Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

На правах рукописи

**04201456122**

**ШКАРИН АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

**СУХИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СМЕСИ
НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ**

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент **Загороднюк Лилия Хасановна**

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ 5

[1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 11](#bookmark0)

1. [Роль теплоизоляционных материалов в современном строительстве 11](#bookmark1)

[1.2.0бщие тенденции развития теплозащиты зданий 13](#bookmark2)

* 1. [Композиционные вяжущие вещества 19](#bookmark3)
	2. [Механическая активация материалов 24](#bookmark4)
	3. [Процессы смешения и их влияние на структуру цементного камня 34](#bookmark5)
	4. Выводы 37

ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 39

1. Характеристика сырьевых материалов 39
2. [Методы исследований. Приборы и оборудование 45](#bookmark6)
3. ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ 54
	1. Исследование влияния минеральной добавки - перлитового песка

на свойства вяжущих композиций, полученных в различных помольных агрегатах 55

* + 1. Изучение влияния минеральных добавок на свойства вяжущих

композиций, приготовленных в шаровой мельнице 57

* + 1. Изучение влияния минеральных добавок на свойства вяжущих

композиций, приготовленных в вибрационной мельнице 71

* + 1. Изучение микроструктуры вяжущих композиций, полученных в

шаровой и вибрационной мельницах 82

* + 1. Анализ результатов исследования вяжущих композиций,

полученных в шаровой и вибрационной мельницах и обоснование принятого помольного агрегата 89

* 1. Оптимизация композиционных вяжущих модифицирующими

[добавками 94](#bookmark14)

* + 1. Исследование влияния пластифицирующей добавки Melflux

[на бездобавочный цемент 94](#bookmark16)

з

* + 1. Исследование влияния органоминеральных добавок в

композиционных вяжущих 97

* + 1. [Получение композиционных вяжущих с добавками пласти­фицирующей Melflux и редиспергирующей Vinapass 100](#bookmark18)
		2. Влияние пластифицирующей добавки на реологические войства и физико-механические характеристики

композиционных вяжущих 102

* + 1. Изучение первичного контакта при введении функциональных

добавок в композиционное вяжущее 105

* 1. [Выводы по главе 115](#bookmark22)
1. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ТЕП Л ОИЗОЛ Я ЦИОННЫХ СМЕСЕЙ И ИХ

ПОВЕДЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ОСНОВАНИЯХ 123

* 1. Разработка составов сухих теплоизоляционных смесей с использованием

вспученного перлитового песка 123

* 1. Микроструктура теплоизоляционных растворов, приготовленных

на цементе и композиционном вяжущем 131

* 1. Формирование структуры теплоизоляционных растворов на различных

[основаниях 135](#bookmark25)

* + 1. Натурные испытания теплоизоляционных растворов на

различных подложках 135

* + 1. Исследование микроструктуры контактной зоны : основание

стены -теплоизоляционный раствор 136

* 1. [Выводы по главе 146](#bookmark28)
1. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ

СМЕСИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ 148

* 1. Изучение влияния смешения компонентов сухих строительных смесей

в пневматическом смесителе 152

* + 1. Цели и план проведения работ 152
		2. Характеристика используемого оборудования и методика определения

эффективности процесса смешения 155

* + 1. Многофакторное планирование эксперимента и обработка результатов

при изучении режимов работы пневмосмесителя 159

* + 1. [Определение коэффициента неоднородности смеси 162](#bookmark30)
		2. [Физико-механические характеристики исследуемых материалов 163](#bookmark31)

5.2. Изучение влияния смешения компонентов сухих строительных смесей в

[спирально-лопастном смесителе 165](#bookmark33)

[5.2.1 .Схема и принцип действия экспериментальной установки 165](#bookmark34)

1. Исходные данные для проведения экспериментов составление матрицы планирования. Обработка результатов смешения сухой теплоизоляционной

смеси в спирально - лопастном смесителе 169

1. [Выводы 185](#bookmark39)
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СУХИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СМЕСЕЙ НА

ПЕРЛИТОВОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ 187

* 1. Физико-механические и эксплуатационные характеристики сухих

теплоизоляционных смесей 187

* 1. [Основания под штукатурные покрытия 192](#bookmark40)
	2. [Правила формирования штукатурных покрытий 194](#bookmark41)
	3. Рекомендации по устройству защитных покрытий 197
	4. Технологическая схема производства сухих

теплоизоляционных смесей 208

* 1. Технико-экономические аспекты применения сухих

теплоизоляционных смесей на перлитовом заполнителе 210

* + 1. Расчет затрат на НИР 214
		2. Расчет изменений материальных затрат с учетом ввода

композиционного вяжущего и органоминеральной добавки 219

* 1. [Выводы по главе 221](#bookmark53)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ 224

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 227

[ПРИЛОЖЕНИЯ 243](#bookmark60)

**ВВЕДЕНИЕ**

***Актуальность.*** В рамках программы энергосбережения и развития жилищного строительства Российской Федерации, и реализации Федерального закона №185-ФЗ "О содействии реформированию жилищно-коммунального хозяйства", особую актуальность приобретает создание новых эффективных строительных материалов с высокими теплозащитными и эксплуатационными свойствами, способных конкурировать с зарубежными аналогами.

Энергопотребление городских зданий и загородных коттеджей составляет около 43% от всей вырабатываемой энергии, из которых 90% уходит на отопление, что в 2-3 раза больше, чем в развитых западных странах. По причине плохой теплоизоляции примерно 66% энергии «растворяется в воздухе», отапливая окружающую среду. Утепление зданий и сооружений позволяет сократить их теплопотери, сделать помещения более комфортными для жизни и работы. Стоимость теплоизоляции относительно стоимости всего дома существенно мала, однако, при эксплуатации здания основные затраты приходятся, именно, на отопление. Устройство хорошей теплоизоляции позволяет экономить до 50% энергии, расходуемой на отопление.

В соответствии с действующими строительными нормами требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось в 3-3,5 раза. Это требует разработки эффективного теплоизоляционного материала с точки зрения его технических, эксплуатационных, экономических и экологических характеристик. Диссертационная работа выполнена в рамках тематического плана госбюджетной НИР № 7.4211.2011 «Разработка теоретических основ получения высококачественных бетонов нового поколения с учетом генетических особенностей нанодисперсных модификаторов» (2011-2015 гг.) и областной долгосрочной целевой программы "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности Белгородской области на 2010-2015 гг. и целевые показатели на период до 2020 г.", утверждённой постановлением Правительства Белгородской области от 30.10.2010 г. № 364-пп.

***Цель работы.*** Повышение эффективности составов сухих теплоизоляционных смесей для теплозащиты зданий и сооружений на основе композиционных вяжущих с применением органоминеральных добавок.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

-разработка составов и оптимизация процесса получения композиционных вяжущих;

-исследование влияния минеральной добавки - перлитового песка на свойства вяжущих, приготовленных в различных смесительных агрегатах;

-изучение первичного контакта при введении комплексных добавок в композиционное вяжущее;

-разработка составов сухих теплоизоляционных смесей на основе композиционного вяжущего, перлитового сырья и модифицирующих добавок с позиций физико-механических свойств, определение технологических и эксплуатационных свойств теплоизоляционных растворов на основе разработанных составов сухих смесей;

-исследование процесса смешения компонентов смеси и выбор рационального смесителя;

-изучение контактной зоны теплоизоляционного раствора на различных основаниях;

-опытно-промышленное апробирование разработанных теплоизоляционных составов, разработка нормативной документации на производство сухих теплоизоляционных смесей и рекомендаций по их использованию.

***Научная новизна работы.*** Предложены принципы повышения эффективности сухих теплоизоляционных смесей за счет оптимизации нано-, микро- и макроструктуры путем использования композиционных вяжущих, полученных при совместном помоле цемента, вспученного перлитового песка и пластификатора, в эффективном помольном аппарате, где за счет механоактивации компоненты смеси самоорганизуются и создают гомогенную пористую матрицу и условия для дальнейшего формирования оптимальных структур

теплоизоляционного композита, обеспечивающего высокие теплозащитные свойства разработанным теплоизоляционным растворам.

Выявлен характер влияния методов измельчения минерального компонента, тонкости помола и состава композиционных вяжущих на процессы структурообразования в условиях специфики твердения теплоизоляционных растворов. Показано, что при проектировании материала можно регулировать процессы связывания портлантида за счет введения различного количества минеральной составляющей, что приводит к оптимизации новообразований и к упрочнению структуры материала.

Установлено, что увеличение содержания перлита от 5 до 30% в вяжущих композициях, приготовленных в шаровой мельнице, приводит к значительному повышению нормальной густоты, что связано с особенностями внутреннего строения перлитового песка вследствие его термической обработки. При затворении водой перлитовых вяжущих композиций застекленевшие пузырьки (открытые поры) перлита абсорбируют молекулы воды, в результате чего резко увеличивается водопотребность вяжущих композиций, при продолжительности времени помола от 15 до 50 мин происходит деструкция минеральной добавки, что приводит к снижению нормальной густоты до 40...32%. Кроме того, за счет водоудерживающей способности частичек вспученного перлита создается внутренний резерв воды для последующей гидратации, особо необходимой, для условий специфики твердения теплоизоляционных растворов, которые находятся под открытым воздухом и испытывают внешние и внутренние нагрузки.

Установлена следующая последовательность ввода функциональных добавок «Esapon-Vinnapas» в композиционное вяжущее: первично введенный Esapon, равномерно распределяясь в объеме смеси, создает порообразный каркас, по поверхности которого распределяется сырьевая смесь; Vinnapas, введенный на втором этапе, равномерно распределяет и редиспергирует мельчайшие частицы смеси, покрывающие поры, тем самым, создавая дополнительные поверхности для последующей гидратации, что обеспечит повышение прочности в процессе твердения пористого композита. А пластифицирующая добавка, находясь в

композиционном вяжущем, придает пластичность всей системе, снижая водопотребность и повышая трещиностойкость образующихся прослоек.

Получены математические модели зависимостей предела прочности при сжатии и средней плотности от числа оборотов вертикального вала, коэффициента загрузки и времени смешения, позволяющие оптимизировать составы теплоизоляционных растворов на основе сухих теплоизоляционных смесей, технологический процесс их получения и эффективно им управлять, при этом, поддерживая на заданном уровне выходной параметр.

***Практическое значение работы.*** Разработаны композиционные вяжущие для приготовления сухих теплоизоляционных смесей на основе перлитового песка, и составы смесей, технологические параметры их приготовления, отличающиеся высокими теплотехническими свойствами, что позволит уменьшить толщину стеновых конструкций, обеспечит более высокую теплоизоляцию наружных стен и, тем самым, снизить энергозатраты на отопление.

Предложена технологическая схема получения композиционного вяжущего и сухих теплоизоляционных смесей на его основе, разработаны технологические регламенты на их изготовление, технические условия на продукцию и рекомендации по ее применению.

Практическую значимость результатов работы подтверждают дипломы с выставок, где представлялись образцы разработанных материалов: XXXVI Международной специализированной выставки «Строительство. Усадьба-2012. Энергосбережение. Инновационные технологии» (Украина,

Харьков,2012г.);Международной выставки «Малый и средний бизнес в деле возрождения России. Инновации. Инвестиции. Нанотехнологии» (Белгород, 2012г.); межрегиональных выставках, проводимых в «БелЭкспоСтрой» (Белгород, 2009-2013).

***Внедрение результатов исследований.*** Апробация производства разработанных составов в промышленных условиях осуществлялась на ЗАО «АППК Белсельхозинвест» (Белгород), испытания сухих теплоизоляционных смесей проводилось на строительных объектах

ООО «НТЦ Современные системы теплоснабжения» (Белгород), ООО «Строй- Контакт» (Белгород), ЗАО «АППК Белсельхозинвест» (Белгород), теплотехнические испытания проводили в лаборатории по энерго-обследованию и тепловому неразрушающему контролю ООО «Интеллект-Сервис-ЖБК-1».

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

* Технические условия «Композиционные вяжущие на основе перлитового песка» ТУ 5745-001-38948084-2013;
* Технические условия «Сухие теплоизоляционные смеси на основе композиционных вяжущих» ТУ 5745-002-38948084-2013;
* Технологический регламент производства «Композиционных вяжущих на основе перлитового песка» ТР 5745-003-38948084-2013;
* Технологический регламент производства «Сухих теплоизоляционных смесей на основе композиционных вяжущих» ТР 5745-004-38948084-2013;
* Рекомендации по применению сухих теплоизоляционных смесей.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты

экспериментальных лабораторных исследований используются в учебном процессе при подготовке магистров, обучающихся по направлению 270800.68 — «Строительство», что отражено в учебной программе дисциплины «Композиционные вяжущие вещества».

***Апробация работы.*** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на XI Международной научно- практической конференции «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» (Пенза, 2010 г.), Международной научно- практической конференции «Инновационные материалы и технологии» (XX Научные чтения, Белгород, 2011г.), X Международной научно-технической конференции «Материалы и технологии XXI века» (Пенза, 2012г.), IV Международного студенческого научного форума (Москва,2012г.), Международной научно-практической конференции «Геоника: - Проблемы строительного материаловедения; Энергосбережение; Экология» (Белгород,

2012г.), на XXXVI Международной специализированной выставке «Строительство. Усадьба-2012. Энергосбережение. Инновационные технологии» (Украина, Харьков,2012г.). Международной выставке «Малый и средний бизнес в деле возрождения России. Инновации. Инвестиции. Нанотехнологии» (Белгород, 2012г.) и в межрегиональных выставках «БелЭкспоСтрой» (Белгород, 2009-2013г.)

***Публикации.*** Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 10 научных публикациях, в том числе в 3 статьях в центральных рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Получено Ноу-хау № 20110018.

***На защиту выносятся:***

* механизм оптимизации при производстве сухих теплоизоляционных смесей за счет использования композиционного вяжущего, приготовленного на основе органоминеральных добавок;
* характер влияния методов измельчения минерального компонента, тонкости помола и состава композиционных вяжущих на процессы структурообразования в условиях специфики твердения теплоизоляционных растворов;
* особенности влияния различных дозировок перлита в вяжущих композициях, приготовленных в шаровой мельнице на изменение нормальной густоты и водоудерживающей способности минерального наполнителя;
* воздействие последовательности введения функциональных добавок в сухую теплоизоляционную смесь;
* закономерности изменения реологических и технологических свойств сухих теплоизоляционных смесей в зависимости от состава и физико- механических свойств компонентов сухой теплоизоляционной смеси;
* возможность повышения эффективности сухих теплоизоляционных смесей за счет оптимизации микро- и макроструктуры;
* технология производства композиционных вяжущих и сухих теплоизоляционных строительных смесей на их основе;

- показатели экономической эффективности разработки и результаты внедрения.

***Объем и структура работы.*** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав,

общих выводов, библиографического списка и приложений.

Работа изложена на 252 страницах текста, включающего 38 таблиц, 109 рисунков, списка литературы из 177 наименований, 9 приложений.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

1. Разработаны и экспериментально подтверждены принципы повышения эффективности сухих теплоизоляционных смесей за счет оптимизации нано-, микро- и макроструктуры путем использования композиционных вяжущих, полученных при совместном помоле цемента, вспученного перлитового песка и пластификатора, в эффективном помольном аппарате, где за счет механоактивации компоненты смеси самоорганизуются и создают гомогенную пористую структуру и условия для дальнейшего формирования оптимальных структур теплоизоляционного композита, обеспечивающего высокие теплозащитные свойства разработанным теплоизоляционным растворам.
2. Установлен характер влияния методов измельчения минерального компонента, тонкости помола и состава композиционных вяжущих на процессы структурообразования в условиях специфики твердения теплоизоляционных растворов. Показано, что при проектировании материала можно регулировать процессы связывания портлантида за счет введения различного количества минеральной составляющей, что приводит к оптимизации новообразований и к упрочнению структуры и долговечности материала.
3. Выявлены закономерности изменения реологических технологических свойств сухих теплоизоляционных смесей в зависимости от состава и физико­механических свойств компонентов сухой теплоизоляционной смеси.
4. Исследования поверхностей излома затвердевших вяжущих композиций с помощью растровой ионно-электронной микроскопии позволили выяснить характер микроструктур цементно-перлитовых композиций, полученных в различных помольных агрегатах и установить, что формирование микроструктуры и свойств цементных камней, приготовленных на композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах зависят от многих факторов: способа введения добавок в состав композиционного вяжущего, дозировки добавок, продолжительности помола, его дисперсности.
5. Установлено с помощью количественного рентгенофазового анализа, что композиционные вяжущие приготовленные в шаровой мельнице наиболее реакционноспособные, о чем свидетельствует пониженная весовая концентрация алита за весь наблюдаемый период гидратации, что объясняется пуццоланической и дополнительной механоактивацией минерального наполнителя перлитового песка.
6. Получены математические модели и их графические интерпретации в зависимости от предела прочности при сжатии и средней плотности от числа оборотов вертикального вала, коэффициента загрузки и времени смешения при приготовлении сухих теплоизоляционных смесей. Полученные модели позволяют оптимизировать составы теплоизоляционных смесей, технологический процесс их приготовления, а также эффективно им управлять, поддерживая на заданном уровне выходные параметры.
7. Разработаны составы композиционных вяжущих для сухих теплоизоляционных смесей на основе органоминеральных добавок, позволяющих при увеличении предела прочности при сжатии снизить расход цемента в теплоизоляционных растворах, позволяющих значительно снизить плотность последних.
8. Получены составы сухих теплоизоляционных смесей на основе вспученного перлитового песка М75, Ml50 и разработанных композиционных вяжущих, позволивших получить теплоизоляционные растворы с плотностями 295...315 кг/м3 (М75) и 269...302 кг/м3(М150) и показателями предела прочности при сжатии в пределах 1,73...0,87 МПа. Теплоизоляционные растворы на разработанных сухих теплоизоляционных смесях имеют показатели теплопроводности - 0,07(М75) и 0,06(М150) Вт/(м-°С).
9. Установлено, что теплоизоляционные растворы, нанесенные на разные основания имеют различную адгезию к основаниям, так тяжелый и легкий бетоны и керамический кирпич имеют примерно одинаковый показатель адгезии, а силикатный кирпич имеет показатель адгезии выше на 50 %, что объясняется сродством минералов силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора.

Микроструктура теплоизоляционного раствора на основании силикатного кирпича уже в возрасте 3 суток имеет очень плотную контактную зону, состоящую из цементно-перлитовых зерен и очень мелких пор между ними, крупные поры между основанием подложки силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора отсутствуют. При увеличении хЮООО и х20000 отчетливо видна сросшаяся контактная зона в столь раннем возрасте, на поверхности которой просматривается прорастание игольчатых спицеобразных кристаллов гидросиликатов кальция длиной 4—5 нм и диаметром 0,1 нм, что объясняется высоким сродством минералов силикатного кирпича и теплоизоляционного раствора.

Для широкомасштабного внедрения результатов научно-исследовательской работы был разработан пакет нормативных и технических документов: ТУ «Композиционные вяжущие на основе перлитового песка»; ТУ «Сухие теплоизоляционные смеси на основе композиционных вяжущих»; ТР «Композиционные вяжущие на основе перлитового песка»; ТР «Сухие теплоизоляционные смеси на основе композиционных вяжущих»; Рекомендации по применению сухих теплоизоляционных смесей.