

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и инновационной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», д.т.н., профессор



Александр Викторович
Федин

« 15 » октября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» на диссертационную работу Никишова Сергея Николаевича «Совершенствование технологии производства пеностекла при регулируемых режимах процессов термической обработки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

Строительные материалы и изделия, обладающие высокой пористостью и низкой теплопроводностью, а также малой средней плотностью, относятся к теплоизоляционным строительным материалам. Область их применения достаточно широка и охватывает как теплоизоляцию жилых и производственных зданий, так и поверхностей технологического оборудования, тепловых аппаратов и устройств. Базовый принцип, который определяет область их эксплуатации, состоит в минимизации теплового обмена между ограждающими элементами (конструкциями) и окружающей средой.

Широкое применение теплоизоляционные строительные материалы получили при возведении зданий и сооружений, что позволяет ощутимо снизить толщину и массу строительных конструкций, уменьшить затраты на другие материалы и, соответственно, понизить общую стоимость конструкции, уменьшить расход топлива в эксплуатационный период и т.д.

Для оборудования, применяемого в различных технологических циклах, теплоизоляционные материалы позволяют снизить их теплотери, обеспечить оптимальный режим температуры эксплуатации, а также сэкономить энергетические ресурсы и улучшить условия труда.

На фоне ужесточения требований к безопасности строительных материалов (Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») и энергоэффективности зданий (Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»), становится актуальной разработка негорючих долговечных теплоизоляционных материалов.

Актуальность темы диссертационной работы.

Наиболее эффективным теплоизоляционным материалом, который удовлетворяет требованиям по энергоэффективности и безопасности зданий и сооружений, является пеностекло – ячеистое стекло, обладающее совокупностью изоляционных и эксплуатационных свойств (долговечность, инертность к воздействию внешней среды и вредителей, полная пожарная безопасность и пр.). Основным недостатком пеностекла является его сравнительно высокая цена, обусловленная использованием в качестве основного сырья дефицитного боя стекла, а также наличием энергоемкой стадии высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси. Перед учеными и технологами появляется широкая область исследования в рамках которой необходимо разработать адаптированные математические модели, позволяющие моделировать процессы термической обработки в технологии пеностекла. Исходя из этого, работы, имеющие целью совершенствование процессов термообработки пеностекла являются весьма актуальными. Знание особенностей процессов нагрева, вспенивания и отжига пеностекольной шихты позволит регулировать качество материала, расход энергии и производственных площадей путем коррекции режимов термообработки и размеров технологического оборудования.

Цель диссертационной работы заключалась в повышении качества продукции и снижение энергозатрат при производстве блочного пеностекла путем совершенствования режимов термической обработки на основе математического моделирования процесса теплопереноса в сырьевой смеси.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследован процесс высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси, исходя из условий взаимовлияния физико-технических свойств материала.

2. Исследованы особенности технологии производства пеностекла с учетом различных способов и технологических приемов оптимизации процессов термической обработки материала.

3. Исследованы физические и физико-химические процессы, происходящих в пеностекле при термическом воздействии на его поверхности.

4. Разработана математическая модель теплопереноса в сырьевой смеси, учитывающая особенности распределения температурных полей на участках контакта «металлическая форма – сырьевая смесь».

5. Определены технологические параметры получения пеностекла на основе метода многокритериальной оптимизации с помощью математической модели зависимости свойств готового изделия от каждого фактора в отдельности и совместно.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 152 наименования, и 12 приложений. Основное содержание диссертации изложено на 142 страницах машинописного текста, включая 56 рисунков и 17 таблиц.

Во введении дано обоснование актуальности диссертации, отражена цель, раскрыта научная новизна, практическая значимость, основные публикации, результаты апробации и приведена структура диссертации.

В первой главе проведен обзор литературы, посвященный проблемам производства пеностекла. Проведен анализ современных технологий производства, а так же ранее проведенные исследования направленные на ее совершенствование. Рассмотрены основные преимущества и недостатки математических моделей совершенствования технологии пеностекла.

Во второй главе представлено описание характеристик исходных сырьевых материалов используемых для получения пеностекла при экспериментах.

Приведено описание применяемых в диссертационной работе методик проведения экспериментальных исследований физических свойств пеностекла по таким параметрам как плотность пеностекла, водопоглощение, влажность, предел прочности при сжатии и предел прочности на изгиб.

Описаны применяемые методики экспериментальных исследований теплофизических свойств пеностекла направленных на определение коэффициента теплопроводности пеностекла численными исследованиями и экспериментальными методами.

Так же приведено описание самого оборудования используемого для экспериментальных исследований и средства контроля, а именно аппаратное обеспечение для измерения показателей температуры блока

пеностекла и аппаратное обеспечение экспериментальной технологической установки для получения пеностекла. Представлены результаты по выбору и обоснованию плана проведения многофакторного эксперимента, определены функции отклика, исследуемые факторы и уровни их варьирования.

В третьей главе сформулированы физическая и математическая модели теплопереноса в сырьевой смеси, учитывающие особенности распределения температурных полей на участках контакта «металлическая форма – сырьевая смесь». Основу модели расчета температурных полей составили дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности параболического типа с начальными и граничными условиями. Показано, что соответствующая задача теплопроводности позволяет рассчитать оптимальный температурный режим в технологии пеностекла путем моделирования температурных полей в толще сырьевой смеси с учетом фазовых превращений в расплаве стекла и оценить влияние воздействия температуры на макрофизические свойства пеностекла.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования процесса самопроизвольного остывания блока пеностекла.

Приведены результаты проверки адекватности полученной математической модели термообработки пеностекла, которые показали хорошую сходимость результатов моделирования и практических измерений динамики показателей температуры в блоке пеностекла. Расчетные значения температур в точках контроля находились в области допустимых значений экспериментальных данных.

В пятой главе приведены результаты исследования динамика роста радиуса поры при высокотемпературной термической обработке пеностекла. Установлено, что радиус поры начинает равномерно расти при достижении в камере печи температур порядка 630 ± 10 °С. Вместе с тем, изменение температуры до значений, равных 730 ± 10 °С, способствует росту радиуса поры на показатели, равные $1 \cdot 10^{-4}$ м. При температурах выше значений 730 ± 10 °С начинается активация процесса оплавления частиц стекла, при этом концентрация и давление газообразователя становятся достаточными для того, чтобы преодолеть силы поверхностного натяжения, и радиус поры начинает расти. При достижении показателей температуры порядка 930 ± 10 °С радиус поры увеличивается до размеров $2 \div 2,5$ мм, после чего рост радиуса поры замедляется и в последующем останавливается.

Показано позитивное влияние периодического подвода тепловой энергии при термической обработке на процессы структурообразования в пеностекле под действием циклических тепловых воздействий. Газовая фаза, выделяемая газообразователем, при наступлении термической деструкции

равномерно формирует пористую структуру материала, в то же время силы поверхностного натяжения стеклянных стенок пор и высокая вязкость расплава стекла не дает выделившимся газам поступать в камеру печи, что способствует формированию равномерно распределенных пор по всему объему материала, а также повышает макрофизические показатели материала.

Описаны результаты по получению теплоизоляционного материала на основе измельченного листового стекла с плотностью – 190–340 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности – 0,061–0,099 Вт/(м·К).

Представлены экономические расчеты по определению эффективности предложенного автором способа циклического подвода тепла к сырьевой смеси пеностекла, по сравнению с актуальными технологиями термической обработки. Полученный экономический эффект, до 127,5 руб. с одного 1 м³ производимого пеностекла, обуславливается минимизацией затрат на энергоресурсы для циклов высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси за счет сокращения периодов подвода тепла к материалу.

В результате проведенных исследований автором диссертационной работы Никишовым Сергеем Николаевичем получены и сформулированы **новые научные результаты:**

1. Впервые показано позитивное влияние технологии циклического термического воздействия на процессы структурообразования в сырьевой смеси для получения пеностекла под действием высоких температур. Обоснованы рациональные режимы циклического термического воздействия на сырьевую смесь в допустимых временных интервалах для формирования пористой структуры конечного продукта.

2. Разработан принцип регулирования процесса структурообразования применительно к строительным материалам на основе пеностекла, основанный на моделировании процесса термической обработки сырьевой смеси на различных этапах технологического процесса. В соответствии с этим принципом разработаны математические модели основных стадий процесса термообработки:

а) модель нестационарного теплопереноса в слое сырьевой смеси для расчёта нестационарных температурных полей с учётом циклического изменения температурных условий в местах контакта металлической формы для вспенивания пеностекла с композитом сырьевой смеси на стадиях нагревания и охлаждения;

б) модель изменения порозности слоя сырьевой смеси и роста размеров пор, сопровождающаяся изменением теплофизических характеристик сырьевой смеси.

3. Проведено экспериментальное исследование процесса охлаждения блока пеностекла, на основе которого выявлено соответствие основных положений математического моделирования процессов теплопереноса в структуре пеностекла и результатов натурального эксперимента. Проведен анализ показателей температуры блока из пеностекла в рассматриваемых точках контроля, который свидетельствует о достаточной сходимости экспериментальных данных и результатов математического моделирования, что обосновывает адекватность разработанной математической модели реальному физическому процессу.

4. Формализован метод выбора критериев оптимальности в рамках построения оптимального технологического процесса получения пеностекла. В качестве основного критерия оптимальности принят показатель коэффициента теплопроводности материала. Дополнительным критерием оптимизации принят показатель плотности.

Практическая значимость представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Применение разработанной математической модели распределения температурных полей при циклической термической обработке сырьевой смеси позволяет на этапах, предшествующих вспениванию пеностекольной массы, исключить или уменьшить негативное проявление неравномерного прогрева смеси.

2. Разработанная математическая модель реализована в виде прикладной программы для ЭВМ и может быть использована как на предприятиях по производству пеностекла, так и в строительной и химической технологии.

3. В ходе работы определены основные технологические режимы, обеспечивающие создание изделий из пеностекла с высокими теплоизоляционными показателями (коэффициент теплопроводности 0,061–0,099 Вт/(м·К)) и низкой плотностью (190–340 кг/м³). Рассчитано, что экономическая эффективность предложенного способа циклического подвода тепла к сырьевой смеси, по сравнению с актуальными технологиями термической обработки, составит до 127,5 руб. с одного 1 м³ производимого пеностекла.

4. Результаты исследования связанные с совершенствованием и оптимизацией существующих режимов термической обработки сырьевой смеси при производстве теплоизоляционного материала из пеностекла и программы для ЭВМ, были использованы в АО «Компания «СТЭС-ВЛАДИМИР» (г. Владимир) и ООО «ГРАНГЛАС» (г. Рыбинск).

5. Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения

используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва и включены в программы преподавания.

Использование современного научно-исследовательского и технологического оборудования при выполнении данного исследования, а также проведение проверки адекватности теоретических положений экспериментальным данным изложенным в четвертой главе позволяет обоснованно судить о **достоверности полученных результатов** и сделанных на их основе выводах по всей работе.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии автора в теоретическом анализе существующих литературных источников, подготовке и анализе образцов, получении и обработке экспериментальных данных, творческом осмыслении результатов экспериментов и подготовке научных публикаций по результатам данной работы.

Автореферат отражает содержание диссертации. Основные результаты, положения и выводы диссертации изложены в публикациях и соответствуют содержанию диссертации.

Замечания по диссертации

Диссертация выполнена на достаточно высоком научно-методическом уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При анализе проработанности темы исследования достаточно глубоко рассмотрены работы российских ученых, но явно недостаточное внимание уделено работам зарубежных исследователей.

2. При проведении серии экспериментальных исследований по замеру температуры в разных точках блока из пеностекла, в качестве температуры поверхности принимались показания прибора, фиксируемые с помощью термопар, расположенных на глубине 2 см, но не дано пояснение относительно принятой глубины расположения точек контроля.

3. В диссертации приведена математическая модель теплопереноса в сырьевой смеси, учитывающей особенности распределения температурных полей в двухмерной системе координат, в то время как реальные процессы протекают в трехмерном пространстве, при этом обстоятельстве, не указаны какие допущения были приняты в модели и как они влияют в конечном итоге на точность расчетов.

4. В работе отражено положение о сокращении затрат на энергетические ресурсы в рамках реализации технологии циклического теплового воздействия на сырьевую смесь, но не представлены конкретные параметры экономической эффективности.

5. В диссертационной работе следовало указать программные коды для ЭВМ, разработанные автором.

6. После ряда уравнений нет описания обозначений физических величин, которые использовались в уравнениях 1.39, 1.40, 1.43, 1.52-1.55, 1.66-1.69. Для удобства восприятия информации желательно было предусмотреть отдельный лист, в котором даны сведения и пояснения всех принятых обозначений.

7. Качество некоторых иллюстраций, приведенных в диссертации (например, рис. 1.13) явно далеко от полиграфического. Надписи мелким шрифтом, при столь невысоком качестве самого рисунка расплывается и плохо читаемо.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, выполненную автором на достаточно высоком научном и методическом уровне. Результаты, полученные диссертантом и изложенные в работе, обладают научной новизной и имеют практическую значимость.

Изложенные авторами результаты исследования, целесообразно внедрять в прикладных программных пакетах для моделирования процессов термической обработки при производстве пеностекла. Автору рекомендуется продолжить работу, как по совершенствованию предложенной математической модели, так и по ее применению не только для технологии производства пеностекла, но и для других пористых материалов. Математическая модель может применяться в ООО «НЕФТЕЗОЛ», ООО «АйСиЭм Гласс Калуга», ООО «ХимФайер Инжинеринг» и др., а также в ряде научно-исследовательских организаций строительного профиля.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на высоком уровне. В ней содержится математическое описание процесса термической обработки сырьевой смеси и оптимизации технологии производства пеностекла, которое имеет важное значение для проектирования режимов термообработки на различных этапах процесса производства пеностекла.

Полученные автором выводы достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Никишов Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Отзыв на диссертацию утвержден на заседании кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) (протокол № 3 от «30» 09 2020 года).

Отзыв подготовила:

Зав. кафедрой

«Строительные конструкции» ВлГУ,

д.т.н., профессор



Светлана Ивановна
Рощина

Наименование организации в соответствии с уставом: Федеральное государственное бюджетное образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87. Тел.: +7 (4922) 47-98-04, 47-98-10, 47-76-63; e-mail: rsi3@mail.ru.