

На правах рукописи



БУКАРЕВА АНАСТАСИЯ ЮРЬЕВНА

**НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОБЕТОН С КОМПЛЕКСНОЙ
МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ
АЛКИЛЗАМЕЩЕННЫХ ФЕНОЛОВ**

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2004

Работа выполнена в Саратовском государственном техническом университете.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Ивашенко Юрий Григорьевич

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Калашников Владимир Иванович

- кандидат технических наук, доцент
Щегинин Вячеслав Георгиевич

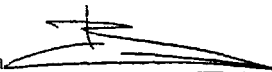
Ведущая организация - ФГУП НИПИ «Гипропромсельстрой»,
г. Саратов

Защита состоится « 27 » декабря 2004 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.242.05 при Саратовском государственном техническом университете по адресу: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, Саратовский государственный технический университет, корп. 1, ауд. 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научно - технической библиотеке Саратовского государственного технического университета.

Автореферат разослан « 25 » ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Иноземцев В.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение энергоэффективности и комфортности жилых зданий может быть достигнуто благодаря применению в ограждающих конструкциях эффективных легких материалов, обеспечивающих требуемый уровень теплозащиты, паро- и воздухопроницаемости ограждений зданий.

В настоящее время в России основными теплоизоляционными материалами являются минеральная вата и изделия на ее основе, полимерные пенопласты, но на данном этапе недостаточно изучена проблема их долговечности. Основной объем пористых заполнителей составляет керамзит насыпной плотностью более 500 кг/м^3 , а для получения эффективных ограждающих конструкций этот показатель не должен превышать $200\text{--}300 \text{ кг/м}^3$. Эффективно использование вспучиваемого перлита, вермикулита, диатомита и других материалов, которые имеют региональный характер применения. Все эти теплоизоляционные материалы возможно использовать только в сочетании с конструкционными материалами.

Для теплоэффективного дома, его ограждающих и несущих элементов, таким образом, необходимы материалы и изделия нового поколения. В качестве критериев эффективности таких материалов должны приниматься их улучшенные теплофизические свойства, повышенная надежность и долговечность, простота их технологических решений, невысокий уровень производственных затрат при изготовлении изделий.

В рамках вышеизложенного следует говорить о целесообразности расширенного комплексного использования в несущих и ограждающих элементах зданий неавтоклавного пенобетона. К существенным недостаткам ячеистых бетонов неавтоклавного твердения относятся высокие усадочные деформации, формирующие в материале собственное поле растягивающих напряжений, обуславливающие интенсивное трещинообразование, в результате чего ухудшаются такие показатели качества, как прочность, теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость, паропроницаемость.

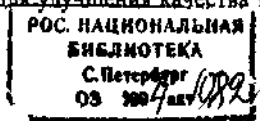
Получение пенобетонов низкой плотности достигается ускорением сроков схватывания цемента, что позволит зафиксировать структуру в том состоянии, в котором она сформировалась в процессе перемешивания и формования.

Решение проблемы стабилизации пенобетонной смеси полифункциональными химическими добавками позволит получить качественно новый, конкурентоспособный и эффективный теплоизоляционный материал на основе цементного вяжущего.

Целью исследований являлась разработка составов теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона с комплексной модифицирующей добавкой на основе алкилзамещенных фенолов и минеральными тонкодисперсными наполнителями, с улучшенными технико-экономическими показателями.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

-разработать комплексную модифицирующую химическую добавку на основе алкилзамещенных фенолов для улучшения качества теплоизоляционного пенобетона;



- исследовать особенности реологических свойств модифицированных пенных и пеноцементных систем и разработать способы их регулирования;

- произвести физико - химический анализ кинетики твердения и гидратного фазообразования цементного камня, модифицированного химическими и минеральными добавками;

- оптимизировать состав пенобетонных изделий, с улучшенными физико-механическими и биоцидными свойствами;

- исследовать закономерности изменения теплофизических свойств модифицированного пенобетона в процессе эксплуатации и разработать методы их прогнозирования;

- оценить экономическую эффективность применения ряда теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с учетом фактора долговечности;

- произвести апробацию предлагаемых составов на производстве, в соответствии с разработанными технологическими рекомендациями по изготовлению пенобетона;

- подтвердить экономическую целесообразность работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обосновано замедляющее действие синтетического пенообразователя на основе алкилсульфатов первичных жирных спиртов (ПБ2000) на сроки схватывания, кинетику твердения цементных систем и седиментационную деструкцию пеномассы;

- исследована гидратационная активность цемента в присутствии модификатора на основе алкилзамещенных фенолов и минеральных наполнителей, выявлено изменение закономерностей структурообразования цементного камня;

- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность управления структурообразованием и формированием физико - механических свойств модифицированных наполненных пенобетонов неавтоклавного твердения;

- установлено влияние алкилзамещенных фенолов на характер размножения микроорганизмов на материалах и разрушающее воздействие продуктов их метаболизма;

- определены закономерности изменения теплофизических свойств ряда теплоизоляционных материалов в процессе эксплуатации и предложены математические зависимости влияния влажности материала на коэффициент теплопроводности;

- предложен метод оценки экономической эффективности применения теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с учетом фактора долговечности.

Практическая значимость состоит в следующем:

- предложена новая модифицирующая добавка на основе алкилзамещенных фенолов, улучшающая свойства пены и позволяющая снизить расход пенообразователя в 4 раза; интенсифицирующая сроки схватывания цемента и влияющая на набор прочности во **все** периоды твердения, тем самым, исключая

усадочные деформации изделий и обеспечивая в 28 - суточном возрасте прирост прочности на 20-30 %; повышающая биологическое сопротивление материалов в процессе эксплуатации; позволяющая формировать мелкодисперсную, равномерную поровую структуру пенобетона, характеризующую его качество;

-разработана сырьевая смесь для производства эффективных пенобетонов неавтоклавного твердения (положительное решение о выдаче патента РФ по заявке №2004128225/03(030539) с плотностью 300...400 кг/м³, прочностью 2,0...2,5 МПа, теплопроводностью 0,077...0,081 Вт/м²С;

- разработаны технические рекомендации на изготовление неавтоклавных пенобетонов с комплексной модифицирующей добавкой на основе алкилзамещенных фенолов;

- произведена опытно-промышленная апробация результатов работы, выпущено 300 м³ пенобетонных изделий с плотностью 400 кг/м³, расчетный экономический эффект при производстве которых составляет 49 р/м³.

Апробация работы. Результаты работы доложены на четырех международных и всероссийских конференциях, в том числе: Всероссийской научно - технической конференции «Актуальные вопросы строительства» (Саранск, 2002 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения» (Саранск, 2003 г.); IX Международной научно-технической конференции «Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов» (Пенза, 2003 г.); Восьмых академических чтений отделения строительных наук РААСН «Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения» (Самара, 2004 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, списка использованной литературы и приложений. Она изложена на 200 страницах и содержит 44 рисунка, 45 таблиц и 4 приложения. Список используемой литературы включает 160 наименований.

На защиту выносятся:

-состав неавтоклавного пенобетона, модифицированного комплексной добавкой на основе алкилзамещенных фенолов, с улучшенными физико - механическими свойствами;

-закономерности структурообразования цементных систем, модифицированных алкилзамещенными фенолами и минеральными наполнителями;

-результаты практической реализации технологии изготовления пенобетона с улучшенными физико - механическими и эксплуатационными характеристиками и данные по его технико - экономической эффективности;

-математическая модель оценки эффективности теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с учетом фактора долговечности.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность работы, научная новизна и практическая ценность результатов диссертационной работы. Сформулированы цель, основные направления исследований и положения, выносимые на защиту. Показана целесообразность решения поставленных задач в рамках нового на-

правления в повышении экономической эффективности в области стеновых материалов.

В главе 1 изложен анализ литературных данных о структурообразовании пенобетонов, начиная с рассмотрения структуры и свойств водных пен и пенобетонных смесей и завершая основными технологическими факторами, влияющими на макроструктуру пенобетона.

Работы многих отечественных и зарубежных ученых в области развития экспериментально - теоретических основ технологии пенобетона позволили существенно расширить номенклатуру эффективных строительных материалов. Однако проблема управления агрегативной устойчивостью пенобетонных смесей и регулирования усадочных деформаций пенобетонов неавтоклавного твердения существенно ограничивает их область применения и технико - экономическую эффективность.

Высокие усадочные деформации в сочетании с низкой прочностью пенобетонов неавтоклавного твердения предопределяют их сравнительно низкую эксплуатационную надежность. Применение высокоэффективных модифицирующих добавок с целью улучшения основных физико - механических свойств пенных и пеноцементных систем представляется весьма целесообразным в технологии пенобетонов.

Приведены характеристики наиболее распространенных пенообразователей, показано, что научно обоснованные способы компенсации процесса торможения гидратационной активности портландцемента поверхностно - активными веществами требуют своего развития.

В главе 2 представлены характеристики используемых материалов и методики проведения экспериментов.

Свойства исходных сырьевых материалов определялись в соответствии с ГОСТ 310 - 76, 310.4 - 81 «Цементы. Методы испытаний» и ГОСТ 8735 - 88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

В качестве объектов исследования приняты цементные композиции и пенобетонные смеси с использованием портландцементов марки ГЩ-500 Д-0, ПЦ-400 Д-20 АО «Вольскцемент», ПЦ-500 Д-0 «Себряковский цементный завод», ПЦ-500 Д-0 «Михайловский цементный завод» (удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»); речной кварцевый волжский песок $M_{np} = 1,55$; насыпной плотностью 1487 кг/м^3 , истинной плотностью 2640 кг/м^3 .

Приготовление пены осуществлялось на воде с $\text{pH}=6,0..7,0$, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 4797-89 «Вода для бетонов и растворов».

Исследованы различные минеральные добавки: кремнистые (I), алюмокремнистые (II) и карбонатные (III) наполнители/ позволяющие улучшить структуру пены, увеличить ее кратность и стойкость во времени. Также оценивалось влияние добавок на усадку и физико - механические характеристики изделий из пенобетона.

В работе был использован синтетический пенообразователь на основе алкилсульфатов первичных жирных спиртов (ПБ2000) (ТУ 2481-185-05744685-

01), рабочая концентрация которого определялась из условия предельного насыщения адсорбционного слоя молекулами, кратности и стойкости пены.

Поверхностное натяжение растворов определяли сталагмометрическим методом. Стабильность пены определяли как количество жидкости, выделившейся из пены в течение 1 ч, в процентах к исходному количеству взятого для испытания раствора пенообразователя. Кратность пены вычисляли как отношение полученного ее объема к объему раствора, взятого до испытания. Плотность пены определялась взвешиванием единицы ее объема. Вязкость определяли вискозиметром ВПЖ-2.

Стандартные испытания цементов проводили в соответствии с ГОСТ 310-76 и ГОСТ 310.4-81.

Изготовление образцов и определение физико - механических свойств пенобетона проводили согласно ГОСТ 12852.0-77... 12852.6-77, ГОСТ 7067-97, а также ГОСТ 25485 - 89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».

Физико-химические исследования производились при помощи рентгенофазного анализа, метода инфракрасной спектроскопии и дериватографического анализа.

Оценку макропористой структуры проводили методом прямого сканирования срезов образцов пенобетона на сканере CanoScan D 1250U2. Сканированные изображения распознавались с помощью программы PhotoShop 6.0.

Обработку результатов выполняли в соответствии с теорией математического планирования эксперимента, используя критерии распределения Стьюдента и Фишера. Предварительно полученные данные оценивали на достоверность при помощи неравенства Чебышева.

В главе 3 представлены данные по получению и свойствам модифицирующей добавки на основе алкилзамещенных фенолов, а также рассмотрены особенности гидратации цементного камня в присутствии ПАВ, модификатора и минеральных наполнителей.

Выявлено негативное влияние пенообразователя ПБ2000 на процессы гидратации цемента в начальные сроки твердения. Механизм замедления заключается в стабилизации молекулами ПАВ этtringита через 3 суток твердения и пассивации поверхности частиц вяжущего. Стабилизация этtringита происходит за счет образования комплекса ПАВ-этtringит, присутствие которого обнаруживается методами ДТА, РФА и ИКС. Присутствие указанного комплекса фиксируется дериватографически в виде узкого и интенсивного экзотермического максимума при 360 °С, не обнаруживаемого ранее в контрольном составе (рис. 1). Одновременно, спектроскопически зафиксировано увеличение в рассматриваемой системе связанной в кристаллогидраты воды с одновременным смещением полосы поглощения этtringита в высокочастотную область. В результате, в первые 3 суток твердения в системе Ц+В+ПАВ затруднено образование высокоосновных гидросиликатов кальция, отвечающих за набор прочности. В системе преобладают аморфные с высоким содержанием воды продукты гидратации. Гидросиликаты в рассматриваемой системе имеют температуры дегидратации не выше 400 °С.

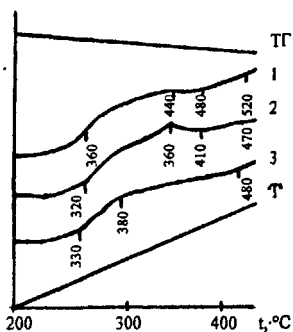


Рис. 1. Девридограммы модифицированных цементных образцов (3 часа гидратации)

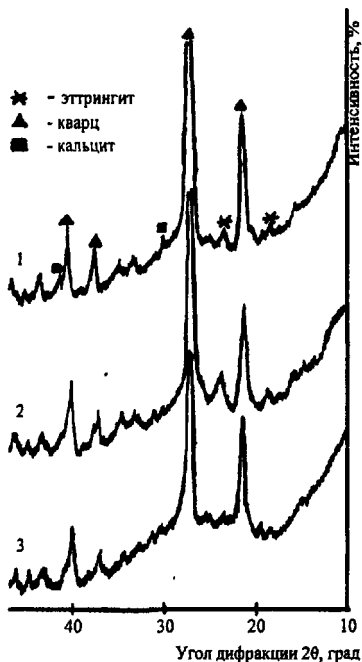


Рис. 2. Рентгенограммы модифицированных цементных образцов

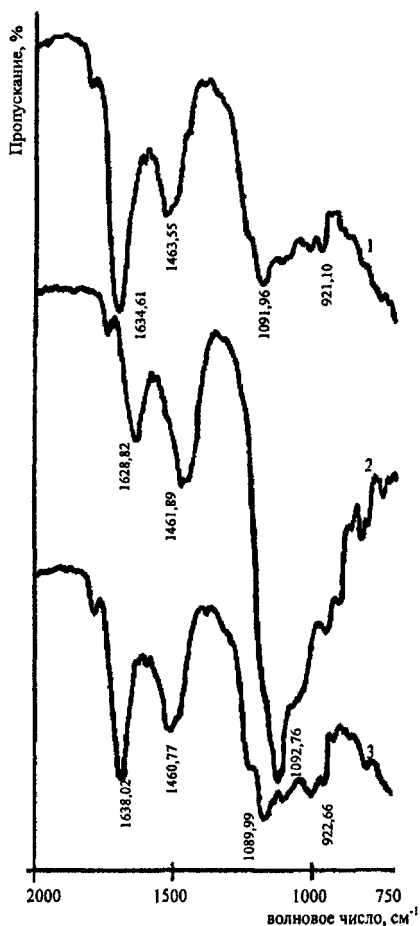


Рис. 3. ИК – спектрограммы модифицированных цементных образцов (3 суток твердения)

1. Ц + В
2. Ц + В + ПАВ
3. Ц + В + ПАВ + МД

Снизить негативное влияние ПАВ на процессы гидратации возможно несколькими путями: введением высокодисперсных гидратационноактивных наполнителей с использованием химических модифицирующих добавок, которые способны разрушать комплексы ПАВ с этtringитом, освобождая последний для дальнейших превращений. Модификатор представляет собой продукт алкилирования сульфированного фенольного сырья, содержащий несколько гидро-

фильных групп различной природы (спиртовые, фенольные, сульфогруппы). Такое сочетание функциональных групп позволяет достичь относительно большой водорастворимости модификатора при сохранении его способности образовывать малорастворимые кальциевые соли. Образование поверхностных соединений определяет гидратационную активность модификатора, выражающуюся в некотором торможении процессов гидратации. ИК-спектроскопическое исследование показало, что присутствие модификатора приводит на ранних стадиях гидратации к увеличению содержания аморфной фазы и слабо связанной кристаллогидратной воды при одновременном ускорении реакций образования и превращения этtringита. Последнее является основным фактором сокращения доиндукционного и индукционного периода гидратации цемента и определяет технологическую эффективность применения алкилзамещенных фенолов. Рентгенофазный анализ (рис. 2) показал, что введение в цементный раствор ПАВ приводит к значительному росту интенсивности рефлекса этtringита ($2\theta = 15,8$ и $23,0$ град). При этом следует отметить, что рефлекс этtringита при $2\theta = 23$ град, имеет признаки расщепления, что может быть интерпретировано как результат искажения кристаллической решетки последнего. Введение модификатора меняет дифракционную картину: значительно снижается интенсивность этtringита ($2\theta = 23$ град.) и увеличивается интенсивность аморфной составляющей дифрактограммы, в структуре которой можно выделить рефлексы этtringита и кальцита. В присутствии добавки на основе алкилзамещенных фенолов структура цементного камня на ранних стадиях гидратации представлена плохо закристаллизованной аморфной фазой, дифракционная структура которой схожа со структурой контрольного образца. Повышенную интенсивность аморфной фазы возможно расценивать как признак усиления процессов зародышеобразования будущих кристаллических фаз. Модификатор в комплексе ПАВ-этtringит интенсифицирует в первые 2-3 часа процесс гидратации, на дериватограмме появляются эндотермические эффекты в высокотемпературной области ($750-1000^{\circ}\text{C}$), свидетельствующие об образовании высокоосновных гидросиликатов. Характерно, что через 24 часа гидратации ИК-спектр цементной пасты, содержащей ПАВ и модифицирующую добавку на основе замещенных фенолов, аналогичен спектру контрольной системы (Ц+В) на тот же период гидратации (рис. 3).

Образование высокоосновных гидросиликатов ускоряется в присутствии кремнистых наполнителей, характеризующихся адсорбционной активностью. Одновременно с этим, в первые несколько суток увеличивается содержание аморфной фазы и кристаллогидратной воды. Ускоряющее действие минеральных добавок, возможно, связано с активизацией адсорбционных процессов ПАВ на поверхности наполнителя и в последующем нивелировании роли ПАВ в реакциях гидратации.

Таким образом, использование модификатора совместно с кремнистыми наполнителями позволяет компенсировать негативное влияние ПАВ.

В главе 4 были выполнены реологические исследования по влиянию концентрации ПАВ и модификатора, температуры рабочего раствора пенообразователя, вида и количества минерального наполнителя, технологических пара-

метров приготовления пеномассы на основные свойства пены. Было определено, что наилучшие показатели кратности и стабильности пены могут быть достигнуты при использовании предельной концентрации ПАВ (0,2 %), соответствующей полному насыщению адсорбционного слоя молекулами, при модифицировании пены комплексной химической добавкой на основе алкилзамещенных фенолов, что позволяет увеличить кратность вспенивания на 40 % и стойкость на 55 %, при обеспечении температуры раствора 18...36 °С, в данном интервале наблюдается максимальная кратность.

Влияние минерального наполнителя на свойства пены неоднозначно. При увеличении содержания наполнителя в пенной системе снижается кратность, минимальный негативный эффект характерен для наполнителей I группы. Стабильность пены повышается при содержании 10...20 % кремнистого наполнителя, 7...12 % карбонатного (рис. 4). Размер наполнителя II группы превышает размер стенки поры, поэтому поверхность соприкосновения ослабляется за счет локальных микродефектов вокруг зерен кварца. Стабилизирующее действие кремнистых наполнителей можно объяснить образованием адсорбционных структурированных слоев воды на поверхности его частиц. Применение комплексного модификатора с концентрацией 0,05...0,1 % позволило ускорить сроки схватывания цемента (рис. 5), тем самым обеспечивая фиксирование структуры пенобетона в том состоянии, в котором она сформировалась в процессе перемешивания и формования. Это положительно сказалось на снижении усадочных деформаций пенобетона (рис. 6).

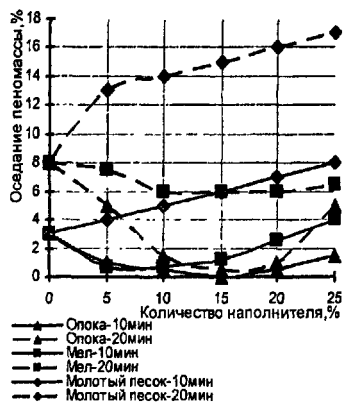


Рис. 4. Влияние добавки минерального наполнителя на стойкость пеномассы во времени

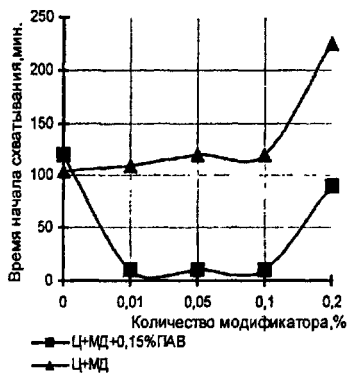


Рис. 5. Влияние количества модификатора на скорость гидратации цемента

Модифицирование пенобетонной смеси алкилзамещенными фенолами позволило получить теплоизоляционный неавтоклавный пенобетон с улучшенными физико-механическими характеристиками (табл. 1). Было изучено изменение свойств пенобетона в зависимости от концентрации ПО, В/Т отношения и количества минерального наполнителя, проведена их оптимизация с по-

мощью метода математического планирования. Оптимальная концентрация ПАВ 0,15%, содержание наполнителя 15%, В/Т отношение 0,6.

Таблица 1

Влияние состава пенобетона на его основные физико-механические свойства

Марка бето- на по плот- ности	Расход компонентов, кг/м ³						Класс по прочности	Марка по моро- зостойкости	Теплопро- водность, Вт/м ² С
	Ц	П	Н	В	ПАВ	МД			
Теплоизоляционные									
D300	196	100	34	190	0,294	0,196	B2	F35	0,077
	230	100	-	185	0,345	0,230			
D400	188	118	29	185	0,282	0,188	B2,5	F35	0,081
	217	118	-	180	0,325	0,217			
D500	180	120	27	173	0,270	0,180	B3,5	F50	0,09
	207	120	-	170	0,310	0,207			
Конструктивно-теплоизоляционные									
D600	173	130	26	170	0,260	0,173	B5	F50	0,10
	199	130	-	165	0,299	0,199			
D700	160	145	24	165	0,24	0,160	B5	F75	0,14
	184	145	-	160	0,276	0,184			
D800	155	155	22	160	0,230	0,155	B7,5	F75	0,18

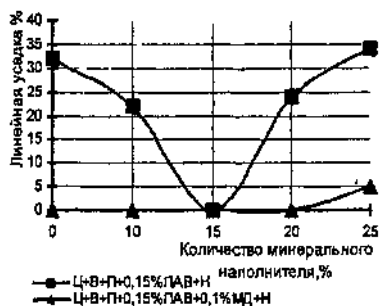


Рис. 6 Зависимость усушечных деформаций от вида сырьевой смеси

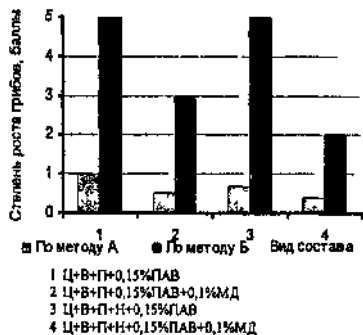


Рис. 7. Зависимость степени обрастания пенобетона мицелиями грибами от вида сырьевой смеси

Исследована биологическая стойкость материала в агрессивной среде. Результаты эксперимента показали, что пенобетон с комплексной добавкой обладает повышенной биостойкостью в сравнении с немодифицированным. Интенсивная обрастаемость мицелиями грибами по методу А всех составов не наблюдалась и составила 0...1 балл, по методу Б - изменялась в соответствии с составом сырьевой смеси (рис. 7). Применение модификатора в системе в количестве 0,1% от массы вяжущего способствует уменьшению обрастаемости как по методу А (на 0,5 балла), так и по методу Б (на 3 балла). Следовательно, мо-

дикатор на основе алкилзамещенных фенолов можно отнести к классу фунгицидных добавок.

Таким образом, можно сделать вывод, что при модифицировании пенобетона алкилзамещенными фенолами и минеральными наполнителями увеличивается коэффициент конструктивного качества.

В главе 5 представлены данные о характере поровой структуры пенобетона, произведена оценка изменения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов в эксплуатационных условиях и предложена методика определения экономической эффективности материалов в ограждающих конструкциях с учетом фактора долговечности.

Общую пористость образуют макропоры, капиллярные поры, контракционные и гелевые поры. Структура макропор характеризуется такими показателями как средний диаметр пор, дисперсность, характер распределения по объему, форма ячеек и т.д. Пористость (табл. 2) определена в соответствии с зависимостью ЮП Горлова(1)

$$P_{\text{общ}} = \kappa \left[\frac{D}{D + \delta} \right]^3, \quad (1)$$

где D - средний диаметр пор, мм;

δ - толщина межпоровой перегородки в ее наиболее тонком сечении, мм;

κ - коэффициент, учитывающий схему упаковки пор в пенобетоне.

Таблица 2

Зависимость пористости пенобетона от плотности

Плотность, кг/м ³	300	400	500	600	700	800
Пористость, %	68-73	63-68	60-65	57-62	53-57	50-56

Модифицирование системы алкилзамещенными фенолами позволило получить более мелкодисперсную структуру пенобетона, с меньшим количеством дефектов. Средний размер пор для модифицированного пенобетона 0,5...2 мм, для ^модифицированного 1,5...4 мм. Определена зависимость толщины межпоровой перегородки пенобетона от среднего диаметра пор и плотности материала (рис. 8).

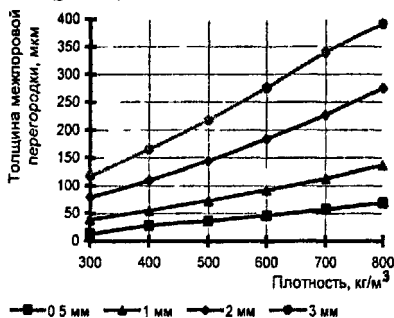


Рис 8 Зависимость толщины межпоровой перегородки от размера пор и плотности пенобетона

Основным показателем качества теплоизоляционных материалов является коэффициент теплопроводности, который представляет собой структурно - чувствительную характеристику материала и зависит от плотности, дефектов структуры, фазового и минералогического состава, влагосодержания и т.д. Рядом исследователей поддерживается концепция доминирующего влияния плотности материала на его проводящие свойства,

Использована эмпирическая зависимость определения теплопроводности многокомпонентного пенобетона, разработанная в ПГУАС (2). Представлена расчетная модель прохождения теплового потока по структуре пенобетона континуального типа, в которой материал представляется в виде сплошной среды, а механизм теплопроводности основан на феноменологическом анализе процессов переноса.

$$\lambda = \frac{\lambda_u \lambda_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}} \cdot (1 - \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}) + \lambda_u \cdot \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}} \cdot V_{\text{возд}}^{2/3} + \lambda_u \cdot (1 - V_{\text{возд}}^{2/3}), \quad (2)$$

где λ_m – теплопроводность матрицы материала;

$\lambda_{\text{возд}}$ – теплопроводность воздуха;

$V_{\text{возд}}$ – относительный объем воздуха.

Расчетные значения коэффициента теплопроводности показали хорошую сходимость с экспериментальными данными для ряда ТИМ различной плотности (рис. 9). Были построены однофакторные математические модели взаимосвязи коэффициента теплопроводности и влажности теплоизоляционного материала (табл. 3).

Для качественной оценки работоспособности ТИМ был введен коэффициент k , который представляет собой величину приращения теплопроводности, его увеличение характеризует количество открытых пор, а соответственно и скорость насыщения образцов и является косвенным показателем работоспособности ТИМ. Коэффициент k для пенобетонов составляет 1,5 и является минимальным в сравнении с коэффициентами исследуемых материалов, поэтому можно сделать вывод,

что пенобетон в эксплуатационных условиях обладает повышенной устойчивостью и является перспективным материалом для использования в ограждающих конструкциях в качестве теплоизоляционного материала.

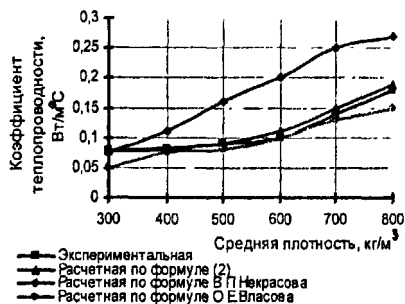


Рис. 9. Зависимость коэффициента теплопроводности от средней плотности пенобетона

Таблица 3

Зависимость коэффициента теплопроводности ТИМ от влагосодержания

Материалы	$\lambda = f(w)$	k
Газосиликат	$\lambda = 0,1144 + 0,0024w$	1,52
Фибролит	$\lambda = 0,07711 + 0,0123w$	5,78
Поризованные блоки на основе ГЦПВ	$\lambda = 0,132 + 0,0034w$	1,77
Пенобетон	$\lambda = 0,077 + 0,00128w$	1,5
Перлитобетон	$\lambda = 0,07689 + 0,00932w$	4,64

Экономическая эффективность теплозащиты зданий существенно зависит от выбора теплоизоляционного материала. Доминирующим фактором при проектировании ограждающих конструкций являлось использование теплоизоля-

ционных материалов с наименьшей теплопроводностью, такой подход не позволял достичь максимальной эффективности проектных решений, так как все теплоизоляционные материалы имеют ограничения по сроку службы.

В данной работе предложен комплексный показатель оценки эффективности pt (3) с учетом теплопроводности, стоимости и долговечности материала. Этот критерий представляет собой отношение дисконтированной в течение всего срока службы прибыли от устройства теплозащитного слоя малой толщины из данного теплоизоляционного материала к капитальным вложениям в этот слой при стандартных условиях сопоставления:

$$p_T = \frac{dH_{год} \cdot \sum_{t=1}^{T_{ср}} (1 + E_p)^{-t}}{dK} = \frac{\alpha \cdot dH_{год}}{dK}, \quad (3)$$

где $dH_{год}$ - годовой теплозащитный эффект издержек слоя материала малой толщины, руб/год;

t - порядковый номер текущего года в пределах срока службы материала;

$T_{ср}$ - нормативный срок службы теплоизоляционного материала, лет;

E_p - реальная норма дисконта, год⁻¹;

α - коэффициент дисконтирования прибыли, лет.

Чем выше p_T , тем больший эффект может быть получен при полном использовании потенциала данного теплоизоляционного материала в конструкции.

Таблица 4

Пример расчета комплексных показателей потенциальной эффективности теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	λ , Вт/м ² С	$c_{гр}$, руб/м ³	$T_{ср}$, лет	α , лет	σ_T	P_T
Минераловатные плиты фирмы «Ursa»	0,037	2420	25	14,09	1,173	2,066
Пенопласт ПСБ	0,037	1820	35	16,37	1,559	3,190
Пенополиуретан (ППУ) «Изолан-ПП»	0,027	2420	35	16,37	1,607	3,288
Карбамидный пенопласт «Пеноизол»	0,035	1800	20	12,46	1,667	2,596
Фибролит	0,071	950	30	15,37	1,557	2,991
Поризованные блоки на основе ГЦПВ	0,132	1100	35	16,37	1,234	2,525
Пенобетон	0,077	1000	40	17,16	1,364	3,421
Перлитобетон	0,077	2200	35	16,37	0,619	1,267
Газосиликат	0,114	1500	40	17,16	0,614	1,317

Примечания: 1.В расчете использовалось значение тарифной стоимости тепловой энергии $c = 500$ руб/Гкал; 2.Срок службы ТИМ принят в соответствии с литературными источниками.

Анализ полученных результатов (табл. 4) показывает, что, несмотря на то, что пенобетон имеет не лучшие теплотехнические свойства, результирующий потенциал этого материала достаточно высок.

Произведена опытно-промышленная апробация результатов работы на заводе «ЖБИК 509 при Спецстрое РФ», выпущено 300м³ пенобетонных изделий с плотностью 400 кг/м³.

Основные выводы работы

1. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены принципы улучшения основных физико-механических свойств пенных и пеноцементных систем. Первый основан на применении комплексной добавки на основе алкилзамещенных фенолов, повышающих в зависимости от концентрации кратность пены до 40% и стойкость до 55%, за счет изменения поверхностного натяжения жидкости. Второй - на введении в пенную систему тонкодисперсного минерального наполнителя в количестве 15% от массы вяжущего, повышающего седиментационную устойчивость пеномассы на 30%.

2. Исследована гидратационная активность цемента в присутствии ПАВ, модифицирующей добавки на основе алкилзамещенных фенолов и кремнистого минерального наполнителя. Выявлены особенности раннего структурообразования пенобетонов, негативное влияние синтетического пенообразователя на основе алкилсульфатов первичных жирных спиртов (ПБ2000) на процесс структурообразования цементного камня, компенсирующее действие модификатора, способного разрушать комплексы ПАВ-эттрингит и ускорять гидратное фазообразование, а также способность минерального наполнителя ускорять процесс образования высокоосновных гидросиликатов.

3. Произведена оптимизация с помощью математического планирования эксперимента состава пенобетонных изделий, модифицированных замещенными фенолами и минеральными добавками. Применение алкилзамещенных фенолов в количестве 0,05...0,1% от массы вяжущего позволяет получать теплоизоляционные пенобетоны плотностью 300-500 кг/м³ и конструктивно-теплоизоляционные 600-800 кг/м³, прочностью 2-7,5 МПа и теплопроводностью 0,077- 0,18 Вт/м²С на различных цементах и способствует снижению усадочных деформаций на 30% и повышению биологической стойкости материалов, в зависимости от состава сырьевой смеси на 3 балла.

4. Выявлено, что модифицирование пенобетона алкилзамещенными фенолами способствует получению мелкодисперсной макроструктуры материала с гексагональной упаковкой пор, средний диаметр пор 0,5...2мм.

5. Осуществлено прогнозирование изменения теплофизических свойств пенобетона в эксплуатационных условиях. Определено, что пенобетон обладает повышенной работоспособностью по сравнению с рядом теплоизоляционных материалов и имеет минимальный коэффициент приращения теплопроводности - 1,5 при влажности 0-30%.

6. Предложена методика определения экономической эффективности теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с учетом фактора долговечности. Результирующий потенциал пенобетона $p_i = 3,421$ достаточно высок, в сравнении с рядом теплоизоляционных материалов.

7. Произведена опытно - промышленная апробация результатов работы, в соответствии с разработанными технологическими рекомендациями выпущена опытная партия стеновых пенобетонных блоков плотностью 400 кг/м³, расчетный экономический эффект при производстве которых составляет 49 руб/м³.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Иващенко Ю. Г. Об оценке долговечности теплоизоляционных материалов в системах утепления ограждающих конструкций / Ю. Г. Иващенко, А. Ю. Букарева // Актуальные вопросы строительства: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. / МГУ им. Н. П. Огарева. - Саранск, 2002.- Вып. 1. - С. 122-126.

2. Иващенко Ю.Г. Повышение качества теплоизоляционного пенобетона с помощью модифицирующих добавок / Ю. Г. Иващенко, Е. А. Шошин, А. Ю. Букарева // Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения: Материалы Всерос. науч. - техн. конф./ МГУ им. Н. П. Огарева. - Саранск, 2003.- С. 77-79.

3. Долговечность теплоизоляционных материалов как фактор их конкурентоспособности и потенциальной эффективности / Ю.Г. Иващенко, Б.А. Семенов, А.Ю. Букарева и др. // Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения: Материалы Всерос. науч.-техн. конф./ МГУ им. Н. П. Огарева. - Саранск, 2003.- С. 209-213.

4. Стабилизация минерализованных пен для получения материалов ячеистой структуры / Ю. Г. Иващенко, Е. А. Шошин, А. Ю. Букарева и др. //Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов: Сб. статей IX Междунар. науч. - техн. конф./ ПТУ АС. - Пенза, 2004.- С. 69-72.

5. Влияние состава сырьевой смеси на основные физико-механические свойства пенобетона / Ю. Г. Иващенко, Е. А. Шошин, А. Ю. Букарева и др. // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: Восьмые академические чтения отделения строительных наук РААСН / СамГАСУ. - Самара, 2004,- С. 187-189.

6. Критерии технико-экономической оценки потенциальной эффективности теплоизоляционных материалов с учетом их долговечности / Ю. Г. Иващенко, Б. А. Семенов, А. Ю. Букарева и др. // Известия вузов. Строительство.- 2004.-№2.-С. 32-38.

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01

Подписано в печать 23.11.04

Формат 60x84 1/16

Бум.тип. Усл. печ.л. 1,0

Уч.-изд.л 1,0

Тираж 100 экз. Заказ 497

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Копипринтер СГТУ, 410054 г.Саратов, ул.Политехническая, 77