими добавками произошло увеличение прочности на 1,78 - 17,3 % по сравнению с исходными составами.

Для них также были определены соответствующие статистически значимые уравнения регрессии.

Для оценки влияния содержания периклаза MgO на долговечность газобетона, образцы последнего на золе с максимальным его содержанием (4,5 %) были запарены при 2,1 МПа. После запаривания не было обнаружено каких-либо дефектов или существенного снижения прочности материала.

В пятой главе рассмотрены результаты опытно-промышленной апробации и внедрения технологии неавтоклавного золо-цементного газобетона.

Для промышленного внедрения оптимального состава золо-цементного газобетона с химическими добавками были разработаны две технологические схемы их изготовления: в стационарных многомestных формах или с применением резательного комплекса. Первая схема предусматривалась для цехов с малой производительностью (2,5 - 5 м³ в год). Вторая – наиболее целесообразна для цехов мощностью 15 - 25 м³ в год.

Согласно данным, полученным в результате опытно-промышленной апробации, применение золо-цементной композиции с химическими добавками (NaCl или Na₂SO₄) позволяет в производственных условиях получить газобетон плотностью 500 - 650 кг/м³, который по прочностным показателям имеет марку не ниже В 1,5 и соответствует требованиям ГОСТ 21520 – 89.

Для оценки экономической эффективности производства неавтоклавного газобетона были проведены сравнительные расчеты себестоимости 1 м³ золо-цементного материала с химическими добавками и цементно-песчаного газобетона. При этом плотность газобетона и расход составляющих компонентов брали с учетом обеспечения минимального класса по прочности при сжатии В 1,5. Так для обеспечения минимальной прочности цементно-песчаного газобетона необходимо использовать плотность материала D850, а для золо-цементного - D600. Удельный экономический эффект составил **204,2 руб. (17 %)**.

Определенный интерес представляет сравнение стоимости 1 м² стены с коэффициентом термического сопротивления 3,2 (необходимого для Сибирского региона) из газобетонов указанных составов. Так, толщина стены для золо-цементного газобетона составляет 0,512 м ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,16 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$), а для цементно-песчаного – 0,736 м ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,23 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$). Удельный экономический эффект в этом случае составляет **548,5 руб. (37 %)**.

Таким образом, расчет удельной экономической эффективности показал преимущества применения разработанного золо-цементного газобетона с химическими добавками по сравнению с классическим цементно-песчаным материалом.

По результатам проведенных лабораторных и производственных испытаний были разработаны следующие нормативные документы: «Технологический Регламент на производство неавтоклавных газобетонных блоков на основе высококальциевой золы ТЭЦ и химических добавок по резательной технологии», «Технологический Регламент на производство неавтоклавных газобетонных блоков на основе высококальциевой золы ТЭЦ и химических добавок с применением стационарных многомestных форм».

Результаты исследования по патенту № 2259975 внедрены на 16 малых предприятиях г. Барнаула и пригорода.

ВЫВОДЫ

1. На основании физико-химического анализа процессов, происходящих при гидратации и твердении неавтоклавного газобетона, предложена и запатентована композиция, включающая высококальциевые золы ТЭЦ, портландцемент и хлорид или сульфат натрия.

2. Исследованы особенности фазообразования при гидратации предложенной композиции. При этом показано, что в результате обменных реакций между свободной известью высококальциевой золы и хлоридом или сульфатом натрия образуется NaOH, выступающий в качестве активизатора газовой выделения, а также AF_i и AF_m – фазы. Быстрое накопление последних ускоряет набор пластической и ранней прочности газобетона, а совместно с фазами CSH способствует формированию камня с более высокими строительно-техническими свойствами.

3. Фазообразование имеет свою специфику в зависимости от вида химической добавки. Введение добавки NaCl обеспечивает ускоренную гидратацию свободной извести золы и клинкерных минералов. При этом, наряду с образованием этtringитоподобных AF_i – фаз, отмечается большее накопление и большая вариация

бельность состава AF_m – фаз. Наряду с $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$, $C_3A \cdot CaCl \cdot 10H_2O$ образуется заметное количество $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ и гидрокалюмита. Последний является членом серии твердых растворов между $C_3A \cdot CaCl \cdot 10H_2O$ и C_4AH_{13-19} .

Добавка Na_2SO_4 , наоборот, способствует большему синтезу AF_1 – фаз в виде этtringита. Кроме этого, она обеспечивает большее накопление гидросиликатов типа CSH (I и II) и кальцита. В отличие от NaCl, добавка сульфата натрия способствует замедлению гидратации свободной извести золы, особенно в ранние сроки, из-за блокирования ее коллоидным этtringитом, при параллельном более интенсивном связывании $Ca(OH)_2$.

4. Связывание свободной извести золы в обменных реакциях с химическими добавками, ускорение гидратации, особенности фазообразования, а также наличие цемента, обеспечивает стабилизацию свойств золосодержащего газобетона с высокими строительными-техническими характеристиками. При средней плотности 500 - 700 кг/м³ он имеет класс прочности не ниже В 1,5, коэффициент теплопроводности 0,13 - 0,18 Вт/м °С, проявляет безусадочность (+ 1 мм/м), обладает морозостойкостью не менее 35 циклов. Для его производства не требуется пропаривать изделия или осуществлять помол исходных компонентов.

5. Статистические исследования влияния колебаний состава и свойств высококальциевых зол позволили построить математические модели с высокой корреляцией, обеспечивающие возможность предсказывать изменение свойств материала от свойств исходной золы, при необходимости корректировать дозировки смеси, оценивать стабильность свойств продукции. Большинство моделей показывают зависимость плотности, теплопроводности, прочности при сжатии и изгибе, собственных деформаций, водопоглощения и морозостойкости газобетона от содержания свободной извести золы, активности ее по критерию DT (°С) и других показателей свойств золы.

6. Разработанные технологические регламенты и положительное опробование позволили с 2003 г. внедрить производство неавтоклавного газобетона по запатентованному составу на 16 малых производствах г. Барнаула. При этом в летний период используется весь выход высококальциевой золы на ТЭЦ-3 с ее дефицитом около 30 %. Удельная экономическая эффективность материала в деле (стена с одинаковым термическим сопротивлением $R = 3,2$) по сравнению с цементно-песчаным составляет около 550 руб. на 1 м² стены.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Овчаренко Г.И. Быстротвердеющие газобетоны по малоэнергоемкой технологии / Г.И. Овчаренко, В.Б. Францен, **Ю.В. Щукина** // Материалы Международного конгресса «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». – Белгород, 2003. - № 5. – С. 348 – 350.

2. Овчаренко Г.И. Производство быстротвердеющих газобетонов по малоэнергоемкой технологии / Г.И. Овчаренко, **Ю.В. Щукина** // Гуманизм и строительство. Природа, этнос и архитектура: Сборник трудов международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2003. С. 95 – 98.

4. Овчаренко Г.И. Неавтоклавные ячеистые бетоны по малоэнергоемкой технологии / Г.И. Овчаренко, В.Б. Францен, **Ю.В. Щукина** // Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Современные строительные материалы». – Новосибирск, 2004.-С. 89 – 91.

5. Овчаренко Г.И. Энергосберегающая технология производства ячеистого бетона / Г.И. Овчаренко, **Ю.В. Щукина** // Сборник тезисов докладов научно-технической конференции. – Пенза 2005. С. 51 – 55.

6. Овчаренко Г.И. Направленное формирование микроструктуры цементного камня в современных материалах / Г.И. Овчаренко, О.В. Буйко, Е.Ю. Хижинкова, **Ю.В. Щукина** // Сборник тезисов докладов научно-технической конференции. – Белгород, 2005. С. 61 – 68.

7. Овчаренко Г.И. Анализ продуктов гидратации зол углей КАТЭЖа методами ДТА и ДСК / Г.И. Овчаренко, **Ю.В. Щукина**, Е.Ю. Хижинкова // Ползуновских вестник. – 2006. – Вып. № 2 – 2. С.210 – 212.

8. **Щукина Ю.В.** Энергосберегающая технология производства ячеистого бетона / Ю.В. Щукина, Г.И. Овчаренко, Е.В. Горобец, Ю.Н. Савкина // Сборник трудов X Академических чтений РААСН. – Казань, 2006. С 469 – 471.

10. **Щукина Ю.В.** Производство неавтоклавного газобетона по энергосберегающей технологии / **Ю.В. Щукина**, Г.И. Овчаренко, Е.В. Горобец, Ю.Н. Савкина // Сборник трудов XII Международного семинара АТАМ. – Новосибирск, 2006. – т.1. С. 40 – 43.

11. Овчаренко Г.И. Формирование микроструктуры цементного камня в современных материалах / Г.И. Овчаренко, О.В. Буйко, Е.Ю. Хижинкова, **Ю.В. Щукина** // Сборник трудов XII Международного семинара АТАМ. – Новосибирск, 2006. – т.2. С. 25 – 32.

12. Овчаренко Г.И. Статистическое моделирование в технологии золоматериалов / Г.И. Овчаренко, В.Б. Францен, В.В. Патрахина, Е.Ю. Хижинкова, **Ю.В. Щукина** //Строительные материалы. – 2006. - № 12. С. 46 – 48.

13. Патент № 2259975. Сырьевая смесь для получения неавтоклавного ячеистого бетона (варианты) / Г.И. Овчаренко, **Ю.В. Щукина**, В.Б. Францен, Е.Г. Овчаренко. – Бюлл. Изобр. – 2005. - № 10.