**Павленко Наталья Викторовна. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Павленко Наталья Викторовна; [Место защиты: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова].- Белгород, 2009.- 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/729**

**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА**

**На правах рукописи**

04201052936

**ПАВЛЕНКО НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА**

**ПЕНОБЕТОН НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО**

**05.23.05. - Строительные материалы и изделия**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических паук**

**Научный руководитель: доктор технических наук Череватова А.В.**

**Белгород - 2009**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. [СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 9](#bookmark4)
   1. Решение проблемы рационального энергосбережения путем использования современных теплоизоляционных

материалов 9

* 1. [Вяжущие негидратационного типа твердения 15](#bookmark5)
  2. [Факторы, определяющие формирование поровой структуры 17](#bookmark6)
  3. [Способы упрочнения ячеистых бетонов 24](#bookmark8)
  4. [Выводы 26](#bookmark9)

1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ... 28
   1. Применяемые методы

исследования 28

* + 1. Методы исследования структурных характеристик

материала 28

* + 1. Методы исследования физико-химических свойств

материала 30

* 1. Характеристики сырьевых материалов 34
  2. [Выводы 43](#bookmark13)

1. [РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕНОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ НАНОС ТРУ КТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО 45](#bookmark14)
   1. Эволюция вяжущих негидратационного твердения 45
   2. Состав и свойства наноструктурированного вяжущего для пенобетона 48
   3. Особенности формирования пенной структуры с низким водосодержанием 53
   4. Принципы получения эффективной поровой структуры в многофазной системе пеномассы 60
   5. Анализ характера поровой структуры пенобетона в зависимости

от типа вяжущего бб

* 1. [Особенности процесса упрочнения и его влияние на структуру материала 70](#bookmark17)
  2. Анализ пористости пенобетона на основе

наноструктурированного вяжущего 77

* 1. [Выводы 82](#bookmark29)

1. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО­МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 85
   1. [Расчет состава пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего 85](#bookmark1)
   2. Сравнительный анализ влияния основных факторов па структурообразование и свойства

пенобетона 88

з

* 1. [Особенности эксплуатации пенобетонов на основе наноструктурированного вяжущего 97](#bookmark18)
  2. Выводы 102

1. ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ 103
   1. Технология производства пенобетонов на основе

наноструктурированного вяжущего 103

* 1. Оценка эффективности разработанной технологии 109
  2. Теплотехнический расчет конструкций с использованием разработанного пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего 111
  3. Технико-экономическое обоснование эффективности производства пенобетона с использованием наноструктурированного вяжущего 116
  4. Внедрение результатов исследований 125
  5. Выводы 126

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 128

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 131

ПРИЛОЖЕНИЯ 147

**ВВЕДЕНИЕ**

Значение промышленности строительных материалов огромно - от уровня производства их всецело зависят темпы и качество строительных работ. По мере совершенствования технологии и строительного производства повышаются требования к качеству материалов, расширяется их ассортимент. Современные строительные материалы должны обеспечивать снижение стоимости и трудоемкости строительства, а также массу зданий и, сооружений и повышение их теплозащиты. Важной задачей является технико­экономическое сопоставление конкурирующих видов изделий, для того чтобы обеспечить наиболее экономически эффективным из них преобладающее развигие.

Актуальным в последнее время является разработка и использование новых высокоэффективных теплоизоляционных материалов, что позволяет сделать, значительный качественный скачок в строительстве, получить значительную экономию энергоресурсов и улучшить комфортность зданий.

В связи с высокой энергоемкостью и негативным влиянием производства цемента на экологию возникает потребность в разработке материалов на основе новых безклинкерных вяжущих, к которым относятся наноструктурированные вяжущие негидратационного типа твердения. Специфика на £ юсмр у кту рир ов анных вяжущих позволяет рекомендовать их для производства теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных пенобетонов строительного назначения.

Для ячеистых бетонов на основе цемента характерны низкие прочностные характеристики, усадочные явления при структурообразовании, низкая огнестойкость, повышенный расход высококачественного цемента. Использование наноструктурированного вяжущего позволяет получать пенобетон с улучшенными теплофизическими и технико-эксплуатационными характеристиками без применения цемента.

Преимуществом является упрощение и удешевление технологии, а также существенное повышение эффективности технологического процесса за счет его рационализации с сохранением и улучшением технико-эксплуатационных характеристик. Изделия и строительные конструкции, полученные с применением наноструктурированных вяжущих обладают повышенной огнестойкостью.

***Цель работы:*** Разработка теплоизоляционного и конструкционно­

теплоизоляционного пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего и комплексного пенообразователя.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

* разработка состава комплексного пенообразователя с учетом особенностей наноструктурированного вяжущего;
* разработка составов теплоизоляционного и конструкционно- теплоизоляционного пенобетона;
* разработка технологии производства пенобетона на основе наноструктурироваїшого вяжущего и комплексного пенообразователя;
* подготовка нормативных документов для реализации теоретических и экспериментальных исследований в производственных условиях.

***Научная новизна:*** Теоретически обоснована и экспериментально

подтверждена возможность использования бесцементного

наноструктурированного вяжущего полимеризационно-конденсационного твердения для производства теплоизоляционного и конструкционно­теплоизоляционного пенобетона. Создание рациональной поровой структуры происходит при высокой концентрации твердой фазы вяжущего, низком водосодержании пеномассы и формировании высокоплотной межпоровой перегородки ячеистого композита, что объясняется особенностями состава и структуры вяжущего.

Установлена зависимость микро- и макропористости, прочности и плотности ячеистого материала от состава, морфологии и концентрации нанодисперсного вещества в вяжущем, заключающаяся в снижении

нанопористости матрицы и плотности бетона при увеличении прочности в ряду применяемых вяжущих: цемент - высококонцентрированные вяжущие системы (BICBC) - паноструктурированное вяжущее (НВ). Это объясняется наличием нанодисперсных составляющих в данном ряду.

Предложен механизм структурообразования пенобетона на основе НВ в процессе упрочнения, заключающимся в омоноличивании матрицы, формировании глянцевого припорового слоя, залечивании дефектов межпоровых перегородок, что приводит к существенному повышению эксплуатационных характеристик материалов.

Обоснована огнестойкость пенобетона на основе НВ связанная с составом и типом твердения вяжущего, исключающего гидратацию. При повышении температуры свыше 1 ООО °С прочность материала возрастает, что обусловлено протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземистых и алюмосиликатных составляющих, упрочняющих межпоровую перегородку.

***Практическое значение.***

Разработан состав комплексного пенообразователя, составными частями которого являются протеиновый (Addiment - 0,05-0,27 ***%)*** и синтетический (Esapon - 0,24-0,31 %) пенообразователи, концентрация которых варьируется в зависимости от требуемых характеристик пенобетона на основе НВ.

Предложен расчет состава пенобетонной смеси с учетом особенностей НВ. Разработаны составы пенобетона на основе данного типа вяжущего.

Предложены способы достижения эксплуатационной прочности пенобетонов на основе НВ методом упрочнения химическим активированием контактных связей (УХАКС) путем орошения либо выдержки в щелочном растворе силикатов, позволяющие увеличить прочность на сжатие в 1,5-2,5 раза, и в 2-4 раза соответственно. При этом достигнуты следующие характеристики: в результате орошения плотность пенобетона 320-550 кг/м3, прочность 3-6,5 МПа, при выдержке плотность 400-620 кг/м3, прочность 4-7,8 МПа, соответственно, теплопроводность 0,08-0,12 Вт/м- °С.

Получены математические уравнения регрессии «состав формовочной системы - физико-механические характеристики», позволяющие провести оптимизацию технологического процесса по заданным характеристикам НВ и пенообразователя, выявить закономерности их влияния на свойства пенобетона.

Предложена технология производства пенобетона на основе НВ.

***Внедрение результатов исследований.***

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО «Экостройматериалы» Белгородской области. Пенобетон на основе НВ использован в индивидуальном жилищном домостроении, предприятием ООО «БелЭкопомСтрой».

Для широкомасштабного внедрения результатов научно-исследовательской работы разработаны следующие нормативные документы:

* рекомендации по применению наноструктурированного вяжущего для производства пенобетона;
* стандарт организации СТО 02066339-002-2009 «Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего»;
* технологический регламент на производство пенобетонных блоков на основе наноструктурированного вяжущего.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», специализации «Наносистемы в строительном материаловедении», а также бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

***Апробация работы.*** Основные положения диссертационной работы представлены на XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2008», (Москва, 2008); Международной научно- технической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика», (Пенза, 2005, 2008).

Работа отмечена медалью «Лауреат ВВЦ» на выставке НТТМ - 2009 (Москва, 2009).

***На защиту выносятся.***

* теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности использования бесцементного наноструктурированного вяжущего полимеризационно-конденсационного твердения для производства теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного пенобетона;
* зависимость мшсро- и макропористости, прочности и плотности ячеистого материала от состава, морфологии и концентрации нанодисперсной составляющей вяжущего;
* механизм структурообразования пенобетона на основе НВ в процессе упрочнения;
* схема эволюции и ранжирования вяжущих негидратационного типа твердения по эффективности использования для производства строительных материалов;
* расчет состава пенобетонной смеси;
* составы комплексного пенообразователя и пенобетона на основе НВ; способы упрочнения материала;
* технология производства пенобетона на основе НВ, результаты внедрения.

***Публикации.*** Результаты исследований, отражающие основные положения

диссертационной работы, изложены в 11 научных публикациях, в том числе 3 статьи в научных журналах по списку ВАК РФ. На способ изготовления пенобетона и изделий из пенобетона на основе НВ подана заявка на патент № 20099134917(049198) приоритет от 21.09.2009.

***Структура диссертации.*** Диссертация состоит из 5 глав, общих выводов, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 200 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 33 таблицы, список литературы из 156 наименований, 11 приложений.

* 1. **Выводы**

1. Разработана технология получения пенобетона на основе НВ. Предложен способ изготовления изделий из пенобетона, включающий подготовку техниче­ской пены путем механической обработки водного раствора пенообразователя, минерализацию полученной пены, разливку пеномассы в формы, сушку, упроч­нение, повторную сушку. Получение данного материала возможно в рамках од­ного предприятия начиная с производства вяжущего и до выпуска готовой про­дукции, что позволяет снизить себестоимость за счет отсутствия затрат на при­обретение и транспортировку вяжущего.
2. Процесс производства является экологически чистым на всех технологи­ческих этапах.
3. Пенобетон на основе НВ обладает улучшенными теплофизическими ха­рактеристиками, в сравнении с аналогичными материалами, получившими ши­рокое распространение сегодня. Минимальное значения коэффициента тепло­проводности (0,08 Вт/м °С), при высоких прочностных характеристиках (3 МПа) делают материал конкурентоспособшлм, и предопределяют его вос­требованность в сфере строительства. Применение такого материала позволит создавать эффективные облегченные стеновые конструкции минимальной тол­щины, отвечающие требованиям к теплозащите стен зданий, стоимость кото­рых ниже чем существующих материалов.
4. Использование НВ для получения пенобетона, за счет доступности сырь­евой базы, позволяет производить и применять его в экстремальных условиях например в отдаленных северных районах, где отсутствуют предприятия по выпуску цемента, может применяться для возведения противопожарных конст­рукций.
5. Себестоимость пенобетона на основе НВ ниже чем у существующих ан- налогов. Повышение технико-экономической эффективности технологии воз­можно за счет сокращения времени механоактивации, энергозатрат при полу­чении вяжущего. С целью уменьшения расходов на сырьевые материалы необ- ходимо дополнительно провести маркетинговый анализ цен на пенообразую­щие добавки.
6. Апробация полученных результатов в промышленных условиях осущест­влялась на предприятии ООО «Экостройматериалы» Белгородской области. Пенобетон на основе НВ использован в индивидуальном жилищном домо­строении, предприятием ООО «БелЭкономСтрой».

128

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования бесцементного наноструктурированного вяжущего, полимеризационно-конденсационного твердения, для производства теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного пенобетона. Создание рациональной поровой структуры происходит при высокой концентрации твердой фазы вяжущего, низком водосодержании пеномассы и формировании, высокоплотной межпоровой перегородки ячеистого композита, что объясняется особенностями состава и структуры вяжущего.
2. Установлена зависимость микро- и макропористости, прочности и плотности ячеистого материала от состава, морфологии и концентрации нанодисперсного вещества в вяжущем, заключающаяся в снижении нанопористости матрицы и плотности бетона при увеличении прочности в ряду применяемых вяжущих: цемент - ВКВС - НВ. Это объясняется наличием нанодисперсных составляющих в изучаемой системе.
3. Предложен механизм структурообразования пенобетона на основе НВ в процессе упрочнения, заключающемся в омоноличивании матрицы, формировании глянцевого прииорового слоя, залечивании дефектов межпористых перегородок, что приводит к существенному повышению эксплуатационных характеристик материалов.
4. Обоснована повышенная огнестойкость пенобетона на основе НВ, которая связана с составом и типом твердения вяжущего, исключающего гидратацию. При воздействии на материал температуры свыше 1 ООО °С, его прочность возрастает, что обусловлено протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземистых и алюмосиликатных составляющих, упрочняющих межпоровую перегородку.
5. Разработана схема эволюции вяжущих негидратационного типа твердения. Вяжущие кремнеземистого и алюмосиликатного составов

проранжированы по эффективности их использования для производства строительных материлов.

1. Разработан состав комплексного пенообразователя, составными частями которого являются протеиновый (Addiment - 0,05-0,27 %) и синтетический (Esapon — 0,24-0,31 %) пенообразователи, концентрация которых варьируется в зависимости от требуемых характеристик пенобетона на основе НВ.
2. Предложен расчет состава пенобетонной смеси с учетом особенностей наноструктурированного вяжущего и способы упрочнения пенобетонов на основе НВ по УХАЕСС методу' путем орошения или выдержки в щелочном растворе силикатов, позволяющие увеличить прочность на сжатие образцов пенобетона при применении способа орошения: в 1,5-2,5 раза, а при применении способа выдержки в 2-4 раза соответственно. При этом достигнуты характеристики: в результате орошения плотность пенобетона 320-550 кг/м3, прочность 3-6,5 МПа, при выдержке плотность 400-620 кг/м3, прочность 4-7,8 МПа, соответственно, теплопроводность 0,08-0,12 Вт/м- °С.
3. Получены математические уравнения регрессии «состав формовочной системы - физико-механические характеристики», позволяющие провести оптимизацию технологического процесса по заданным характеристикам НВ и пенообразователя и выявить закономерности их влияния на свойства пенобетона.
4. Апробация технологии производства пенобетона на основе НВ в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО «Экостройматериалы» Белгородской области. Пенобетон на основе НВ использован в индивидуальном жилищном строительстве в Белгородской области.
5. Для широкомасштабного внедрения результатов научно- исследовательской работы разработаны следующие нормативные документы: рекомендации по применешио наноструктурированного вяжущего для производства пенобетона; стандарт организации СТО 02066339-002-2009 «Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего»; технологический регламенг на производство пенобетонных блоков на основе наноструктурированного вяжущего.
6. Экономическая эффективность производства и применения разработанного материала обусловлена использованием доступных сырьевых материалов, отсутствием затрат на транспортировку вяжущего, и получением материала с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика [Текст] / Н.П. Сажнев [и др.]. -Минск: изд-во «Стринко», 1999.
2. ***Меркин А.П.*** Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития [Текст] / А.П. Меркин // Строительные материалы. - 1995.-№ 2.-С. 11-15.
3. Все о пенобетоне [Текст] / А.А. Портик [и др.] - СПб: Наука, 2004 -

16 с.

1. Современные иенобетоны [Текст] / Под ред. П.Г. Комохова. — СПб: Наука, 1997.
2. ***Kearsley Е.Р.*** Opportunities for expanding the use of foamed concrete in the construction industry,[Text] / E.P. Kearsley, H.F. Mostert // Uses of foamed

. мит і t'« 1

concrete Global construction: Ultimate concrete opportunities. Conference proceedings of International congress, Dundee, Scotland, 2005. - P. 143-154. - ISBN 0-7277-3406-7.

1. ***Ухова T.A.*** Новые виды ячеистых бетонов. Технология. Применение [Текст] / Т.А. Ухова // Бетон на рубеже 3-го тысячелетия: 1-я Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. В 3 книгах. Кн. 3, Москва. - М.: «Готика», 2001.- С. 1382-1386.
2. ***Баранов И.М.*** Новые эффективные строительные материалы для создания конкуренгных производств [Текст] / И.М. Баранов // Строительные материалы. - 2001. - №2. - С. 69-71.
3. ***Коновалов В.М.*** Энергетические затраты при производстве ячеистых бетонов [Текст] / В.М. Коновалов // Строительные материалы. - 2003. - № 6. - С. 6-8.
4. Теплозащита стен зданий, позволяющая более чем в два раза сократить теплопотери, становится сверхактуальной [Текст] // Строительство. - 2005. - №4.

Ю.Ресурсосберегающие технологии керамики, силикатов, бетонов [Текст] / А.В. Нехорошев [и др.]. - М.. Стройиздат, 1991. - 488с.