

На правах рукописи



**СУЛЕЙМАНОВ АБДУЛЛА ГАСАНОВИЧ**

**НЕАВТОКЛАВНЫЕ ГАЗОБЕТОНЫ  
НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Белгород – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования  
«Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова»

- Научный руководитель** – член-корреспондент РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
**Лесовик Валерий Станиславович**
- Официальные оппоненты** – академик РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
**Комохов Павел Григорьевич**
- кандидат технических наук  
**Тарасов Александр Сергеевич**
- Ведущая организация** – **Липецкий государственный  
технический университет**

Защита состоится “9” ноября 2010 года в 15-00 час. на заседании  
диссертационного совета Д 212.014.01 в Белгородском государственном  
технологическом университете (БГТУ) им. В. Г. Шухова по адресу:  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, главный корпус, ауд. 242.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белгородского  
государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.

Отзывы на автореферат диссертации, заверенные печатью, просим  
направлять по адресу: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ  
им. В. Г. Шухова, отдел аспирантуры, тел. (4722) 55-95-78, факс (4722)  
55-95-78, e-mail: aspir@intbel.ru.

Автореферат разослан “8” октября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



Г. А. Смоляго

2010А  
22668

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года предусматривает повышение доступности энергоэффективного жилья гражданам РФ. Реализация государственной жилищной политики предполагает развитие строительного комплекса и производства строительных материалов, изделий и конструкций с применением инновационных, в том числе энергосберегающих технологий.

Решение вопроса энергоэффективности зданий возможно с применением высокопоризованных материалов, полученных с использованием композиционных вяжущих (КВ) и газобетонных смесей на их основе с заданной эффективной вязкостью, применение которых обеспечит возведение ограждающих конструкций с оптимальными технико-экономическими показателями.

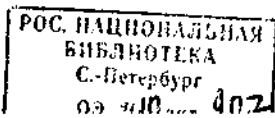
Работа выполнена в рамках задания Федерального агентства по образованию на проведение научных исследований по тематическому плану научно-исследовательских работ 1.01.05 «Управление процессами структурообразования цементного камня при синтезе высокоэффективных ячеистых бетонов».

**Целью** работы является получение энергосберегающих неавтоклавных газобетонов на композиционных вяжущих с улучшенными характеристиками.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка композиционных вяжущих с учетом особенностей формирования структуры ячеистых бетонов для производства энергосберегающего материала;
  - оптимизация технологических параметров неавтоклавного газобетона на разработанных вяжущих с использованием метода математического планирования эксперимента;
  - разработка технологии производства неавтоклавных газобетонов на композиционных вяжущих;
  - разработка нормативных документов на производство и применение неавтоклавных газобетонов на композиционных вяжущих.
- Внедрение результатов исследований.

**Научная новизна работы.** Предложены принципы проектирования неавтоклавного газобетона для производства энергосберегающих ограждающих конструкций с учетом использования композиционных вяжущих, заключающиеся в оптимизации процесса структурообразования матрицы композита за счет интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, что позволяет получать



композиционное вяжущее с прочностью на сжатие не менее 90 МПа и неавтоклавный ячеистый бетон на его основе с улучшенными характеристиками.

Установлена возможность повышения эффективности неавтоклавного газобетона за счет регулирования коллоидно-химических свойств смеси, позволяющая увеличить эффективную вязкость раствора, что способствует предотвращению прорывания газовых пор и оптимизации макроструктуры.

Выявлены зависимости подвижности газоцементных систем от вида и содержания вяжущего, что позволяет управлять процессом газообразования и реологическими свойствами в системе «газообразователь – композиционное вяжущее – вода» и способствует получению заданных напряжений сдвига смеси с оптимальным отношением суперпластификатора к цементу.

Установлен характер кинетики помола и распределения частиц композиционных вяжущих по размерам, измельченных в центробежном агрегате с параллельными помольными блоками (ЦА ППБ), свидетельствующий о смещении максимума из области крупных размеров частиц в область средних и увеличении количества мелких частиц, что приводит к полидисперсному распределению компонентов вяжущего, обеспечивая интенсификацию процессов гидратации.

Получены математические модели зависимости физико-механических характеристик неавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих от технологических параметров (В/Т, количества извести и газообразователя, вида наполнителя), что позволяет управлять процессом производства газобетонов и оптимизировать технологический процесс.

**Практическая значимость.** Предложены составы композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов с оптимальным содержанием клинкерной составляющей 70 % с обеспечением прочности на сжатие не менее 90 МПа. Использование отсева дробления перлита позволило получить экономно клинкерной составляющей в композиционном вяжущем без снижения его активности.

Разработаны составы неавтоклавных газобетонов, позволяющие изготавливать ячеистый бетон с маркой по средней плотности D500, прочностью на сжатие до 3 МПа, теплопроводностью до 0,1 Вт/м·°С с возможностью его применения в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала для возведения ограждающих конструкций в энергосберегающем малоэтажном домостроении.

Разработаны технологии производства композиционных вяжущих и неавтоклавных газобетонов на их основе.

**Внедрение результатов исследования.** Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятиях ООО «ПромИндустрия», ООО «Экостройматериалы» Белгородской области. Неавтоклавный газобетон на основе композиционных вяжущих применен при строительстве индивидуальных жилых домов.

Для внедрения результатов научно-исследовательской работы разработаны нормативные и технические документы:

- стандарт организации СТО 02066339-008-2009 «Композиционное вяжущее для неавтоклавных ячеистых бетонов»;
- технологический регламент на производство блоков стеновых мелких из ячеистого бетона на предприятии ООО «ПромИндустрия»;
- рекомендации по производству неавтоклавного ячеистого бетона на композиционных вяжущих.

Теоретические положения и результаты экспериментальных исследований, полученные при выполнении диссертационной работы, используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство» и инженеров по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих Международных конференциях: Юбилейная научно-практическая конференция «Строительство-2009» (Ростов-на-Дону, 2009); XI Международная научно-практическая конференция «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах (Пенза, 2010); Международная научно-техническая конференция «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (Пенза, 2010).

**Публикации.** Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в восьми научных публикациях, в том числе в трех статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Подана заявка на патент рег. № 2010110776, приоритет от 22.03.2010 г.

**На защиту выносятся:**

- принципы оптимизации неавтоклавных газобетонов на композиционных вяжущих;
- параметры процесса помола композиционных вяжущих, измельченных в центробежном агрегате с параллельными помольными блоками;

– математические модели зависимости физико-механических характеристик неавтоклавного газобетона на композиционных вяжущих от технологических параметров;

– составы композиционных вяжущих на цементной и клинкерной основах прочностью до 90 МПа;

– составы неавтоклавных газобетонов на основе композиционных вяжущих для ограждающих энергоэффективных конструкций;

– технологии производства композиционных вяжущих и неавтоклавных ячеистых бетонов на их основе;

– результаты опытно-промышленной апробации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы из 187 наименований и 7 приложений. Общий объем диссертации 195 страниц машинописного текста, включающих 68 рисунков, 46 таблиц, 10 страниц приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Улучшение энергоэффективности зданий в настоящее время относят к самым важным задачам по сохранению окружающей среды, а также снижению энергопотребления. В связи с этим усиливается тенденция заблаговременной оптимизации энергорасходов при проектировании энергосберегающих поризованных материалов и строительстве зданий на их основе.

При этом, несмотря на то, что автоклавная технология поризованных материалов лучше освоена и обеспечивает получение долговечных ячеистых бетонов, целесообразнее ее использовать на крупных предприятиях. Тогда как на современном этапе развития малого и среднего бизнеса более востребованной является технология неавтоклавного ячеистого бетона, преимуществами которой является малая фондоэнергоёмкость, экологическая чистота производства, меньшая себестоимость при стабильном качестве изделий.

При выполнении работы применяли следующие методы исследований: РФА, ДТА, электронную микроскопию (растровый ионно-электронный микроскоп Quanta 200 3D с рентгеновским эмиссионным микрозондом), гранулометрический анализ распределения частиц на лазерном анализаторе Microsizer. Исследование реологических характеристик цементных растворов проводилось на ротационном вискозиметре «REOTEST-2.1», теплопроводность определялась электронным измерителем ИТП-МГ4, а также использовались метод математического планирования эксперимента со статистической

обработкой результатов и стандартные методы испытания композиционных вяжущих и ячеистых бетонов на их основе.

Для получения энергоэффективных ячеистых бетонов и повышения эффективности использования цемента применяли композиционные вяжущие на основе клинкера (с добавлением 5 % гипса) и портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108–2003 производства ЗАО «Белгородский цемент».

При изготовлении композиционных вяжущих процесс помола является основным по объему капиталовложений в оборудование. В ходе помола происходит физико-химическая активация компонентов, в дальнейшем определяющая свойства полученного вяжущего. Повышение эффективности данного процесса достигается совершенствованием помольных агрегатов, применением различных добавок-интенсификаторов, рациональным подбором составов КВ.

Дозировка суперпластификатора Полипласт СП-1 (производства ООО «Полипласт Новомосковск»), определенная с использованием метода мини-конуса, составляла 1 % от массы вяжущего. Установлена целесообразность замены клинкера в композиционном вяжущем до 30 % наполнителем (отсевы дробления перлита, трепела и опоки), что позволяет осуществить экономию клинкерной составляющей без значительного изменения активности вяжущего.

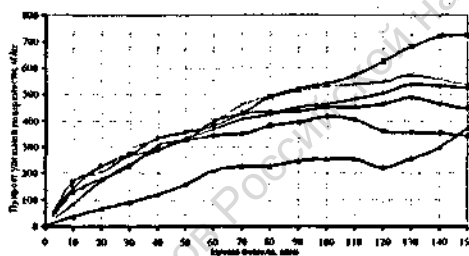


Рис. 1. Удельная поверхность композиционных вяжущих от времени помола:

- 70 % Цемент + 25 % Перлит + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- 70 % Цемент + 25 % Опока + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- 70 % Цемент + 25 % Трепел + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- 70 % Клинкер + 25 % Опока + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- 70 % Клинкер + 25 % Перлит + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс;
- 70 % Клинкер + 25 % Трепел + 1 % Полипласт СП-1 + 5 % гипс

Анализ кинетических констант помола КВ (рис. 1, табл. 1), измельченных в ЦА ППБ, позволил определить оптимальное время помола каждого вида композиционного вяжущего для достижения рациональной удельной поверхности — 500...550 м<sup>2</sup>/кг. Выявлено, что нантушней размоломоспособностью обладает вяжущее на основе клинкера с добавлением перлита, вяжущего наименьший коэффициент торможения  $k_t = 0,0008$  кг/м<sup>2</sup>.

При помоле высокопористых материалов (трепела и опоки), содержащих много открытых пор, происходит поглощение молекул суперпластификатора, и процесс увеличения удельной поверхности не только не ускоряется, а в отдельные сроки даже замедляется из-за вторичной агрегации и налипания на мелющие тела и корпус мельницы.

Таблица 1

## Кинетические константы помола композиционных вяжущих (ВНВ-70)

Состав вяжущих	Начальная скорость ( $U_0$ ), м <sup>2</sup> /кг·мин)	Коэффициент термозжесты ( $k_t$ ), кг/м <sup>2</sup>	Коэффициент корреляции ( $k_{cor}$ )
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + перлит	10,72	0,0012	0,9944
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + опока	13,26	0,0012	0,9955
ЦЕМ I 42,5 Н + Полипласт СП-1 + трепел	3,99	0,0015	0,8204
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + перлит	10,1	0,0008	0,9537
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + опока	13,26	0,012	0,9955
Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + трепел	18,79	0,002	0,9948

Анализ гранулометрии полученных вяжущих показал, что КВ на основе клинкера с суперпластификатором имеет повышенное содержание мелкодисперсных частиц с выраженным максимумом в интервале 5...13 мкм по сравнению с вяжущими, полученными при помоле цемента (рис. 2).

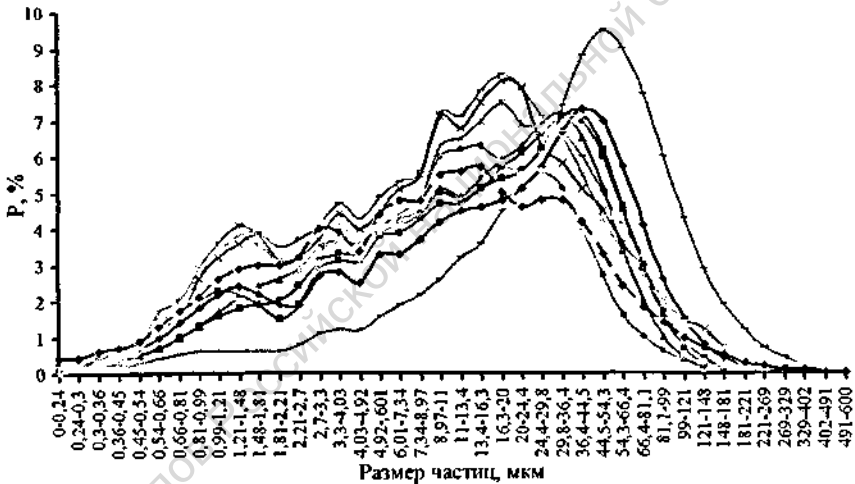


Рис. 2. Распределение частиц композиционного вяжущего по размерам:

- Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + перлит;
- Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + трепел;
- Цемент + гипс + Полипласт СП-1 + опока;
- Цемент + Полипласт СП-1;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + трепел;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + опока;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + перлит;
- Цемент;
- Клинкер + гипс

При этом вяжущие на основе клинкера имеют большое содержание мельчайших частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм. Введение минеральных наполнителей при помоле вяжущих на основе клинкера смещает графики



в область более мелких частиц. При этом кривые имеют несколько ярко выраженных пиков по сравнению с кривой портландцемента. Стоит отметить, что кривая вяжущего с перлитом имеет большое содержание мелких частиц в диапазоне 0,66...1,81 мкм, что обеспечивает более высокую реакционную способность, особенно в ранние сроки твердения.

Анализ реологических характеристик разработанных вяжущих (рис. 3) показал более быстрое начало гидратации составов на клинкерной основе, что в дальнейшем повлияло на активность вяжущего. Предложенные составы КВ позволяют получать растворы с заданной эффективной вязкостью, способствующей предотвратить прорывание газовых пор.

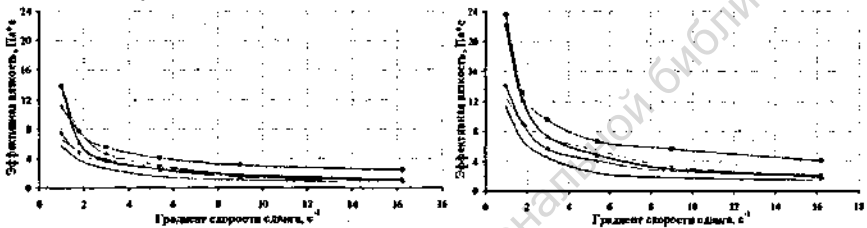


Рис. 3. Реологические кривые суспензий на основе цемента и клинкера:

- Цемент;
- Цемент + Полипласт СП-1;
- ×— Цемент + Полипласт СП-1 + гипс + перлит;
- Цемент + Полипласт СП-1 + гипс + опока;
- △— Цемент + Полипласт СП-1 + гипс + трепел;
- Клинкер + гипс;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1;
- ×— Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + перлит;
- Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + опока;
- △— Клинкер + гипс + Полипласт СП-1 + трепел

С целью исключения влияния газообразователя на изменение реологических свойств была рассмотрена тройная система «газообразователь – композиционное вяжущее – вода».

Введение суперпластификатора изменяет характер течения водогазоцементной суспензии: он снижает предел текучести практически до нуля, т.е. в системе вязкое течение начинается при очень малых градиентах скоростей сдвига. Существенное понижение напряжения сдвига при градиенте скорости сдвига больше 130...140  $\text{с}^{-1}$  вызвано седиментацией газоцементно-водной суспензии под воздействием центробежных сил. Это в свою очередь вызвано тем, что дополнительное количество ранее иммобилизованной воды, высвобожденное в результате введения суперпластификаторов, приводит к потере структурной устойчивости системы при данной дисперсности твердой фазы. Подобный эффект может иметь место и при меньших градиентах скорости сдвига в случае более высокого В/Ц отношения, что имеет место при приготовлении ячеистобетонной смеси.

На основе полученных реограмм (рис. 4) установлено, что для газоцементной системы «газообразователь – композиционное вяжущее – вода», имеющей низкое значение величины предельного напряжения сдвига, оптимальное процентное содержание суперпластификатора 1 %.

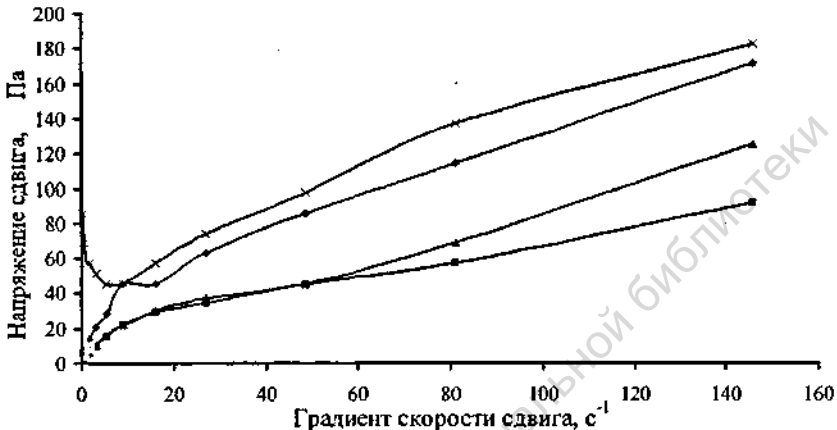


Рис. 4. Реограммы газоцементных смесей:

- газобразователь – ВНВ-70 (1 % Полипласт СП-1) – вода;
- ▲— газобразователь – ВНВ-70 (0,14 % Полипласт СП-1) – вода;
- ♦— газобразователь – ВНВ-70 (0,7 % Полипласт СП-1) – вода;
- ×— газобразователь – ТМЦ-70 – вода

С учетом полученных данных гранулометрического состава, реологических характеристик и физико-механических испытаний вяжущих предложены рациональные составы ВНВ-70 (с наполнителями в виде перлита и опоки) (табл. 2) с использованием портландцемента и клинкерной составляющей с суперпластификатором Полипласт СП-1.

Таблица 2

Составы и физико-механические характеристики композиционных вяжущих

Вяжущее	НГ, %	Сроки схватывания, мин		Прочность, МПа, в возрасте, сут					
		начало	конец	на сжатие			при изгибе		
				3	7	28	3	7	28
ВНВ-70 (клинкер + перлит)	28,9	40	150	52,3	67,2	90,5	7,26	9,33	12,65
ВНВ-70 (цемент + перлит)	27,4	45	145	50,7	66,9	87,1	7,34	9,69	12,45
ВНВ-70 (клинкер + опока)	30,7	65	170	55,3	63,5	81,9	8,25	8,82	11,9
ВНВ-70 (цемент + опока)	29,1	70	170	53,3	64,3	77,7	7,61	9,45	11,1

Известно, что для ячеистых бетонов пластифицирование цементных растворов не эффективно ввиду гидрофобного взаимодействия суперпластификаторов и газообразователя, однако, проведенными исследованиями показана возможность применения суперпластификатора Полипласт СП-1.

Производство композиционных вяжущих с активными кремнеземсодержащими минеральными добавками дает возможность экономии удельных энергозатрат на тонну цемента за счет снижения содержания клинкерной составляющей с сохранением высоких строительно-технических свойств.

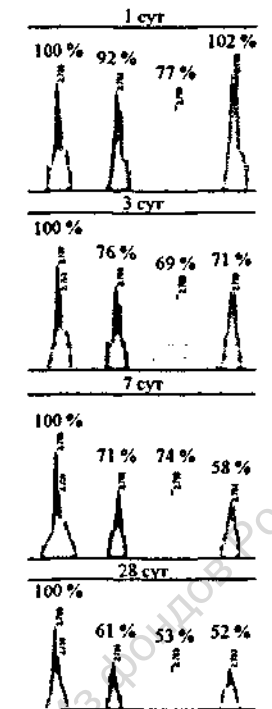


Рис. 5. Интенсивность отражений 2,76 Å и 2,78 Å в зависимости от вида кремнеземсодержащей добавки в вяжущем:  
 — ЦЕМ 42,5Н;  
 - - - ВНВ-70 (перлит);  
 ···· ВНВ-70 (опока);  
 —·— ВНВ-70 (перлит)

Влияние вида минеральной добавки на прочностные свойства вяжущего и гидратацию клинкерных минералов изучалось на разработанных композиционных вяжущих с наполнителями перлита, опоки и трепела методом РФА. Результаты РФА (рис. 5) свидетельствуют, что в начальные сроки (1, 3 сут) твердения более интенсивно гидратирует КВ с добавкой трепела, хотя прочность его в трехсуточном возрасте более чем в 2 раза ниже, чем вяжущих с остальными добавками. Этот факт свидетельствует, что интенсивность гидратации на начальном этапе не всегда определяет прочность цементного камня. Чрезмерно высокая скорость процесса может привести к формированию крупноблочной структуры низкой прочности, что, возможно, и наблюдается в данном случае. К 3 и 28 сут твердения гидратация КВ с опокой и перлитом выше интенсивности этого процесса в трепелсодержащем композиционном вяжущем. Наибольшие изменения между отражениями заметны на 28 сут твердения, где высота дифракционных максимумов алита и белита у КВ с опокой и перлитом на 13 % и 15 % ниже соответственно, чем с трепелом. Эти результаты согласуются с прочностными данными КВ (табл.2) в эти же сроки твердения, которые свидетельствуют, что максимальная разница между прочностью цементного камня с соответствующими добавками равна 48 % и 66 %.

Образец в 28 сут твердения с добавкой перлита показал и лучшее усвоение аморфной составляющей с наиболее полной гидратацией клинкерных минералов. Вследствие этого минералогический состав образца с добавкой перлита имеет оптимальное соотношение клинкерных минералов и минералов гидросиликатов кальция.

При введении опоки заметное снижение интенсивности отражений  $2,76\text{\AA}$  и  $2,78\text{\AA}$  началось в возрасте 1 сут твердения, хотя по кинетике гидратации клинкерных минералов она проявила себя достаточно близкой к составу с содержанием трепела. Содержащаяся в опоке аморфная составляющая способствовала, по сравнению с другими добавками в 3 и 7 сут твердения образцов, более активному образованию гидросиликатов кальция. Это позволило через 28 сут твердения получить образцы с оптимальной структурой вследствие более сбалансированного соотношения кремнезема, клинкерных минералов и гидросиликатов кальция, которые способствовали максимально возможному заполнению дефектов крупных кристаллов. Состав с добавкой трепела по кинетике гидратации клинкерных минералов проявил себя достаточно близко к составу с содержанием опоки, что отмечалось по отражениям дифракционных максимумов  $2,76\text{\AA}$  и  $2,78\text{\AA}$ . Трепел по минералогическому составу содержит максимальное количество аморфной составляющей. Однако данная составляющая не проявляла активности и в значительной степени осталась в исходном состоянии. Это не позволило создать плотную структуру цементного камня, а прочностные характеристики показали наименьшие значения, хотя гидратация клинкерных минералов происходила достаточно активно.

Исследования на РЭМ показали, что во всех образцах композиционных вяжущих в возрасте 1-суточного твердения (рис. 6, увеличение  $\times 5000$ ) микроструктура цементного камня представлена рыхлой матрицей, отсутствуют новообразования с выраженным габитусом кристаллов. В 28-суточном возрасте микроструктуры матрицы преимущественно представлены плотной массой и мелкозернистой фазой, при этом основной элемент микроструктур — кристаллогидрат игольчатой формы. Преобладают призматические, волокнистые и игольчатые кристаллы. Отмечается высокая однородность структуры и четкое прорастание гидросиликатов по всей матрице композитов. У цементного камня с использованием перлита практически отсутствуют поры и пустоты.

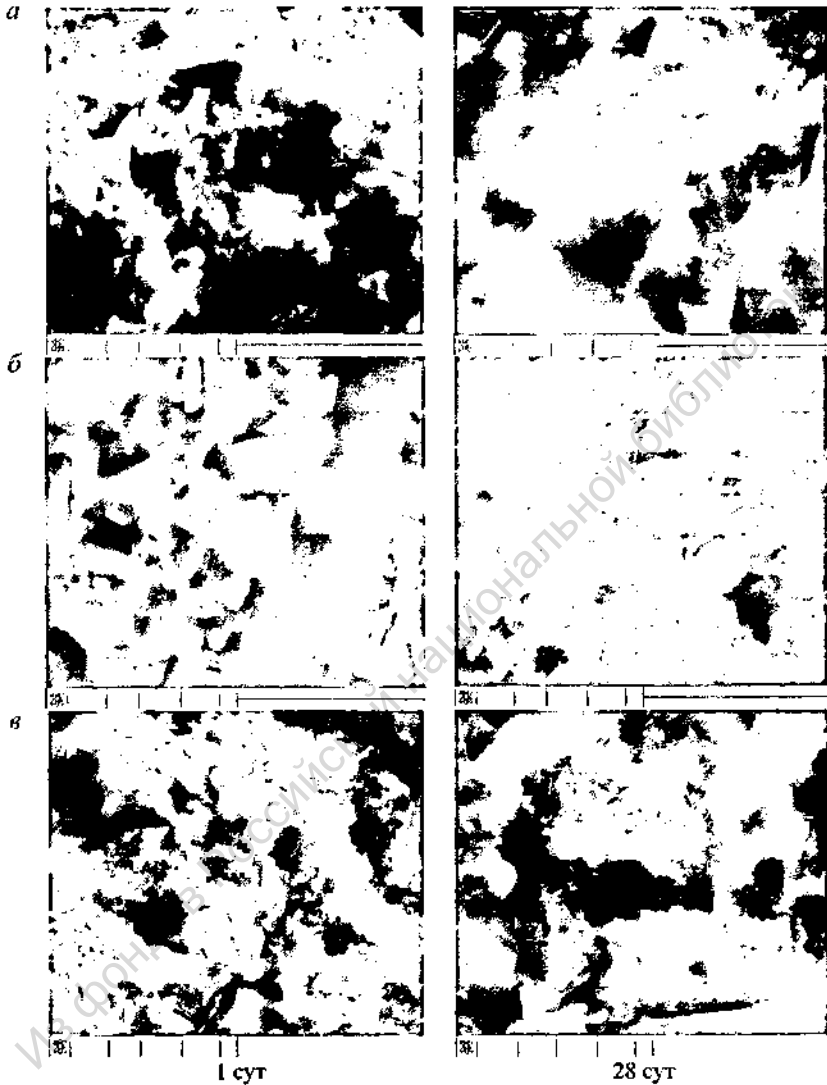


Рис. 6. Микрофотографии композиционного вяжущего с наполнителями (увеличение  $\times 5000$ ):  
 а - перлит; б - опока; в - трасс

Гидросиликаты кальция имеют форму мелких нглообразных кристаллов, иглы разветвленные, образуют дендритообразную непрерывную высокопрочную структуру. Пластинки и чешуйки

низкоосновного гидросиликата кальция заполняют пространство между частичками вяжущего, что способствует достижению высокой прочности твердеющей системы.

У образцов с использованием опоки пустоты заполнены хорошо сформированными нитевидными, столбчатыми кристаллами, но такие агрегаты не соединяют стенки пор, следовательно, контакт между ними слабый, что в итоге ведет к понижению прочностных показателей.

Разработка оптимальных составов энергоэффективных неавтоклавных газобетонов на композиционных вяжущих и исследование влияния отдельных компонентов на технологические и физико-механические свойства бетонов производились с использованием метода математического планирования эксперимента (табл. 3).

Таблица 3

## Условия планирования эксперимента

Фактор		Уровень варьирования		
натуральный вид	кодированный вид	-1	0	+1
В/Т	$X_1$	0,5	0,6	0,7
Известь, % от массы вяжущего	$X_2$	2	4	6
Al паста, % от массы вяжущего	$X_3$	0,5	0,6	0,7
Вид наполнителя	$X_4$	Опока	Перлит	Трелел

Факторы, не вошедшие в план эксперимента, приняты постоянными.

В результате статистической обработки полученных данных (табл. 4) выявлены оптимальные дозировки компонентов и получены математические модели:

– средней плотности

$$Y_1 = 293,02 - 148,32 \cdot X_1 - 161,57 \cdot X_2 - 195,21 \cdot X_3 + 39,25 \cdot X_4 + 45,98 \cdot X_1^2 + 105,98 \cdot X_2^2 + 81,48 \cdot X_3^2 + 95,98 \cdot X_4^2 + 18,88 \cdot X_1 \cdot X_2 + 35,38 \cdot X_1 \cdot X_3 - 35,13 \cdot X_1 \cdot X_4 + 96,75 \cdot X_2 \cdot X_3 + 13,5 \cdot X_2 \cdot X_4 + 14,5 \cdot X_3 \cdot X_4$$

– прочности на сжатие

$$Y_2 = 1,45 - 1,20 \cdot X_1 - 1,01 \cdot X_2 - 1,16 \cdot X_3 + 0,26 \cdot X_4 + 0,2 \cdot X_1^2 + 0,58 \cdot X_2^2 + 0,4 \cdot X_3^2 + 0,13 \cdot X_4^2 + 0,13 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,28 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,21 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,59 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,11 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,03 \cdot X_3 \cdot X_4$$

анализ которых представлен на рис. 7.

В результате анализа экспериментальных данных был предложен оптимальный состав неавтоклавного газобетона на основе композиционного вяжущего, содержащий клинкерную составляющую 70 %, суперпластификатор Полипласт СП-1 1 %, гипс 5 %, известь 4 %, перлит 30 % и газообразователь – алюминиевую пасту STAPA Alupor 0,6 %.

Таблица 4  
Матрица планирования  
и экспериментальные данные

№ опыта	Фактор				$\rho_{\text{ср.}}$ кг/м <sup>3</sup>	$R_{\text{ср.ср.}}$ МПа
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$		
1	+	+	+	+	240	0,3
2	+	+	+	-	215	0,18
3	+	+	-	+	420	1,1
4	+	+	-	-	398	1,02
5	+	-	+	+	390	1,2
6	+	-	+	-	360	0,9
7	+	-	-	+	835	3,8
8	+	-	-	-	910	3,9
9	-	+	+	+	580	3,0
10	-	+	+	-	356	1,2
11	-	+	-	+	780	4,1
12	-	+	-	-	660	3,2
13	-	-	+	+	680	3,1
14	-	-	+	-	560	3,02
15	-	-	-	+	1380	7,8
16	-	-	-	-	1280	6,9
17	+	0	0	0	260	0,81
18	-	0	0	0	420	2,5
19	0	+	0	0	320	1,18
20	0	-	0	0	480	2,9
21	0	0	+	0	261	0,92
22	0	0	-	0	490	2,8
23	0	0	0	+	460	1,9
24	0	0	0	-	320	1,28
25	0	0	0	0	280	1,3

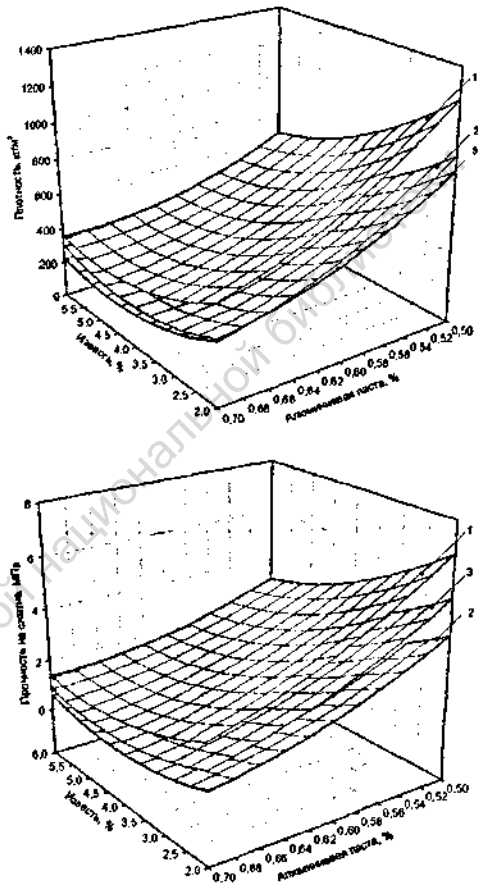


Рис. 7. Помограммы средней плотности и прочности на сжатие газобетона от В/Т, количества извести, алюминиевой пасты и вида наполнителя:

- 1 - В/Т = 0,5, вид наполнителя - опока;
- 2 - В/Т = 0,6, вид наполнителя - перлит;
- 3 - В/Т = 0,7, %, вид наполнителя - трепел

Неавтоклавный газобетон на основе КВ с добавленным перлита по эксплуатационным свойствам (табл. 5) превосходит характеристики традиционных неавтоклавных газобетонов, что объясняется оптимизацией структуры ячеистого бетона за счет использования композиционных вяжущих.

Таблица 5  
Свойства газобетона на композиционном вяжущем (наполнитель – перлит)

Показатель	Результаты испытаний
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	480
Предел прочности на сжатие, МПа	2,9
Водопоглощение, %	20,4
Сорбционная влажность, при относительной влажности воздуха:	
75 %	3,1
97 %	5,0
Усадка, мм/м	0,45
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·ч·Па	0,34
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,119
Морозостойкость	F35

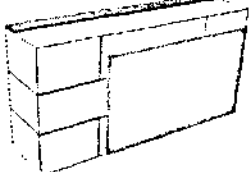
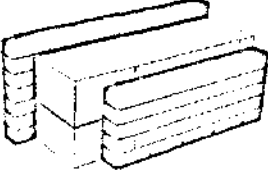

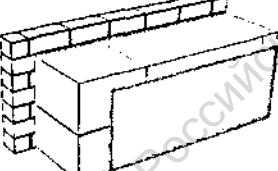
Таким образом, разработаны составы неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем со средней плотностью 480 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие до 3 МПа.

Предложена технологическая схема производства неавтоклавного газобетона на основе КВ, включающая дозирование компонентов, совместный помол в ЦА ППБ, приготовление алюминиевой суспензии, приготовление ячеистобетонной смеси, формование, выдержку, резку массива, тепловлажностную обработку, контроль и складирование готовой продукции. Для промышленного внедрения предложенных составов разработаны стандарт организации на композиционное вяжущее для неавтоклавных ячеистых бетонов и технологический регламент на производство мелких стеновых блоков из газобетона на композиционных вяжущих. Производство блоков стеновых мелких из газобетона осуществлено на предприятиях ООО «ПромИндустрия», ООО «Экостройматериалы» Белгородской области.

Рассчитаны рекомендуемые варианты энергосберегающих ограждающих конструкций для Белгорода (коэффициент сопротивления теплопередаче  $R_0 = 2,86$ ), которые представлены в табл. 6.



**Рекомендуемые варианты энергосберегающих  
ограждающих конструкций**

Эскиз	Показатель
	<p>Толщина стены – 340 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм; газобетон – 320 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм. Масса 1 м<sup>2</sup> стены – 191 кг</p>
	<p>Толщина стены – 520 мм; керамический кирпич – 120 мм; газобетон – 280 мм; керамический кирпич – 120 мм. Масса 1 м<sup>2</sup> стены – 543 кг</p>
	<p>Толщина стены – 430 мм; керамический кирпич – 120 мм; газобетон – 300 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм. Масса 1 м<sup>2</sup> стены – 367 кг</p>
	<p>Толщина стены – 435 мм; силикатный кирпич – 120 мм; газобетон – 305 мм; цементно-песчаный раствор – 10 мм. Масса 1 м<sup>2</sup> стены – 393 кг</p>

Внедрение результатов диссертационной работы позволило получить экономический эффект за счет использования композиционного вяжущего, снижения его расхода, сокращения затрат на заработную плату, электроэнергию, газ, амортизацию оборудования и транспорт.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны принципы управления процессами изготовления неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем, что позволило получать энергосберегающие конструктивно-теплоизоляционные изделия с повышенной прочностью и долговечностью.

2. Оптимизирован процесс структурообразования матрицы композита за счет интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, что позволяет получать композиционное вяжущее с прочностью на сжатие не менее 90 МПа и неавтоклавный ячеистый бетон на его основе с улучшенными характеристиками.

3. Установлена возможность регулирования коллоидно-химических свойств, позволяющих увеличить эффективную вязкость раствора, что способствует предотвращению прорывания газовых пор и повышает эффективность неавтоклавного газобетона.

4. Выявлены зависимости подвижности газоцементных систем от вида и содержания вяжущего, что позволяет управлять процессом газообразования и реологическими свойствами в системе «газообразователь – композиционное вяжущее – вода», что способствует получению заданных напряжений сдвига смеси с оптимальным отношением суперпластификатора к цементу.

5. Установлены параметры процесса помола и распределение частиц композиционных вяжущих по размерам, измельченных в центробежном агрегате с параллельными помольными блоками (ЦА ППБ), свидетельствующие о смещении максимума из области крупных размеров частиц в область средних и увеличении количества мелких частиц, что приводит к равномерному полидисперсному распределению компонентов вяжущего, обеспечивая интенсификацию процессов гидратации.

6. Получены математические модели физико-механических характеристик неавтоклавного газобетона на основе композиционных вяжущих от технологических параметров (В/Т, количества извести и газообразователя, вида наполнителя), что позволяет управлять процессом производства газобетонов и оптимизировать технологический процесс.

7. Предложены составы композиционных вяжущих с оптимальным содержанием клинкерной составляющей 70 % с обеспечением прочности на сжатие не менее 90 МПа.

8. Разработаны составы неавтоклавных газобетонов, позволяющие изготавливать ячеистый бетон с маркой по средней плотности D500, прочностью на сжатие до 3 МПа, теплопроводностью до 0,1 Вт/м·°С с возможностью его применения в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала для возведения ограждающих конструкций в энергосберегающем малоэтажном домостроении.

9. Разработаны технологии производства композиционных вяжущих и неавтоклавных газобетонов на их основе.

10. Выпущена опытная партия блоков мелких стеновых из неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем на

предприятиях ООО «ПромИндустрия», ООО «Экостройматериалы» Белгородской области и применена при строительстве индивидуальных жилых домов в п. Таврово-7 Белгородской области

11. Обеспечено внедрение результатов научно-исследовательской работы разработанными стандартом организации СТО 02066339-008-2009 «Композиционное вяжущее для неавтоклавных ячеистых бетонов», технологическим регламентом на производство блоков стеновых мелких из ячеистого бетона на предприятии ООО «ПромИндустрия», рекомендациями по производству неавтоклавного ячеистого бетона на композиционных вяжущих.

12. Получен экономический эффект за счет использования композиционного вяжущего, снижения его расхода, сокращения затрат на заработную плату, электроэнергию, газ, амортизацию оборудования и транспорт.

Применение энергоэффективного ячеистого бетона будет способствовать не только удешевлению строительства, но и улучшению экологической обстановки региона.

**Основные положения диссертации отражены в следующих работах:**

1. Сулейманов, А.Г. К оценке морозостойкости бетона [Текст] / А.Г. Сулейманов [и др.] // Строительные материалы. – 2006. – № 6. – С. 102–103.
2. Сулейманов, А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве [Текст] / А.Г. Сулейманов [и др.] // Известия ВУЗов. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 113–116.
3. Сулейманов, А.Г. Реологические свойства системы «Пенообразователь – ТМЦ 100 – пластификатор – вода» в зависимости от вида пластификатора [Текст] / А.Г. Сулейманов, И.А. Погорелова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. – № 4. – С. 18–20.
4. Лесовик, В.С. Композиционное вяжущее с водопонижающей добавкой «ПОЛИПЛАСТ СП-1» [Текст] / В.С. Лесовик, А.Г. Сулейманов // Материалы Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф. «Строительство-2009». – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. – С. 153–155.
5. Лесовик, В.С. Эффективное композиционное вяжущее для мелких стеновых блоков [Текст] / В.С. Лесовик, А.Г. Сулейманов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – № 1. – С. 95–96.
6. Сулейманов, А.Г. Энергосберегающие материалы для ограждающих конструкций зданий [Текст] / А.Г. Сулейманов, И.А. Погорелова, К.А. Кара // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 180–181.

7. Сулейманов, А.Г. Механохимическая активация композиционного вяжущего в центробежном агрегате с параллельными помольными блоками [Текст] / А.Г. Сулейманов, А.В. Уральский // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 166–168.

8. Лесовик, В.С. Технология бетона, строительных изделий и конструкций [Текст]: учеб. пособие / В.С. Лесовик, Л.А. Сулейманова, А.Г. Сулейманов // Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 352 с.

Из фондов Российской национальной библиотеки

**СУЛЕЙМАНОВ АБДУЛЛА ГАСАНОВИЧ**

**НЕАВТОКЛАВНЫЕ ГАЗОБЕТОНЫ  
НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Подписано в печать 01.10.10. Формат 60×84/16.

Усл.- печ.л. 1,21. Тираж 100 экз. Заказ № 424

Отпечатано в БГТУ им. В. Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

10 - 2266 8

ЛЮБА  
12668

Из фондов Российской национальной библиотеки