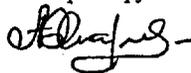


На правах рукописи



ХИТРОВ
Анатолий Владимирович

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА
С УЧЕТОМ ПРИРОДЫ ВВОДИМОЙ ПЕНЫ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2006 г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения на кафедре «Инженерная химия и естествознание».

Научный консультант –
доктор технических наук, профессор
СВАТОВСКАЯ ЛАРИСА БОРИСОВНА

Официальные оппоненты:
Доктор технических наук, профессор
ПОПОВ ВАЛЕРИЙ ПЕТРОВИЧ
Доктор технических наук, профессор
ПУХАРЕНКО ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
Доктор технических наук, профессор
ШАНГИНА НИНА НИКОЛАЕВНА

Ведущая организация – Военный инженерно-технический университет

Защита состоится 29 декабря 2006 г. в 13 ч 30 мин на заседании диссертационного Совета Д 218.008.01 в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения» по адресу: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ПГУПС, аудитория 3-237.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Университета

Автореферат разослан 29 ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук., профессор

 Л. Л. Масленникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы определена необходимостью получения теплозащитных материалов для строительства, отличающихся пониженным коэффициентом теплопроводности и одновременным решением экологических задач, связанных с экономией топлива и природных ресурсов, а также национальным проектом «Комфортное и доступное жилье России». В этой связи пеноматериалы на неорганической матрице оказываются одними из перспективных по своим механо- и теплофизическим характеристикам. С конца 90-х годов XX века интерес к этим материалам, так же как и оценка их технических возможностей, постоянно возрастают. Отличительной особенностью в пеноматериалах обладает именно пена, которая оказывает принципиальное воздействие на технологические переделы получения, а также свойства пеноматериала. На момент постановки работы не существовало последовательной системы взглядов влияния природы пены на технологические особенности получения и свойства ячеистых материалов. В представленной работе предлагается понимание именно этих вопросов.

Цель работы состояла в определении особенностей и разработке технологий получения пенобетонов с учетом природы вводимой пены. Для достижения поставленной цели при проведении исследований решались следующие задачи:

- 1) определение основных критериев управления процессами пенообразования строительной пены с учетом ее природы и возможностей прогнозирования технологий получения, а также свойств пеноматериалов;
- 2) разработка технологии получения пенобетона при разных температурных режимах твердения, включая пониженные, отрицательные и автоклавные;
- 3) исследование свойств полученных при разных режимах твердения пенобетонов и внедрение технологии в промышленность.

На защиту выносятся: – классификация строительной пены с учетом ее природы и особенностей технологий получения пеноматериалов с заданными свойствами; – особенности технологий получения пенобетонов при разных режимах твердения и температурах; – свойства полученных по разным технологиям материалов и внедрение технологий в промышленность производства материалов для строительства в разных регионах России.

Научная новизна

1. Впервые разработаны основные положения прогнозирования свойств и технологий получения пенобетона с учетом природы строительной пены. Впервые произведена классификация строительной пены, показано, что по природе ПАВ, признаку молекулярных масс, длине углеводородной цепи пенообразующего вещества, а также значению рН пенообразования возможно управлять режимами твердения пеноматериалов на вяжущей основе. Результатом такого рассмотрения было выявление технологических особенностей получения и разработка автоклавной резательной технологии, а также твердение в условиях пониженных и отрицательных температур и нормального твердения. Впервые предложена методика определения рациональной концентрации пенообразующего раствора, при которой достигается максимальная устойчивость пены.

2. Показано, что для автоклавной резательной технологии получения пенобетона целесообразно использование пены с пониженной молекулярной массой и соответственно пониженной структурной вязкостью пены. Впервые разработаны технологические основы получения автоклавного пенобетона по резательной технологии; созданы отечественные резательный и делительный комплексы для этой технологии, исследованы особенности достижения резательной прочности композиционной пенобетонной смеси. Разработана технология получения золопенобетона с использованием золы от сжигания осадков сточных вод. С помощью метода адсорбции ин-

дикаторов (метода РЦА) обнаружено, что автоклавный пенобетон обладает адсорбционной способностью по ионам тяжелых металлов, что делает его экозащитным.

3. Впервые определена возможность укладки монолитных пенобетонов при пониженных и отрицательных температурах в зависимости от природы пены, причем более высокая молекулярная масса и число атомов углерода в цепи в общем обеспечивает устойчивость при нагревании до более высоких температур; что делает возможным использование традиционных методов зимнего бетонирования, включая метод «термоса» с предварительным подогревом пенобетонной смеси и электропрогрев греющими проводами. Впервые исследована возможность применения бесконтактного электропрогрева монолитного пенобетона для ускорения твердения при отрицательных температурах, определены предельные температуры, при которых сохраняется устойчивость пены в зависимости от молекулярной массы и числа атомов углерода в углеводородном радикале. Показано, что метод «термоса» и электропрогрев допускают наиболее высокий подогрев укладываемой пенобетонной смеси при использовании клееканифольных и синтетических пенообразователей, имеющих высокие молекулярные массы и повышенные значения n . Установлена совместимость известных противоморозных добавок и пенообразователей, причем, объяснение дано с точки зрения природы пенообразователей и противоморозных добавок.

4. Для нормальных и тепловлажностных условий твердения создана новая пенообразующая добавка на комплексной основе «Комплекс-1», базирующаяся на классификационных признаках и содержащая соли высших жирных кислот, обладающая способностью повышать гидратационную активность цемента, за счет дополнительного связывания ионов кальция в труднорастворимые соли жирных кислот. Показано, что пенообразующие добавки типа «Комплекс-1» позволяют получать пено- и по-

робетоны средней плотности 400...1600 кг/м³. Обнаружена взаимосвязь механо- и теплофизических свойств бетона средней плотности 1600 кг/м³ и параметров приготовления бетонной смеси.

Практическая ценность работы

1. С учетом представлений об особенностях природы строительных пен и составляющих композиционной смеси разработаны технологии получения пенобетонов – резательная автоклавная, ускоренного твердения при пониженных, отрицательных, а также нормальных температурах и определены основные свойства получаемых пеноматериалов.

2. Разработана резательная технология получения автоклавного пенобетона на основе протеиновых пенообразователей средней плотностью 400...600 кг/м³, найдены основные параметры резательной технологии получения автоклавного пенобетона, выявлены зависимости параметров от температуры, времени выдержки массива, соотношения компонентов, исходного количества воды затворения. Полученный автоклавный пенобетон при средней плотности 400–500–600 кг/м³ характеризуется физико-техническими свойствами, соответствующими требованиям ГОСТ 25485, а также меньшей теплопроводностью и сорбционной влажностью. По разработанной технологии произведен опытно-промышленный и промышленный выпуск автоклавного пенобетона на линиях различной мощности в разных регионах России: Опытной базе ПГУПС в г. Санкт-Петербурге (2002 г.), Корневском заводе в Московской области (2003 г.), Заводе по производству автоклавного пенобетона в г. Орле, (2006 г.), предложено использование в качестве части сырьевого компонента (песка) золы от сжигания осадка сточных вод; выпущены опытные партии автоклавного пенобетона на Опытной базе ПГУПС.

3. Предложена рекомендация ведения работ с монолитным пенобетоном, укладываемым методом «термоса» при наружных температурах до минус 10 °С, которая учитывает время остывания, конструкцию утепления и плотность пенобетона. Показано, что использование противоморозных добавок

позволяет вести укладку пенобетона при температуре наружного воздуха до минус 20 °С, при этом в начальной стадии набора прочности в присутствии добавок обнаружено ускорение твердения. Уточнена методика расчета параметров электропрогрева греющими проводами для укладки монолитного пенобетона с учетом природы вводимых пен при отрицательных температурах до – 20 °С. Предлагаемые технологии ускорения твердения монолитного пенобетона в условиях пониженных температур опробованы в строительстве при: теплоизоляции кровли (СПб., ул. Седова, д. 19, 2002 г.), теплоизоляции основания пола по грунту (СПб., Коломяги, к.16, 2003 г.), устройстве выравнивающих стяжек по ж/б перекрытиям (СПб., ул. М. Самсоньевская, д. 15, 2002 г.).

4. Разработана пенообразующая добавка «Комплекс-1», позволяющая получать пенобетон естественного твердения с большим диапазоном средних плотностей, что соответственно предопределяет его использование. Разработана технология использования пенообразователя «Комплекс-1» при монолитном бетонировании; показано, что бетоны на пенообразователе «Комплекс-1» обладают физико-техническими характеристиками, соответствующими требованиям ГОСТов 21520-89, 25484-89. Опытная промышленная партия пенобетона на пенообразователе «Комплекс-1» опробована, при строительстве коттеджного комплекса в 2001 году (СПб., ул. Эстонская, д. 1).

5. Новизна разработок подтверждена 14 патентами и 11 ТУ России, материалы диссертации используются при создании пенобетонных производств в различных регионах России, а также в учебном практикуме по строительным специальностям.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается результатами экспериментальных исследований, выполненных с применением современных методов физико-химического, рентгенофазового, дифференциально-термического, calorиметрического анализов,

хорошей сходимостью при проведении статистической обработки экспериментальных данных, а также практическими результатами, полученными в лабораторных и промышленных условиях, и промышленном внедрении полученных результатов.

Апробация работы Основные положения диссертационной работы докладывались на Международном конгрессе по новым технологиям бетона (Шотландия, г. Данди 1999, 2002 гг.); на 15-й и 16-й Международных конференциях «Ibausal» (Веймар, (2003, 2006 гг.), на Международной конференции «Construction Demolition waste» (Кингстон, 2004 г.); на 1-й Международной конференции «Пенобетоны III тысячелетия. Тепло России» (СПб., ПГУПС, 1999 г.); на Международной конференции «Высшее профессиональное заочное образование на железнодорожном транспорте: настоящее и будущее» (Москва, 2001 г.); на II Международной научно-практической конференции Композит-2001 и «Защитные композиционные материалы и технологии третьего тысячелетия» (СПб., 2001 г.); на II Международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в III тысячелетии» (Ростов-на-Дону, 2002 г.); на II и III научно-технических конференциях СПбГТИ (ТУ), посвященных памяти М. М. Сычева (1999, 2000 гг.), на научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии и технические средства на Октябрьской железной дороге» (СПб., 1999 г.), на Международной научно-практической конференции «Строительные материалы 21-го века» (Алма-Ата, 2001 г.); на V и VI Всероссийских конференциях по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» (СПбГТУ, 2002, 2003 гг.); на III Всероссийской научно-практической конференции «Экология, ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства» (Пенза, 2003 г.); на 59 и 60 научно-технических конференциях ПГУПС с участием студентов, аспирантов и молодых ученых (1998, 1999 гг.).

Публикации По материалам диссертации опубликовано 52 научных труда, в том числе 2 книги в издательствах Стройиздат и ПГУПС; 6 публикаций в трудах международных конгрессов Шотландии и Германии; 8 статей в отраслевых и научных журналах по списку ВАК России; получено 14 патентов и разработано 11 технических условий.

Структура и объем диссертации Диссертация изложена на 330 страницах, состоит из введения, 6 глав, общих выводов, включает 9 таблиц и 49 рисунков, содержит библиографический список литературы из 386 наименований, 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ работ, учитывающих достижения отечественных (московская, петербургская, белгородская, самарская, магнитогорская, воронежская, пензенская, ростовская и др.) и зарубежных (украинская, немецкая, казахская) научных школ, позволяет сделать один из выводов о том, что основную особенность пенобетонов как ячеистых материалов составляет именно пена, поэтому должна быть взаимосвязь между природой строительной пены и технологическими особенностями получения материалов на ее основе. При такой постановке первым возникает вопрос о классификационных признаках пены. В качестве основы классификации автором были выбраны природа пенообразующих ПАВ, величина молекулярной массы M , г/моль, число атомов углерода в цепи n , а также поверхностное натяжение и концентрация ионов водорода растворов в единицах pH. Все известные пенообразующие добавки, представленные ионными растворами ПАВ, условно были разделены на пять групп (табл. 1).

Анализируя табл. можно отметить, что молекулярная масса является важнейшей характеристикой, определяющей многие свойства пенообразователей (ПО), а именно: поверхностную активность и пенообразующую способность. Как следует из табл. 1, тенденцией к большим молекуляр-

ным массам обладают синтетические ПО, представляющие I и II группы, меньшим – на основе гидролизатов белка, относящиеся к V группе.

Для выбора одинаковых условий исследования, при которых достигается максимальная стойкость пены в смеси, предложена методика определения рациональной концентрации, учитывающая нижнюю границу пенообразования. Определение рациональной концентрации исследуемых пенообразователей проводилось на основе полученных экспериментальных данных и с использованием известных зависимостей: уравнений Гиббса: $\Gamma = -(C/RT) \cdot (d\sigma/dC)$ и Ленгмюра: $\Gamma = \Gamma_{\text{пр}} \cdot K/(1+K \cdot C)$, устанавливающих взаимосвязь между поверхностным натяжением σ , предельной удельной адсорбцией $\Gamma_{\text{пр}}$ и концентрацией C пенообразующих растворов. По предложенной методике были определены рациональные концентрации наиболее применяемых в производстве пенобетона пенообразователей с целью изучения их технологических свойств: плотности пены, интервала pH пенообразования и коэффициента использования пены в растворе (табл. 2). Анализ полученных данных показал, что факторы, обуславливающие поведение строительной пены на различных стадиях технологического процесса, можно разделить по трем основным признакам: *механическому*, определяющему устойчивость пены в пенобетонной смеси и способность смешиваться с растворной частью; *химическому*, характеризующемуся возможным взаимодействием пены с цементом и совместимостью ее с различными добавками; *температурному*, связанному с поведением пены в зависимости от изменения температуры.

Эти положения были использованы в прогнозировании и разработке технологий производства пенобетонов; при этом исходным положением была взаимосвязь влияния природы ПАВ и молекулярных масс на режим получения пенomатериала.

Таблица 1

Классификация строительной пены

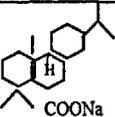
Группа по классификации	Название группы	Основной химический компонент	Химическая формула	Число атомов углерода в углеводородном радикале <i>n</i>	Молекулярная масса <i>M</i> , г/моль	pH раствора	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Дж/м ²	Относительная пенообразующая способность
I	Алкилсульфаты	Первичный алкилсульфат натрия	$C_nH_{2n+1}OSO_3Na$	10–18	387–499	7	26–32	2,3
		Вторичный алкилсульфат натрия	$C_nH_{2n+1}CH(CH_3)OSO_3Na$	6–16	232–373			2,1
II	Сульфонаты	Алкилбензосульфат натрия	$C_nH_{2n} - \text{C}_6\text{H}_4 - SO_3Na$	10–14	320–376	7	28–35	2,1
		Алкилбензосульфат триэтаноламина	$C_nH_{2n+1} - \text{C}_6\text{H}_4 - SO_3 - NH(C_2H_4OH)_3$	10–14	447–503			1,7
III	Производные карбоновых кислот	Стеарат калия	$C_{18}H_{35}COOK$	17	323	9	42–51	1,4
		Стеарат натрия	$C_{18}H_{35}COONa$	17	306			1,2
		Пальмитат натрия	$C_{16}H_{31}COONa$	15	278			1,1
IV	Производные смоляных кислот	Абистат натрия		19	300–304	9	42–45	1,2
V	Гидролизаты белков	Кератиновый гидролизат Гидролизат крови	$HSCH_2CH(NH_2)COOH$	2	121	8	52–54	1,0

Таблица 2

Основные свойства исследуемых пенообразователей

Группа по классификации	Название группы	Наименование	Предельная концентрация $C_{пр. макс.}$ %	Рациональная концентрация $C_p макс. %$	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$ Дж/м ²	Интервал pH пенообразования	Плотность пены $d, г/л$	Коэффициент использования пены K
I	Алкилсульфаты	ПО № 1	2,6	3,0	26,0	2-9	35,0	0,95
		Прогресс	1,7	2,0	28,0		35,0	0,95
		ПО-6К	2,2	2,5	32,0		45,0	0,95
II	Сульфонаты	Сульфатол-40	2,2	2,5	30,5	2-10	40,0	0,9
		Пеностром	2,6	3,0	35,0		50,0	0,95
		ОС	2,2	2,5	37,0		50,0	1,0
III	Производные карбоновых кислот	Квин	6,5	7,0	49,0	6-12	100,0	0,55
IV	Производные смоляных кислот	СДО	9,0	10,0	43,0	6-12	80,0	0,8
		Клсекани- фольный ПО	5,5	6,0	45,0		65,0	0,9
V	Гидролизаты белков	Неопор	2,4	2,5	54,0	6-10	75,0	0,9
		Унипор	2,8	3,0	54,0		75,0	0,9
		SB-31	2,9	3,0	53,0		80,0	0,9
		ГК	2,5	3,0	53,0		80,0	0,9

I. Получение автоклавного пенобетона по резательной технологии

Выбор пенообразователя при разработке автоклавной резательной технологии проводился в соответствии с рассмотренной взаимосвязью влияния технологических признаков на температурные режимы получения пенобетона с учетом предложенной классификации строительной пены (табл. 1). Автоклавная технология отличается от технологии твердения при атмосферном давлении тем, что предполагает тонкое измельчение сырьевых компонентов, обеспечивающее большую суммарную поверхность зерен.

Было сделано предположение, что пены, имеющие более высокую молекулярную массу и соответственно структурную вязкость, труднее смешиваются с растворной частью, содержащей тонкомолотые компоненты, в связи с тем, что процесс образования пенобетонной структуры идет через стадию разрушения старых связей, при этом затрачивается энергия, называемая структурной энергией активации ΔG , которая, по Г.И. Чердниченко, связана с вязкостью системы η , уравнением:

$$\eta = \eta_0 \exp(\Delta G / RT). \quad (1)$$

где ΔG – структурная энергия активации; η_0 – вязкость при высокой температуре; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Поскольку более высокая молекулярная масса повышает вязкость системы, то в случае повышения удельной поверхности песка, необходимого для автоклавных процессов, повышается энергия активации ΔG , вследствие чего не достигается образования новой однородной системы, т.е. группы пенообразователей I и II могут оказаться непригодными для автоклавной технологии получения пенобетона.

Для выяснения такого рода особенностей автором оценивалось влияние дисперсности твердой фазы и природы пены на эффективность перемешивания. Оценка проводилась по параметру пластической прочности пенобетонных массивов. С этой целью готовились две серии пенобетонных растворов на обычном песке с размером зерен 1–3 мм ($S_{уд.} \approx 1 \text{ м}^2/\text{кг}$) и том же

песке, молотом до удельной поверхности 300 м²/кг. Приготовленные массивы выдерживались в течение 12 часов в камере при температуре 40 °С, после чего измерялась их пластическая прочность. Массивы на немолотом песке характеризовались равномерным созреванием для всех групп ПО и имели после выдержки пластическую прочность в пределах 0,10–0,12 МПа (табл. 3). Однако при использовании молотого песка наибольшая прочность наблюдалась у массивов с использованием гидролизата белков (V гр.), прочность падала до нуля при использовании пенообразователей I и II группы (возрастание молекулярной массы).

Таким образом, опыты подтвердили, что пены с большими молекулярными массами нецелесообразно использовать для автоклавной резательной технологии из-за плохой смешиваемости с тонкомолотыми компонентами и ограничениями по срокам созревания.

Таблица 3

Пластическая прочность пенобетона плотностью D500

Классификационная группа	Наименование ПАВ	Молярная масса ПАВ г/моль	Водо-твердое отношение	Подвижность растворимой смеси по Суттарду, см	Пластическая прочность, МПа через 12 часов	
					на немолотом песке	на молотом песке
I	Алкилсульфаты	387-415	0,62	28	0,10	-
II	Сульфонаты	320-503	0,62	28	0,10	-
III	Производные карбоновых кислот	278-306	0,62	28	0,11	0,01
IV	Производные смоляных кислот	300-304	0,62	28	0,11	0,01
V	Гидролизаты белков	121-150	0,62	28	0,12	0,12

Эти же выводы были сделаны при исследовании прочности пенобетона при сжатии после автоклавной обработки (рис. 1).

Было установлено, что наибольшая прочность – 3,5 МПа – у образцов на основе гидролизата белка (V гр.), несколько меньшая – 2,5 МПа –

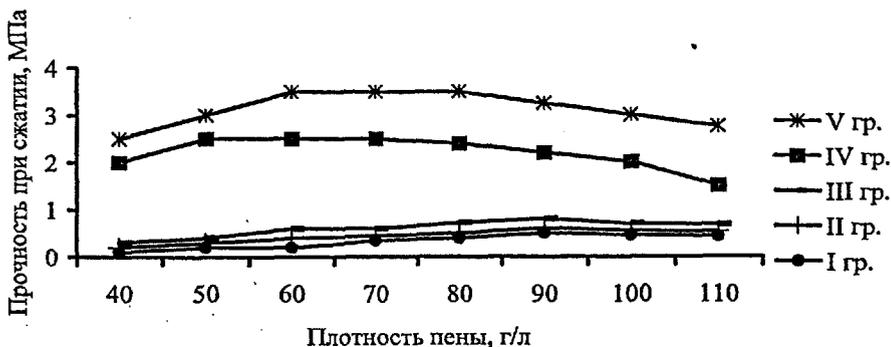


рис.1

Влияние природы пенообразователя и плотности пены на прочность пенобетона плотностью D500

— у образцов на клееканифольном пенообразователе (IV гр.) и падала у образцов на пенообразователях с высокими молекулярными массами, не достигая требуемых значений по прочности, предъявляемых ГОСТ 21520-89.

Лучшими в этой связи являются пенообразователи на основе гидролизатов белка, как характеризующиеся высокими пластическими и прочностными свойствами. Клееканифольный пенообразователь (IV гр.) занимает промежуточное положение, т.к. имеет хорошие показатели прочности при сжатии, но недостаточную пластическую прочность пенобетонных массивов, что позволяет рекомендовать его в производстве автоклавного пенобетона без применения резательной технологии.

Полученные выводы в дальнейшем использовались при разработке и освоении производства автоклавного пенобетона по резательной технологии. Разработка технологии проводилась также с учетом основных положений и указаний инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80. При этом решались следующие задачи: разработать отечественную линию производства автоклавного пенобетона; разработать и

внедрить новое оборудование, обеспечивающее выпуск изделий, соответствующих современным требованиям; получить изделия на рядовом и вторичном сырье с учетом особенностей сырьевой базы различных регионов России; обеспечить выпуск изделий с высокой точностью геометрических размеров и в соответствии с действующими стандартами.

Для реализации поставленной задачи были приняты следующие технологические условия: использование извести активностью ниже 70 %; замена молотого песка вторичными продуктами – золой от сжигания осадков сточных вод; поризация смеси путем добавления пены с низкой молекулярной массой (т.е. V гр. по классификации табл. 1); формование ячеистой массы в вертикально расположенные формы; разрезание массивов короткими струнами на одном технологическом поддоне с размерами массива, мм: длина – 4500, ширина – 600, высота – 1200.

Получаемый пенобетон изотропен и в отличие от газобетона ориентация струн при разрезке не имеет значения. Однако важными технологическими задачами являются формирование и стабилизация ячеистой структуры пенобетона, обеспечивающие его равномерное созревание при достижении им пластической прочности перед резкой. Установлено, что при высокой пластической прочности обеспечивается хорошая гладкая поверхность изделий, однако при этом часто рвутся струны. При низкой пластической прочности достигается хорошее прорезание, но при этом не избежать слипания изделий и разрушения массива. Исследования показали взаимосвязь температуры и равномерности созревания, заключающуюся в одинаковых значениях по прочности внутри и снаружи массива. Установлено, что для обеспечения равномерности созревания разница температур пенобетонной смеси и в камере выдержки в момент формования не должна превышать 10–15 °С. Рекомендуемая температура формируемой смеси для пенообразователя на основе гидролизата белков составляет 30 °С, т.е температура в камере не должна быть выше 45 °С. Определено, что пластиче-

ская прочность для используемого режима резания составляет 0,03-0,035 МПа, время выдержки массива составляет 6–7 часов. Скорость набора пластической прочности уменьшается при понижении температуры и плотности пенобетонных растворов. Графические зависимости времени достижения пластической прочности от температуры окружающей среды для пенобетонов разной плотности представлены на рис. 2.

В соответствии с поставленной задачей было разработано и внедрено в производство резательное оборудование. Схема резательного комплекса исключает образование трещин при резке и обеспечивает точные размеры изделий в пределах ± 1 мм. Высокая геометрия размеров достигается путем резки изделий вдоль и поперек оси формы струнами, длина которых превышает ширину массива на 100 мм с каждой стороны, разрезка осуществляется гладкими струнами диаметром 0,7-0,9 мм. На разработанное и внедренное оборудование имеется патент № 2229379 «Резательная машина для ячеистого массива».

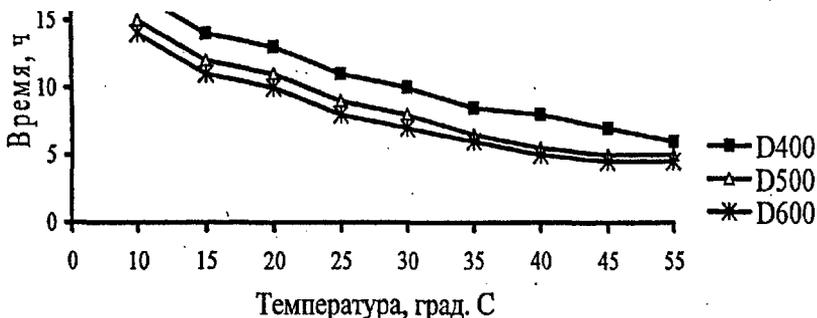


рис.2

Зависимость времени набора пластической прочности (0,35 МПа) от температуры для пенобетонов D400...D600

Установлено, что технология автоклавного пенобетона менее требовательна к качеству сырьевых материалов и позволяет получать изделия на извести активностью от 50 до 90%. С целью определения состава пенобетона проведены подборы с учетом качества сырья и особенностей формо-

вания и созревания массива. Состав пенобетона определялся исходя из требований к текучести цементно-известково-песчаного раствора, обеспечивающей оптимальное водо-вяжущее отношение и максимальную прочность материала. Текучесть для разных плотностей определялась по диаметру расплыва смеси на вискозиметре Суттарда. На отработанные компонентные составы для автоклавного пенобетона средней плотности 400, 500 и 600 кг/м³ (табл. 4) разработаны технические условия ТУ 5741-005-53228766-2001 «Блоки стеновые из ячеистого бетона (пенобетона)».

Таблица 4

Расход материалов для пенобетона D400...D600

Средняя плотность, кг/м ³	Расход материалов на 1м ³ , кг							В/Вяж.	Подвижность растворной смеси по Суттарду, см
	Цемент	Известь	Песок	Вода в р-ре	Вода в пене	ПД	Объем пены, л		
400	140	65	165	121	66	2,0	850	0,91	28
500	150	70	260	135	60	1,8	790	0,89	27
600	155	75	345	148	54	1,6	720	0,88	26

Автоклавная обработка осуществлялась при температуре равной 174 ± 5 °С и давлении 0,8 МПа по уточненным режимам (табл. 5).

Прочность пенобетона определяли после окончания автоклавирования, а также в возрасте 28 и 56 суток. Для пенобетона, достигшего проектной прочности, определяли следующие физико-механические характеристики: прочность при сжатии, прочность при изгибе, теплопроводность, паропроницаемость, сорбционную влажность, отпускную влажность, морозостойкость. Полученные данные представлены в табл. 6.

Пенобетон средней плотности 400, 500 и 600 кг/м³ имеет хорошую однородную структуру, характеризующуюся равномерным распределением пор, прочность при сжатии и морозостойкость, в соответствии с ГОСТ 25485, но при этом пенобетон имеет повышенный показатель отношения $R_{152}/R_{сж}$. Оказалось, что пенобетон рассмотренных составов при использовании протеиновой добавки имеет пониженное значение коэффициента тепло-

проводности и пониженную сорбционную влажность по сравнению с ГОСТ 12852.6-77.

Таблица 5

Режимы автоклавной обработки для пенобетонов D400...D600

Наименование изделий	Средняя плотность, кг/м ³	Продолжительность, ч					Весь цикл
		Прогрев и продувка паром	Подъем давления до 0,8 МПа	Выдержка при 0,8 МПа	Спуск давления	Вакуумирование	
Теплоизоляционные плиты	400	1,0	1,5	7,0	1,5	1,0	12,0
Мелкие стеновые блоки	500	1,0	1,5	8,0	2,0	1,5	14,0
Мелкие стеновые блоки	600	1,0	1,5	8,5	2,0	1,5	14,5

Таблица 6

Основные физико-механические характеристики пенобетона D400...D600

Средняя плотность, кг/м ³	Класс по прочности на сжатие по ГОСТ 25485-89	Прочность при изгибе не менее, МПа	Среднее значение $R_{изг}/R_{сж}$	Козфф. теплопроводности, Вт/(м·°С)	Сорбционная влажность, % – при относительной влажности 97%	Морозостойкость по ГОСТ 25485, циклы
400	B1-B1,5	0,7	0,45	0,09	7,5	–
500	B1-B2,5	0,7	0,40	0,11	8,4	15-35
600	B1,5-3,5	0,9	0,37	0,12	9,0	15-75

Анализируемые физико-механические характеристики пенобетона теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного явились основанием для разработки технических условий № 5741-001-01115840-2002, согласованных в ГОССТРОЙ России, а также создания технологического регламента для производства по изготовлению блоков автоклавного твердения по резательной технологии. Составы, разработанные для автоклавной технологии защищены патентами: № 2004110065/03 и № 99103609/03. Технологическая схема производства автоклавного пенобетона по резательной технологии приведена на рис. 3 и включает следующие основные этапы: помол песка, приготовление известково-песчаной смеси;

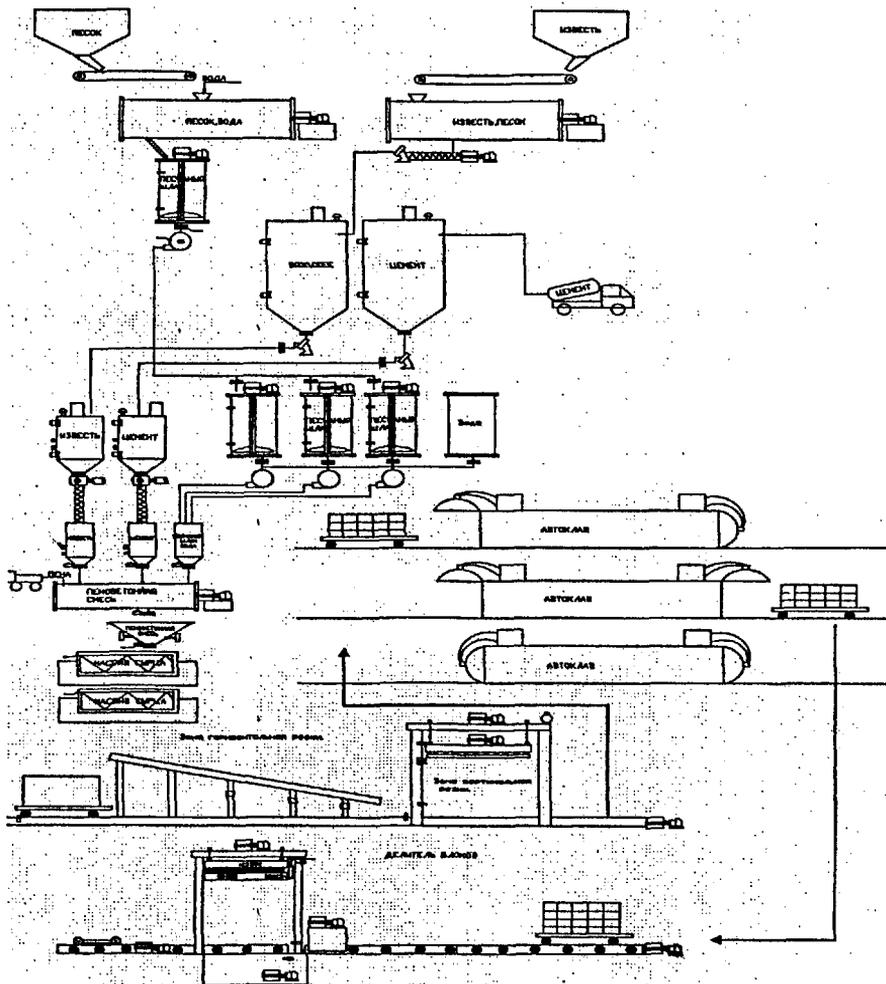


Рис.3

Принципиальная схема линии по производству изделий из автоклавного пенобетона по резательной технологии

приготовление пенобетонной смеси; заливку поризованной смеси в формы; выдержку в тепловлажных условиях; разрезание массива

сырца на блоки заданных размеров; автоклавирование; деление слипшегося массива на блоки; складирование, упаковку изделий, контроль качества.

Стабильность показателей автоклавного пенобетона по плотности и прочности на сжатие оценивалась по коэффициентам вариации в соответствии с требованиями СН 277, ГОСТов 27005, 18105. Стабильность технологических параметров оценивалась в соответствии с нормируемыми физико-техническими показателями производимой продукции (табл. 7).

В г. Орел в 2006 г. запущен завод проектной мощностью 100 тыс. м³ в год автоклавного пенобетона по резательной технологии, свойства материала соответствуют ГОСТам 21520-89, 25485-89.

Следует отметить, что разработанная впервые в отечественной практике промышленная линия производства автоклавного пенобетона по резательной технологии имеет ряд преимуществ: выпускаемые изделия имеют высокую точность геометрических размеров; менее требовательна к качеству сырья и позволяет получать изделия при использовании извести от 50 до 90 %; принципиальной особенностью технологии является способ поризации путем введения технической пены, значительно упрощающий производственный процесс; инвестиционная стоимость линии на порядок ниже по сравнению с зарубежными линиями автоклавного газобетона. Разработанная линия защищена патентом РФ № 2255859.

При решении природоохранных и экологических задач, была проведена замена молотого песка тонкодисперсными вторичными продуктами – золой от сжигания осадков сточных вод. При проведении экспериментов осуществлялась замена 100%, 50% и 25% песка на золу. В результате проведенной работы была установлена возможность замены в пенобетоне до 50% песка на золу, что в дальнейшем позволило впервые получить гигиенический сертификат на данный вид изделия, с возможностью его применения как строительного материала 2 класса (дорожное строительство в

пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки, строительство производственных сооружений) и 1 класса (все виды строительства).

Таблица 7

Сравнение нормированных и фактических показателей контролируемых технологических характеристик и процессов для пенобетона

D500

Наименование материалов и технологических процессов	Наименование контролируемых параметров m и свойств материалов	Макс. значения коэфф. вариации, %	Допустимые отклонения средних значений X от заданного C_x %	Характеристики сырья и параметры производства		Отклонения средних значений X_{np} от заданного, %
				По СН-277	По факту	
Цемент	Удельная поверхность	10	5	350, м ² /кг	5	
	Активность по прочности	5	10	500, МПа	10	
Известь немолотая	Содержание СаО	5	5	65, %	5	
	Сроки гашения	15	15	4, мин	10	
	Температура гашения	10	10	85, °С	8	
Помол песка	Плотность шлама	3	3	1,6, кг/л	2	
	Удельная поверхность	5	5	290, м ² /кг	3	
Усреднение шлама в бассейнах	Однородность шлама по высоте шламбассейна	1	1	100, %	0	
Приготовление известково-песч. смеси	Содержание активного СаО	3	5	33, %	5	
Приготовление пенобетонной смеси	Температура шлама	5	5	20, °С	5	
	Температура воды	2	2	20, °С	2	
Формование изделий	Подвижность смеси по Суттарду			27, см	1	
	Температура ячеисто-бетонной смеси, при заливке в формы	5	5	30, °С	3	
Ячеистый бетон	Пластическая прочность ячеистого бетона-сырца перед разрезкой	2	5	0,035, МПа	5	
	Средняя плотность	5	3	500, кг/м ³	3	
	Прочность при сжатии	15	10	3,5, МПа	10	

Опыты по введению золы от сжигания осадка сточных вод производились в цехе производства автоклавного пенобетона на Опытной базе ПГУПС по адресу: СПб., ул. Предпортовая, д. 7.

На основании полученных данных были разработаны технические условия на производство бетона ячеистого (автоклавного) на основе золы от сжигания осадка сточных вод, на технологический регламент производства золопенобетона получен патент № 2004108763/03. Автоклавный золобетон.

Регламент распространяется на производство золопенобетона средней плотности 500, 600 и 800 кг/м³, предназначенного в качестве стенового материала при строительстве зданий и сооружений. Твердение осуществляется в гидротермальных условиях при $t = 174 \pm 5$ °С, $p = 0,8-1,0$ МПа.

Физико-механические свойства полученного золопенобетона соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89.

II. Ускорение твердения пенобетонной смеси при пониженных и отрицательных температурах

Выбор пенообразователей при твердении пенобетона в условиях пониженных и отрицательных температур производился в соответствии с предложенной автором классификацией и на основании температурного и химического технологических признаков, исходя из чего было сделано предположение о том, что при ведении пенобетонных работ при пониженных и отрицательных температурах устойчивость пены к температурному воздействию может быть связана с молекулярной массой пенообразователя и величиной n , которая по классификации определяет число атомов углерода в гидрофобной части молекул. При этом наибольшая устойчивость должна быть у ПАВ с большими молекулярными массами и максимальным числом n .

Этот вывод следует из формулы (1), а также известной зависимости времени жизни пены от температуры:

$$\tau_R = \tau_{0R} \exp(-E/RT), \quad (2)$$

где E – эффективная энергия активации разрушения пены; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; τ_R – скорость разрушения пены.

Также было сделано предположение, что устойчивость пены может быть связана с природой ПАВ и интервалом pH пенообразования, определяющим ее совместимость с солями противоморозных добавок. Общая рекомендация в этом случае связана с уровнем pH раствора вводимой добавки – он должен быть как можно ближе к уровню pH пенообразователя и не содержать агрессивных для пены ионов. В последующем в этой части работы разрабатывались три способа ускоренного твердения монолитного пенобетона при пониженных и отрицательных температурах с использованием известных пенообразователей: – метод «термоса» с предварительным подогревом пенобетонной смеси, электропрогрев греющими проводами и с применением противоморозных добавок.

Известно, что метод «термоса» наиболее эффективен при устройстве массивных бетонных конструкций с модулем поверхности $M_n < 8$.

Известно также, что расчеты параметров термосного выдерживания бетона сводятся к тому, чтобы как можно дольше сохранить тепло уложенного бетона и экзотермическое тепло, выделяемое цементом. Продолжительность остывания бетона, уложенного в опалубку, определяется по формуле Скрамтаева:

$$\tau = \frac{C_b \gamma_b (t_{б.н} - t_{б.к}) + ЦЭ}{KM_n (t_{б.ср} - t_{н.в})}, \quad (3)$$

где: τ – продолжительность остывания бетона, ч; C_b – удельная теплоемкость бетона, кДж/кг °С; γ_b – плотность бетона, кг/м³; $t_{б.н}$ – начальная температура бетона в конструкции, °С; $t_{б.к}$ – температура бетона к концу остывания, рекомендуется принимать не ниже 5 °С; $t_{б.ср}$ – средняя температура

остывания конструкции, °С; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, °С; Ц – расход цемента, кг/м³; Э – удельное тепловыделение цемента за время твердения бетона, Дж/кг; M_n – модуль поверхности конструкции, м¹; К – коэффициент теплопередачи через опалубку и теплоизоляцию, Вт/м²·К.

На основе анализа был сделан вывод, что используемая методика расчета объемов тепла, содержащегося в бетоне, справедлива и для пенобетонов различной плотности, приготовленных на цементном вяжущем, так как произведение $C_b \gamma_b$ учитывает влияние различной плотности пенобетона, а величина ЦЭ – повышенный расход цемента в пенобетоне. Параметр определения теплопотерь при остывании $KM_n(t_{б.ср} - t_{н.в})$ также приемлем и для конструкций из монолитного пенобетона.

Для расчета параметров укладки методом термоса, необходимо учитывать кинетику изменения прочности укладываемого пенобетона. Предварительное знание графиков набора прочности пенобетонов различной плотности необходимо для того, чтобы: прогнозировать время достижения $R_{тр}$ и определять величину Э в формуле 3; оценить прогнозируемую прочность в зависимости от времени остывания и её соответствие распалубочной прочности согласно СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции». В работе была изучена кинетика изменения прочности пенобетонов различной плотности в естественных условиях, результаты исследований отражены на рис 4.

Для приготовления пенобетонов во всех случаях применялся пикалевский цемент М400, намывной песок и клееканифольный пенообразователь, по классификации принадлежащий к IV группе ПАВ, как имеющий максимальное число n .

В работе был произведен аналитический расчет времени остывания пенобетонов различной плотности, укладываемых методом «термоса» в равных условиях, при следующих параметрах:

$$M_n = 6; K = 2; t_{б.н} = +25 \text{ °C}; t_{б.к} = +5 \text{ °C}; t_{б.ср} = +10 \text{ °C}; t_{б.в} = -5 \text{ °C}.$$



Рис. 4.

Кинетика набора прочности пенобетона в естественных условиях

Для пенобетона средней плотности: 1 – 400 кг/м³; 2 – 600 кг/м³; 3 – 800 кг/м³; 4 – 1000 кг/м³; 5 – 1200 кг/м³; 6 – 1400 кг/м³; 7 – 1600 кг/м³.

Для определения тепловыделения Э портландцемента М400 время твердения было принято 7 сут, исходя из того что, согласно графикам твердения (рис. 4), к этому времени пенобетоны любой марки набирают прочность, равную 50% от R_{28} , что позволяет снимать термозащиту с уложенного пенобетона. Расчетные величины времени остывания τ пенобетонов различной плотности представлены в табл. 8.

Рис. 5 показывает сходимость расчетных и практических значений времени остывания пенобетонов на клееканифольном пенообразователе различной плотности при прочих равных условиях, что подтверждает возможность укладки пенобетона при пониженных и отрицательных температурах методом «термоса» с расчетом параметров по существующей методике Скрамтаева.

**Время остывания пенобетонов разной плотности,
рассчитанное по формуле Скрамтаева (3)**

Средняя плотность пенобетона γ , кг/м ³	Расход цемента Ц, кг	Тепловыделение цемента ЦЭ, Дж/м ³	Количество тепла в пенобетоне, Дж/м ³	Суммарное количество тепла в пенобетоне, Дж/м ³	Продолжительность остывания пенобетона по формуле Скрамтаева, (3) ч	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
300	260	54340	3780	58120	90	0,08
400	340	71060	5040	76100	117	0,11
500	380	79420	6300	85720	132	0,12
600	420	87780	7560	95340	147	0,14
800	440	91960	10080	102040	157	0,22
1000	450	94050	12600	106650	165	0,29
1400	480	100320	17640	117960	182	0,49
1600	500	104500	20160	124660	192	0,51



рис.5

Сходимость расчетных и практических данных остывания пенобетона

При укладке пенобетона методом «термоса» особого внимания требует вопрос сохранения пены при подогреве смеси. Температурные ограничения подогрева связаны с природой пенообразователей, используемых для приготовления пенобетона. В соответствии с предложенной автором классификацией был введен дополнительный критерий, названный $T_{пр}$ – пре-

дельная температура, под которой понимается предельная температура существования пены. Было установлено, что пены, полученные на разных пенообразователях, имеют свои значения $T_{пр}$ (табл. 9) и что разрушение пены на основе гидролизата белков происходит при температурах выше $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, пены на синтетических пенообразователях разрушаются при температурах нагрева более $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, пены на клееканифольном пенообразователе, имеющие максимальное число n , разрушаются при температуре нагрева более $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет рекомендовать клееканифольный и синтетические пенообразователи как наилучшие при твердении при пониженных и отрицательных температурах.

Таблица 9

Предельные температуры существования пены

Номер классификационной группы	Химическая природа пенообразователя	Торговая марка пенообразователя	Молярная масса ПАВ, г/моль	n	Интервал pH пенообразования	Установленная предельная температура $T_{пр}$, $^{\circ}\text{C}$
I	Алкилсульфаты	Пенообразователь № 1, ПО-6	387-415	16	2-9	70
II	Сульфонаты	ПБ-2000, Пеностром, ОС	320-503	14	6-10	70
III	Производные карбоновых кислот	Стеарат натрия, КВИН	278-306	17	6-12	70
IV	Производные смоляных кислот	Клееканифольный пенообразователь	300-304	19	6-12	80
V	Гидролизаты белков	УНИПОР SB-31	121-150	4	6-10	30

Таким образом по материалам исследований, сделаны выводы, что метод «термоса» с предварительным подогревом пенобетонной смеси приемлем для укладки монолитного пенобетона при температуре наружного воздуха до минус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ для пенобетонов на основе гидролизатов белка и до минус $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для пенобетонов на синтетических и клееканифольном пенообразователях. Учитывая необходимость сохранения пены, нами была уточнена методика расчета параметров укладки пенобетона методом «тер-

моса» по формуле (3), в соответствии с чем необходимо вносить корректировки по параметру начальной температуры бетона в конструкции - $t_{б.н.}$ в зависимости от природы пенообразователя по классификации и с учетом установленных значений предельных температур $T_{пр}$.

С учетом сделанных выводов в работе были разработаны составы пенобетонных смесей разной плотности (табл. 10).

Таблица 10

**Составы пенобетона D400–D1600,
используемые при проведении работ методом «термоса»**

Характеристики	Ед. изм.	Пенобетон						
		D400	D600	D800	D1000	D1200	D1400	D1600
Марка бетона по средней плотности								
Средняя плотность п/бетонной смеси	кг/м ³	499	712	920	1105	1315	1520	1725
Песок	кг	–	70	220	385	580	765	942
Цемент	кг	320	420	460	480	500	520	540
Вода в растворе	л	122	175	197	204	207	210	225
Вода в пене	л	56	47	42	36	28	24	18
Пеноконцентрат	кг	1,4	1,17	1,05	0,91	0,69	0,61	0,45
Пена	л	800	715	630	560	460	370	290
Водоцементное отношение	л/кг	0,65	0,53	0,52	0,50	0,47	0,45	0,43

В табл. 11 представлены свойства монолитного пенобетона различной плотности, полученного в условиях пониженных и отрицательных температур с применением метода «термоса». Приведенные результаты свидетельствуют о том, что, используя метод «термоса» и достигая ускорения твердения пенобетона, можно получить пенобетон, физико-механические свойства которого соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89.

В качестве противоморозных добавок в пенобетоны, твердеющие при температурах ниже 0 °С в работе использовались: $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$, NaNO_2 и K_2CO_3 .

Таблица 11

**Прочностные характеристики пенобетона,
полученные при ускоренном твердении методом «термоса»**

Характеристики	Пенобетон						
	D400	D600	D800	D1000	D1200	D1400	D1600
Марка бетона по средней плотности	D400	D600	D800	D1000	D1200	D1400	D1600
Прочность на сжатие, МПа							
3 сут	0,5	1,2	1,6	2,3	5,6	7,8	8,3
7 сут	0,85	2,1	2,4	5,2	10,5	13,0	14,9
14 сут	1,05	2,6	3,0	6,6	12,8	15,8	18,5
28 сут	1,2	3,0	3,5	7,5	14,9	18,6	22,0

Результаты исследования этих добавок на совместимость с пенообразователями (табл. 12) показали избирательность взаимодействия пенообразователей и солей противоморозных добавок.

Таблица 12

Совместимость пенообразователей и противоморозных добавок

Номер классификационной группы	Химическая природа пенообразователя	Торговая марка пенообразователя	Гидрофильный ион молекулы ПО	Интервал pH пенообразования	CaCl ₂ + NaCl	NaNO ₂	K ₂ CO ₃
I	Алкилсульфаты	Пенообразователь № 1, ПО-6	-OSO ₃ ⁻	2-9	+	+	-
II	Сульфонаты	Пеностром, ОС	-SO ₃ ⁻	2-10	+	+	-
III	Производные карбоновых кислот	КВИН	-COO ⁻	6-12	+	+	+
IV	Производные смоляных кислот	Клееканифольный ПО	-COO ⁻	6-12	-	+	+
V	Гидролизаты белков	УНИПОР SB-31	-COO ⁻	6-10	+	+	-

(-) – пена разрушается; (+) – пена не разрушается.

Из табл. 12 видно, что пену на клееканифольном пенообразователе разрушают хлориды (CaCl₂+NaCl), а поташ (K₂CO₃) разрушают пены на протеиновых и синтетических пенообразователях. Наиболее универсальным является нитрит натрия NaNO₂, который может быть рекомендован для всех используемых в данной работе пенообразователей.

В работе проводились исследования свойств пенобетона средней плотностью 1600 кг/м^3 , твердеющего при низких и отрицательных температурах с применением противоморозных добавок, не разрушающих пенобетонную смесь. В табл. 13 представлены результаты исследований набора прочности пенобетонов при различных значениях отрицательных температур. Исследования проводились с применением Пикалевского портландцемента М400 и пенообразователей: синтетического – Пеностром и – на клесканифольной основе.

Таблица 13

**Наращение прочности пенобетона средней плотности 1600 кг/м^3
с противоморозными добавками**

Добавки и их сочетания	Температура твердения бетона, °С	Рекомендуемое количество добавок, %	Прочность, % от R_{28} , при твердении пенобетона за период, сут			
			7	14	28	90
На синтетическом пенообразователе Пеностром						
NaNO ₂	-2	5	35	45	60	85
	-5	6	20	25	45	65
	-7	7	10	15	25	45
CaCl ₂ +NaCl	-2	1+2	40	55	70	90
	-5	2,5+3	30	35	45	60
	-7	3+4	15	20	25	40
	-10	3,5+4	10	12	20	30
На клесканифольном пенообразователе						
NaNO ₂	-2	5	34	45	55	80
	-5	6	15	25	45	60
	-7	7	5	15	24	45
K ₂ CO ₃	-2	5	45	60	65	90
	-5	6	30	40	60	80
	-7	7	25	30	55	70
	-10	8	20	25	45	60
	-15	10	15	20	40	50

Результаты исследований показали, что рекомендуемый диапазон температур применения солей для монолитного пенобетона находится в пределах до минуса 15 °С .

Физико-технические характеристики пенобетона, полученного с применением противоморозных добавок, представлены в табл. 14. Они свидетельствуют о том, что на начальные стадии набора прочности (до 7 суток)

в присутствии противоморозных добавок происходит ускорение твердения в 1,3 раза.

Таблица 14

**Основные свойства пенобетона, полученного
при ускоренном твердении с противоморозными добавками**

Характеристики	Ед. изм.	Пенобетон						
		D400	D600	D800	D1000	D1200	D1400	D1600
Марка бетона по средней плотности								
Средняя плотность п/бетонной смеси	кг/м ³	499	712	920	1105	1315	1520	1725
Прочность на сжатие	МПа							
7 сут.		0,9	2,4	2,8	6,0	12,0	14,2	15,9
14 сут.		1,1	2,9	3,4	7,3	13,8	16,7	19,2
28 сут.		1,3	3,1	3,8	8,0	15,5	19,1	23,0
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·°С)	0,10	0,12	0,14	0,21	0,39	0,50	0,60

В работе исследовалась возможность применения электропрогрева греющими проводами монолитного пенобетона при низких и отрицательных температурах. Исходя из выявленных ограничений электронагрева пенобетонной смеси, связанных с ее разрушением при контакте с греющим элементом, был сделан вывод о принципиальной возможности применения метода при использовании пены с высокими значениями n и высокими молекулярными массами. Были установлены технологические особенности электропрогрева пенобетона: – режим нагрева с максимальной скоростью для пенобетона недопустим, так как при этом температуры нагрева проводов превышают 80°С, – для пенобетона приемлем режим нагрева до определенной температуры, обеспечиваемой подбором необходимой мощности греющих проводов.

Экспериментально установлено, что оптимальная погонная нагрузка p на проволочные нагреватели, укладываемые в пенобетон, составляет 10 Вт/м – для пенобетонов на синтетических пенообразователях; 15 Вт/м –

для пенобетонов на клееканифольных пенообразователях. Было также установлено, что электропрогрев пенобетонов на протеиновых пенообразователях не рекомендуется, так как при температуре греющего провода около +30 °С электропрогрев становится экономически нецелесообразным. Исходя из этого длина проволочных электронагревателей l для прогрева пенобетонных конструкций может определяться по формуле (4), применяемой для тяжелых бетонов, но с учетом рекомендуемых величин p .

$$l = \sqrt{\frac{U^2 \cdot S}{P \cdot p}}, \quad (4)$$

где U – рабочее напряжение питания, В; S – сечение токонесущей жилы, мм²; p_1 – удельное сопротивление температуре, Ом · мм²/м; p – оптимальная погонная нагрузка на провод, Вт/м;

Практическое применение предложенных рекомендаций позволило создать в условиях отрицательных температур монолитное армированное перекрытие с требуемыми техническими характеристиками.

Таким образом, наиболее эффективно применение метода электропрогрева для пенобетонов на термостойкой пене, т.е. имеющих наибольшие значениями молекулярных масс и n , такой как клееканифольная и синтетическая.

В работе приведены исследования коррозионной стойкости арматуры в монолитном пенобетоне повышенной плотности D1400–D1800 кг/м³. Согласно требованиям «Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона» (СН 277-80), « ..арматурные каркасы и сетки в изделиях из ячеистого бетона необходимо защищать антикоррозийными покрытиями...». Было подтверждено, что пенобетон, обладая закрытыми порами, в отличие от газобетона предотвращает доступ кислорода к арматуре. В соответствии со стандартом СЭВ 4421-83, арматура в исследуемом пенобетоне переходит в неустойчивое пассивное состояние. Результаты проведенных исследований по определению рН жидкой фазы показали что, при введении в бетонную смесь пенообразующих добавок рН жидкой фазы пенобетона во

всех рассматриваемых случаях сохраняется > 12 за счет химических процессов, происходящих между пенообразующей добавкой и цементной составляющей пенобетона.

По результатам исследований получено заключение, подтвержденное НИИЖБ, о том, что «...в монолитных армированных конструкциях из бетона D1400–D1800 кг/м³ с пенообразующей добавкой, предназначенных для эксплуатации в жилых и общественных зданиях, антикоррозионной защиты арматуры не требуется...».

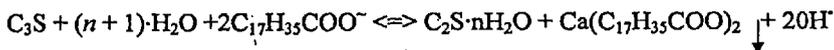
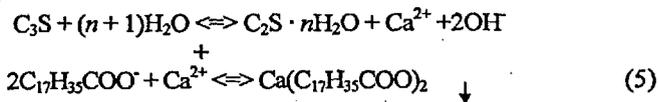
Таким образом, на основе предложенной классификации и проведенного эксперимента впервые были определены способы ускоренного твердения для укладки монолитных пенобетонов при пониженных и отрицательных температурах, включающие метод термоса, способ укладки с применением противоморозных добавок и электропрогрев. Установлены критические параметры и условия использования пенообразующих добавок для пяти классификационных групп по химическому и температурному признаку. Результатом проведенной работы явилось получение пеноматериала с физико-техническими характеристиками, удовлетворяющими требования ГОСТов 21520-89, 25484-89 при различных методах твердения, которые прошли широкую апробацию и внедрение при возведении зданий и сооружений на строительных площадках в Санкт-Петербурге.

Основные физико-технические характеристики пенобетона, полученного при различных способах твердения представлены в табл. 15.

III. Ускорение твердения пенобетонной смеси при нормальных условиях

Основная идея в данном случае сводилась к возможности создания комплексного пенообразователя, который бы учитывал достоинства ПО разных классов (табл. 1). В качестве исходных пенообразователей были выбраны олефинсульфонаты (ОС) и соли групп высших жирных кислот (Квин). Первые, – поскольку из искусственных пенообразователей дают наиболее ус-

тойчивую пену в бетонной смеси и имеют наибольшие значения M , вторые, — как наиболее активно взаимодействующие с цементом по уравнению реакции:



Предварительные калориметрические исследования по максимальному тепловыделению позволили подобрать наилучшее соотношение ОС + Квин, которое составляет 85:15%. В дальнейшем эта пенообразующая добавка названа пенообразователем «Комплекс-1». На рис. 6 показана кривая тепловыделения, которая свидетельствует о том, что «Комплекс-1» усиливает гидратационную способность цемента. Усиление гидратационной способности объясняется реакциями взаимодействия солей высших жирных кислот, входящих в состав пенообразователя, с цементом по ионным реакциям (5).

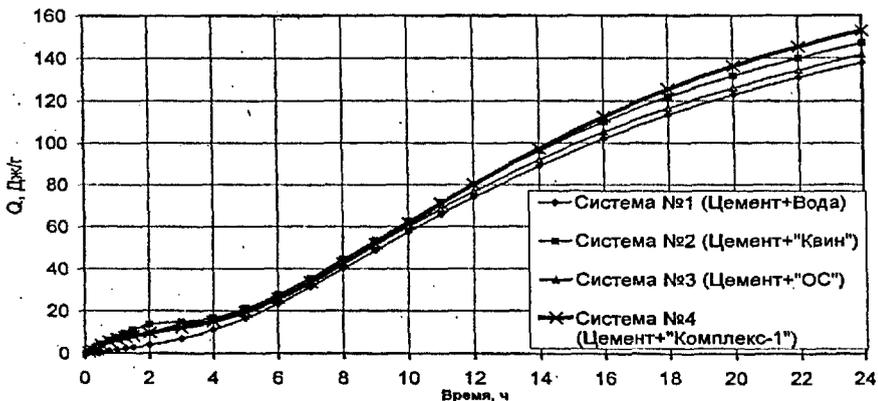


рис. 6

Графики суммарного тепловыделения

**Способы твердения и основные свойства пенобетона,
полученного в условиях пониженных и отрицательных температур**

Вид бетона	Марка бетона средней плотности	Назначение изделий	Способ твердения	Прочность при сжатии, МПа, сут				Кoeffи- циент тепло- провод- ности, Вт/(м·°С)	Кoeffи- циент па- ропрони- цаемости, Мг/ (м·ч·Па)	Расчет- ная рав- новесная влаж- ность, %	Марка по мо- розос- той- кости
				3	7	14	28				
Теплоизо- ляционный	D350 D400	Теплоизоляция кровли	Метод термоса	0,30 0,46	0,56 0,84	0,66 1,05	0,75 1,20	0,09 0,10	0,25 0,23	12 12	F15 F15
	D500	Теплоизоляция основания пола по грунту	Метод термоса	0,90	1,50	1,90	2,20	0,12	0,20	12	F25
Конструк- ционно- теплоизо- ляционный	D600 D800	Выравнивающие стяжки по ж/б перекрытиям	Метод тер- моса + про- тивомороз- ные добавки	1,2 1,6	2,5 2,9	2,8 3,2	3,1 3,8	0,14 0,21	0,17 0,14	12 15	F35 F50
	D1200 D1400	Выравнивающие стяжки по ж/б перекрытиям	Противомо- розные до- бавки	5,6	12,0	13,2	15,5	0,39	0,10	15	F75
7,8				15,1	16,3	19,1	0,50	0,08	15	F100	
Конструк- ционный	D1600	Монолитные армированные перекрытия	Электропро- грев + метод тер- моса	8,3	14,9	18,5	22,0	0,60	0,05	15	F150

В дальнейшем было произведено систематическое исследование свойств комплексного пенообразователя в сравнении с исходными пенообразователями Квин и ОС.

Полученный пенообразователь был опробован для получения поризованных бетонов разной плотности; расчет расхода компонентов производился по предлагаемой формуле:

$$\begin{cases} Ц + П + В + V_n \cdot k/K_p = D \\ Ц/d_n + П/d_n + В + V_n/k = V_{обр} \end{cases}, \quad (6)$$

где Ц и П – масса цемента и песка, кг; В – объем воды, л; V_n – объем пены, л; D – задаваемая плотность пенобетона с учетом естественной влажности, кг/м³; k – коэффициент использования пены в цементном тесте; K_p – коэффициент кратности пены; d_n – плотность песка, равная 2,6...2,7 кг/л; d_n – плотность цемента, равная 3,1...3,3 кг/л; $V_{обр}$ – объем образца равный 1000 л.

Расчитанные по формуле (6) составы поризованного бетона на основе пенообразователя «Комплекс-1» представлены в табл. 16.

Таблица 16

Состав пенобетонной смеси на основе ПО «Комплекс-1»

Средняя плотность, кг/м ³	расход материала на 1 м ³ бетона						Водоцементное отношение
	Цемент, кг	Песок, кг	Вода в растворе, кг	Вода в пене, л	Пенообразователь, кг	Объем пены, л	
400	340	—	145	70	1,55	840	0,43
500	380	55	165	65	1,45	780	0,43
600	420	110	180	60	1,3	720	0,43
800	440	270	190	50	1,2	600	0,43
1000	450	480	195	42	1,0	510	0,43
1200	460	680	200	35	0,8	430	0,43
1400	500	830	215	28	0,7	335	0,43
1600	570	940	245	20	0,5	245	0,43

Физико-технические характеристики пенобетона разной плотности на основе пенообразователя «Комплекс-1» приведены в табл. 17.

**Физико-технические характеристики пенобетона на основе
ПО «Комплекс-1»**

Средняя плотность кг/м ³	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600
Прочность при сжатии, МПа	1,2	2,2	3,1	3,6	7,7	15,1	18,8	22,5
Прочность при изгибе, МПа	0,48	0,7	0,9	1,2	2,1	2,4	3,7	5,1
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,10	0,12	0,14	0,20	0,28	0,38	0,49	0,50
Коэффициент паропроницаемости, мг/(мч·Па)	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11
Сорбционная влажность, %	7	7	7	9	9	9	10	10

В табл. 18 приведены сравнительные характеристики пенобетона разной плотности на исходных пенообразователях и пенообразователе «Комплекс-1».

Таблица 18

Сравнительные характеристики пенобетона D1600

Название ПО	Расход материалов на 1 м ³			В/Ц	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут			Класс по прочности	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	Марка по морозостойкости
	Цемент, кг	Песок, кг	Объем пены, л		3	7	28			
Квин	570	940	400	0,43	18,9	16,5	22,0	B15	0,49	F100
ОС	570	940	220	0,43	8,7	15,5	18,5	B10	0,42	F75
Комплекс-1	570	940	245	0,43	8,9	16,6	22,5	B15	0,49	F100

Проводились исследования влияния на основные механо-физические свойства водоцементного и цементно-песчаного соотношений. В результате проведенных исследований были обнаружены области соотношений, при которых наблюдаются максимальные значения по прочности на сжатие. Как следует из представленных зависимостей (рис. 7, 8), максимальные значения прочности при сжатии достигаются в следующих интервалах соотношений: для В/Ц – от 0,4 до 0,44 и для цемент/песок – от 0,62 до 0,67

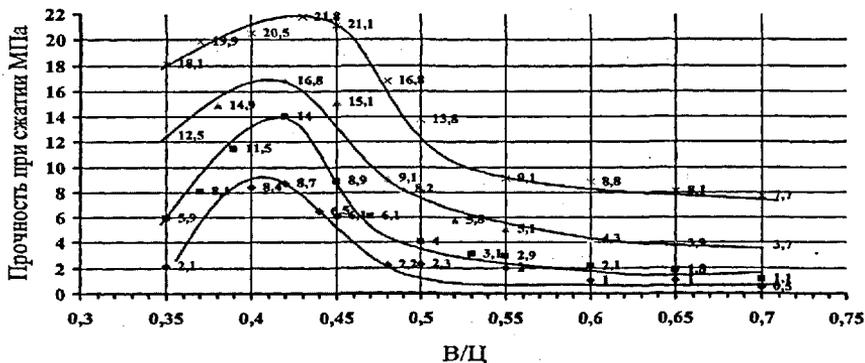


рис. 7

Зависимость прочности при сжатии от В/Ц для пенобетона средней плотности 1600 кг/м^3 в возрасте 1, 7, 14 и 28 сут

♦ 1 сут. ■ 7 сут. ▲ 14 сут. × 28 сут.

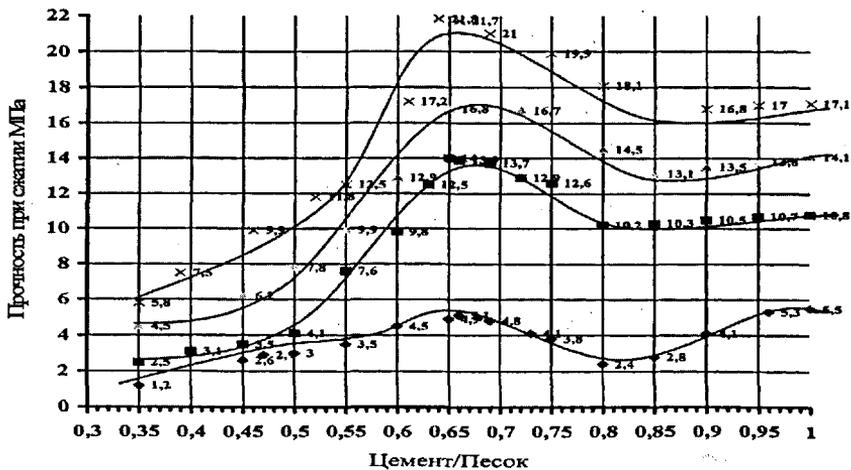


рис. 8

Зависимость прочности при сжатии от Цемент/Песок для пенобетона средней плотности 1600 кг/м^3 в возрасте 1, 7, 14 и 28 сут

♦ 1 сут. ■ 7 сут. ▲ 14 сут. × 28 сут.

Разработаны составы для строительных растворов, новизна которых защищена Патентом РФ № 2270823. Следует особо отметить, что пенообразующая добавка «Комплекс-1», имеющая синтетическую основу, не ограничена по срокам хранения и ее использование в бетоне не поддерживает биокоррозию. В ходе промышленной апробации пенообразующей добавки «Комплекс-1» был предложен новый способ получения пены, на который также был получен Патент № 2219989. В табл. 19 обобщены новизна и

уровень внедрения выполненной работы. Объекты внедрения представлены на рис. 9, 10.



Рис. 9

Устройство монолитных армированных перекрытий в котеджном комплексе в Санкт-Петербурге.

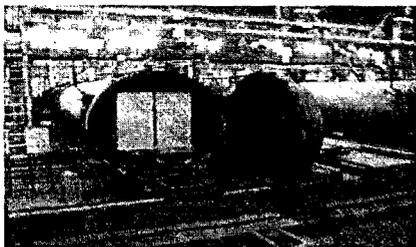
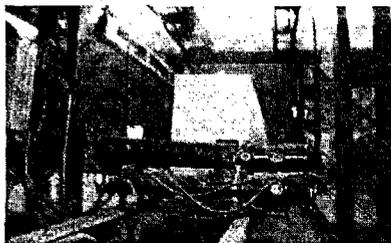


Рис. 10. Завод по производству автоклавного пенобетона в г. Орел

Новизна и промышленное внедрение предлагаемых технологий

Технология	Степень новизны	Объем внедрения	Место внедрения, год.
Автоклавная резательная	1) Патент № 99103613/03 Теплоизоляционный бетон. 2) Патент № 2004110065/03 Автоклавный пенобетон. 3) Патент № 2004108763/03 Автоклавный золопенобетон. 4) Патент № 2255859 от 26,03,03 Конвейерная линия для изготовления ячеисто-бетонных изделий. 5) Патент № 2229379 от 04,02,02 Резательная машина для ячеистого массива. 6) ТУ 5741-001-01115840-2002 Блоки стеновые из ячеистого бетона (пенобетона). 7) ТУ 5741-005-53228766-2001 Блоки стеновые из ячеистого бетона (пенобетона). 8) ТУ 5741-001-49990652-99 Добавка пенообразующая НИКА.	1) Опытная линия мощностью 7000 м ³ /г 2) Производственная линия мощностью 40000 м ³ /г 3) Производственная линия мощностью 60000 м ³ /г	1) ОНПБ ПГУПС, СПб., ул. Препортовская, д. 7. 2) Корневский завод силикатного кирпича, Люберецкий р-н, Московская обл. 3) ЗАО «Пенобетон», г. Орел, Крамское шоссе, 20.
При пониженных и отрицательных температурах	1) Патент № 2139841 Строительный раствор. 2) Патент № 2145314 Теплоизоляционный бетон. 3) Патент № 2145315 Теплоизоляционный бетон. 4) Патент № 2236390 Строительный раствор. 5) Патент № 99103610/03 Строительный раствор. 6) Патент № 99103609/03 Теплоизоляционный бетон. 7) ТУ 5746-003-49990652-99 Пигмент для бетона. 8) ТУ 5870-001-23372980-99 Пенобетоны для монолитного домостроения. 9) ТУ 5842-001-5322876-2001 Перекрытия из монолитного ячеистого бетона (пенобетона). 10) У 5813-003-53228766-2001 Фундаменты плитные и ленточные из монолитного пенобетона армированного. 11) ТУ 5745-004-53228766-2001 Смесь ячеистобетонная для стяжек по плитам перекрытий. 12) ТУ 5870-006-53228766-2001 Бетон ячеистый (пенобетон) теплоизоляционный для монолитного домостроения. 13) ТУ 5832-002-53228766-2001 Стены внутренние несущие из монолитного ячеистого бетона (пенобетона).	1) Выравнивающие стяжки по ж/б перекрытиям, 2000 м ² 2) Теплоизоляция пола по грунту, 300 м ² 3) Выравнивающие стяжки по ж/б перекрытиям, 3000 м ² 4) Теплоизоляция кровли, 1500 м ²	1) ООО «Союзстрой», СПб., ул. Эстонская, квартал 12-в, корпус 129, д. 9. 2) ООО «Союзстрой», СПб., Приморский р-н, Коломяги, корпус 16. 3) ООО «Союзстрой», СПб., ул. Малая Самсоньевская, д. 15. 4) ООО «Союзстрой», СПб., ул. Седова, д. 6.
Нормально-го твердения	1) Патент № 2270823 Строительный раствор. 2) Патент № 2219989 от 22,04,02 Способ и устройство для получения пены. 3) Патент № 2205814 Смесь для ячеистого бетона. 4) ТУ 5842-001-5322876-2001 Перекрытия из монолитного ячеистого бетона (пенобетона). 5) ТУ 5741-002-49990652-99 Добавка пенообразующая КВИН.	1) Устройство монолитных армированных перекрытий, 850 м ²	1) ООО «Союзстрой», СПб., ул. Эстонская, д. 1.

Общие выводы

1. Впервые разработаны основные положения прогнозирования свойств и технологий получения пенобетона с учетом природы строительной пены. Впервые произведена классификация строительной пены, показано, что по природе ПАВ, признаку молекулярных масс, длине углеводородной цепи пенообразующего вещества, а также значению рН пенообразования возможно управлять режимами твердения пеноматериалов на вяжущей основе. Результатом такого рассмотрения было выявление технологических особенностей получения и разработка автоклавной резательной технологии, а также твердение в условиях пониженных и отрицательных температур и нормального твердения. Впервые предложена методика определения рациональной концентрации пенообразующего раствора, при которой достигается максимальная устойчивость пены.

2. Показано, что для автоклавной резательной технологии получения пенобетона целесообразно использование пены с пониженной молекулярной массой и соответственно пониженной структурной вязкостью пены. Впервые разработаны технологические основы получения автоклавного пенобетона по резательной технологии; созданы отечественные резательный и делительный комплексы для этой технологии, исследованы особенности достижения резательной прочности композиционной пенобетонной смеси. Разработана технология получения золопенобетона с использованием золы от сжигания осадков сточных вод. С помощью метода адсорбции индикаторов (метода РЦА) обнаружено, что автоклавный пенобетон обладает адсорбционной способностью по ионам тяжелых металлов, что делает его экозащитным.

3. Впервые определена возможность укладки монолитных пенобетонов при пониженных и отрицательных температурах в зависимости от природы пены, причем более высокая молекулярная масса и число атомов углерода в цепи в общем обеспечивает устойчивость при нагре-

вании до более высоких температур; что делает возможным использование традиционных методов зимнего бетонирования, включая метод «термоса» с предварительным подогревом пенобетонной смеси и электропрогрев греющими проводами. Впервые исследована возможность применения бесконтактного электропрогрева монолитного пенобетона для ускорения твердения при отрицательных температурах, определены предельные температуры, при которых сохраняется устойчивость пены в зависимости от молекулярной массы и числа атомов углерода в углеводородном радикале. Показано, что метод «термоса» и электропрогрев допускают наиболее высокий подогрев укладываемой пенобетонной смеси при использовании клееканифольных и синтетических пенообразователей, имеющих высокие молекулярные массы и повышенные значения n . Установлена совместимость известных противоморозных добавок и пенообразователей, причем, объяснение дано с точки зрения природы пенообразователей и противоморозных добавок.

4. Для нормальных и тепловлажностных условий твердения создана новая пенообразующая добавка на комплексной основе «Комплекс-1», базирующаяся на классификационных признаках и содержащая соли высших жирных кислот, обладающая способностью повышать гидратационную активность цемента, за счет дополнительного связывания ионов кальция в труднорастворимые соли жирных кислот. Показано, что пенообразующие добавки типа «Комплекс-1» позволяют получать пено- и поробетоны средней плотности $400 \dots 1600 \text{ кг/м}^3$. Обнаружена взаимосвязь механо- и теплофизических свойств бетона средней плотности 1600 кг/м^3 и параметров приготовления бетонной смеси.

5. Разработана резательная технология получения автоклавного пенобетона на основе протеиновых пенообразователей средней плотностью $400 \dots 600 \text{ кг/м}^3$, найдены основные параметры резательной технологии получения автоклавного пенобетона, выявлены зависимости параметров от температуры, времени

выдержки массива, соотношения компонентов, исходного количества воды затворения. Полученный автоклавный пенобетон при средней плотности 400–500–600 кг/м³ характеризуется физико-техническими свойствами, соответствующими требованиям ГОСТ 25485, а также меньшей теплопроводностью и сорбционной влажностью. По разработанной технологии произведен опытно-промышленный и промышленный выпуск автоклавного пенобетона на линиях различной мощности в разных регионах России: Опытной базе ПГУПС в г. Санкт-Петербурге (2002 г.), Корневском заводе в Московской области (2003 г.), Заводе по производству автоклавного пенобетона в г. Орле, (2006 г.).

6. Разработана технология получения золопенобетона с использованием золы от сжигания осадков сточных вод. Предложено использование в качестве части сырьевого компонента (песка) золы от сжигания осадка сточных вод; разработаны составы автоклавного золопенобетона (патент № 2004108763/03), выпущены опытные партии автоклавного золопенобетона в количестве 400 м³ на Опытной базе ПГУПС по адресу: Предпортовая, д.7.

7. Предложена рекомендация ведения работ с монолитным пенобетоном, укладываемым методом «термоса» при наружных температурах до минус 10 °С, которая учитывает время остывания, конструкцию утепления и плотность пенобетона. Показано, что использование противоморозных добавок позволяет вести укладку пенобетона при температуре наружного воздуха до минус 20 °С, при этом в начальной стадии набора прочности в присутствии добавок обнаружено ускорение твердения. Уточнена методика расчета параметров электропрогрева греющими проводами для укладки монолитного пенобетона с учетом природы вводимых пен при отрицательных температурах до – 20 °С. Предлагаемые технологии ускорения твердения монолитного пенобетона в условиях пониженных температур опробованы в строительстве при: теплоизоляции кровли (СПб., ул. Седова, д. 19, 2002 г.), теплоизоляции основания пола по грунту

(СПб., Коломяги, к.16, 2003 г.), устройстве выравнивающих стяжек по ж/б перекрытиям (СПб., ул. М. Самсоньевская, д. 15, 2002 г.).

8. Разработана пенообразующая добавка «Комплекс-1», позволяющая получать пенобетон естественного твердения с большим диапазоном средних плотностей, что соответственно предопределяет его использование. Разработана технология использования пенообразователя «Комплекс-1» при монолитном бетонировании; показано, что бетоны на пенообразователе «Комплекс-1» обладают физико-техническими характеристиками, соответствующими требованиям ГОСТов 21520-89, 25484-89. Опытно-промышленная партия пенобетона на пенообразователе «Комплекс-1» опробована, при строительстве коттеджного комплекса в 2001 году (СПб., ул. Эстонская, д. 1).

9. Новизна разработок подтверждена 14 патентами и 11 ТУ России: Патенты № 2139841, № 2145314, № 2145315, № 2205814, № 2236390, № 99103610/03, № 99103609/03, № 99103613/03, №2004110065/03, №2004108763/03, № 2270823, № 2255859, № 2229379, №2219989; ТУ 5746-003-49990652-99, ТУ 5870-001-23372980-99, ТУ 5741-001-49990652-99, ТУ 5842-001-5322876-2001, ТУ 5741-001-01115840-2002, ТУ 5741-005-53228766-2001, ТУ 5813-003-53228766-2001, ТУ 5745-004-53228766-2001, ТУ 5870-006-53228766-2001, ТУ 5832-002-53228766-2001. Материалы диссертации используются в учебном практикуме по строительным специальностям и внедряются в различных регионах России.

Список работ, в которых опубликованы положения диссертации:

1. *Хитров А.В.* Твердение белитового клинкера при пониженных температурах // Цемент и его применение. – 1992, –№ 6, – С. 16.
2. *Сватовская Л.Б., Хитров А.В.* Утилизация жидких отходов Санкт-Петербурга и области // II Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. – СПб., 1997, – С. 54.

3. *Хитров А.В., Тарасов В.А.* Экоматериалы для строительства // III Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. 1998, – С. 63–64.
4. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Развитие термодинамических описаний твердеющих систем // Физико-химические проблемы строительного материаловедения: Материалы научных чтений. – Харьков, 1998, – С. 43–46.
5. *Соловьева В.Я., Сватовская Л.Б., Хитров А.В. и др.* Экологические решения по очистке биосферы для железнодорожного транспорта // Ресурсосберегающие технологии и технические средства на Октябрьской железной дороге // ПГУПС, 1999, – С. 76–78.
6. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Материалы для строительства и отделки 3-го тысячелетия // Известия Вузов. Строительные материалы и технологии 21 века. 1999, – № 2, – С. 85–88.
7. *Соловьева В.Я., Чернаков В.А., Хитров А.В.* Влияние вяжущего, пенообразующей добавки и заполнителя на свойства пенобетона // Пенобетоны 3-го тысячелетия (Тепло России). Материалы науч.-практ. конф., посвященной 190-летию ПГУПС. – СПб., 1999, – С. 18–31.
8. *Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Усовершенствованные технологии и оборудование для получения пенобетонов – материалов третьего тысячелетия // Инженерно-химические проблемы пенобетонов - материалов третьего тысячелетия: Сб. науч. тр. Петербургского гос. ун-та путей сообщения. 1999, С. 76–85.
9. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Политропные композиции // Современные Инженерно-химические основы материаловедения: Сб. науч. тр. Петербургского гос. ун-та путей сообщения, 1999, С. 57.
10. *Сватовская Л.Б., Смирнова Т.М., Хитров А.В.* Аномальное увеличение прочности бетона в условиях пониженных температур

//Международный конгресс твердения бетона, Данди, Шотландия, 1999, – С. 203–208.

11. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Современные строительные пены // Инженерно-химические проблемы пеноматериалов III тысячелетия: Сб. науч. тр. Петербургского гос. ун-та путей сообщения, 1999, – С. 62–71.

12. *Обвинникова В.П., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Опыт применения монолитного пенобетона // Пенобетоны 3-го тысячелетия (Тепло России): Материалы науч.-практ. конф., посвященной 190-летию ПГУПС, СПб, 1999, – С. 72–75.

13. *Хитров А.В.* О природе заполнителя и свойств пенобетона // Современные естественно-научные основы в материаловедении и экологии: Сб. науч. тр. Петербургского гос. ун-та путей сообщения, 2000, – С. 16.

14. *Хитров А.В.* Получение современных автоклавных пенобетонов // Современные естественно-научные основы в материаловедении и экологии: Сб. науч. тр. Петербургского гос. ун-та путей сообщения, 2000, – С. 29.

15. *Сватовская Л.Б., Хитров А.В.* Химическая классификация строительных пен // Строительные материалы и изделия: Межвуз. Сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2000, – С. 78–86.

16. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Хитров А.В.* Влияние природы пены на свойства пенобетона // Новое в химии и технологии силикатных и строительных материалов. Сб. науч. тр. ЦЕЛСИМ. Вып. 1. – Алма-Ата, 2001, – С. 336–358.

17. *Соловьева В.Я., Хитров А.В., Петров С.Д.* Новые виды изделий из пенобетона // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. тр. Вып. 1 – ПГУПС, 2001, – С. 24.

18. *Хитров А.В.* Прогнозирование теплофизических свойств ячеистого бетона на основе колебательных спектров // Новые исследования в матери-

ловедении и экологии: Сб. науч. ст. Вып. Петербургский гос. ун-та путей сообщения, 2001, – С. 52.

19. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Хитров А.В.* Новое понимание процессов гидратации на электронном уровне // Международный конгресс «Проблемы твердения бетонных конструкций», Шотландия, УК 2002, – С. 174–183.

20. *Мартынова В.Д., Хитров А.В., Петров С.Д.* Новая резательная технология производства автоклавного пенобетона // Сухие строительные смеси и новые технологии в строительстве. – 2002, – № 1 – С. 23–24.

21. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Хитров А.В.* Термодинамические аспекты при твердении монолитных пенобетонов на массовом сырье // 15 Международный конгресс «Ибаусил», Германия, Веймар, 2003, Т. 1, – С. 837–843.

22. *Гиндин М.Н., Хитров А.В.* Технологическая линия по производству мелких стеновых блоков из автоклавного пенобетона на рядовом сырье // Сухие строительные смеси и новые технологии в строительстве, СПб., АЖИО, 2003, – С. 18–21.

23. *Хитров А.В., Гиндин М.Н.* Технологическая линия для производства мелких стеновых блоков из автоклавного пенобетона на массовом сырье // Строительные материалы, – 2003, – № 6, – С. 4–5.

24. *Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Масленникова Л.Л., Хитров А.В. и др.* Термодинамический и электронный аспекты свойств композиционных материалов для строительства и экозащиты // Под ред. Л.Б.Сватовской. – СПб.: Изд-во Стройиздат СПб. – 2004, – С. 173.

25. *Сватовская Л.Б., Хитров А.В., Шершинева М.В.* Отходы продукции монолитных пенобетонов // Международный конгресс «Отходы монолитных бетонных конструкций», Кингстон, 2004, – С. 199–203.

26. *Хитров А.В., Петров С.Д., Мартынова В.Д. и др.* Поведение пенообразователей при низких температурах и их взаимодействие с противоморозными добавками // Новые исследования в материаловедении и экологии:

Сб. науч. ст. Вып. 2, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004, – С. 26–28.

27. *Хитров А.В., Верховская Ю.М., Мартынова В.Д. и др.* Пенообразующая добавка на комплексной основе для монолитного домостроения // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. ст. Вып. 2, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004, – С 29–33.

28. *Сватовская Л.Б., Хитров А.В. и др.* Современный автоклавный пенобетон // Достижения строительного материаловедения: Сб. науч. ст., посвященный 100-летию со дня рождения П.И. Боженова. – СПб., ОМ-Пресс, 2004, – С. 85–89.

29. *Хитров А.В.* Повышение свойств пеноматериала стабилизацией пены // Нов. исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. ст. Вып. 4, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004, – С. 16.

30. *Сватовская Л.Б., Титова Т.С., Хитров А.В. и др.* Новые экозащитные технологии и их оценка. Индекс PQ. – СПб.: ПГУПС, 2005, – 75 с.

31. *Петров С.Д., Хитров А.В., Сватовская Л.Б.* Ускорение твердения монолитного пенобетона при пониженных и отрицательных температурах // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. ст., Вып. 5, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005, – С. 20–27.

32. *Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Хитров А.В. и др.* Управление свойствами пенобетонов разных технологий изготовления // XXV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 60-летию Победы: Сб. сообщений. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005, – С. 237–240.

33. *Хитров А.В., Петров С.Д.* Твердение пенобетона с противоморозными добавками. // Цемент и его применение, – 2006, – № 2, – С. 69–70.

34. *Сычева А.М., Хитров А.В., Шершнева М.В., Русанова Е.В.* Золопенобетоны с использованием золы осадка сточных вод // Цемент и его применение, – 2006, – № 3, – С. 64–65.

35. Сычева А.М., Попова Е.А., Хитров А.В., Филатов И.П. Повышение трещиностойкости пенобетона // Цемент и его применение, – 2006, – № 4, – С. 52–53.
36. Сычева А.М., Попова Е.А., Хитров А.В., Дробышев Д.И. Физико-химические параметры превращения пенобетонной смеси // Цемент и его применение, –2006, – № 4, – С. 51–53.
37. Хитров А.В. Природа пен в технологии пеноматериалов // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. ст. Вып. 6. – Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2006, – С. 23–28.
38. Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Хитров А.В. и др. Резательная технология получения автоклавного пенобетона: 16-я Междунар. конф. строительных материалов «Ибаусил», Веймар, 22–23 сент. 2006 г. – С. 312.

Патенты:

39. Строительный раствор. Патент № 2139841.
40. Теплоизоляционный бетон. Патент № 2145314.
41. Теплоизоляционный бетон. Патент № 2145315.
42. Смесь для ячеистого бетона. Патент № 2205814.
43. Строительный раствор. Патент № 2236390.
44. Строительный раствор. Патент № 99103610/03.
45. Теплоизоляционный бетон. Патент № 99103609/03.
46. Теплоизоляционный бетон. Патент № 99103613/03.
47. Автоклавный пенобетон. Патент № 2004110065/03.
48. Автоклавный золопенобетон. Патент № 2004108763/03.
49. Строительный раствор. Патент № 2270823.
50. Конвейерная линия для изготовления ячеисто-бетонных изделий. Патент № 2255859.
51. Резательная машина для ячеистого массива. Патент № 2229379.
52. Способ и устройство для получения пены. Патент № 2219989.

Подписано к печати

10.11.06 г.

Печ. л. 3,0

Печать офсетная.

Бумага для множит. апп.

Формат 60x84 1/16

Тираж 120 экз.

Заказ 1175.

Тип. ПГУПС 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д.9.