

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Баканова Максима Олеговича

«Теоретические и прикладные основы процессов высокотемпературной термической обработки и особенности технологии при производстве теплоизоляционного пеностекла»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

На оппонирование представлены:

Диссертационная работа Баканова М.О., изложенная на 330 страницах машинописного текста, содержащая 21 таблицу, 95 рисунков, 18 приложений и список литературы из 231 наименования отечественных и зарубежных изданий. Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и 18 приложений.

Автореферат, изложенный на 36 страницах.

Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность темы диссертации М.О. Баканова обусловлена недостаточной полнотой исследования процессов, происходящих на стадии термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла, а также формирования пористой системы материала. Следует отметить, что порошок способ производства пеностекла в настоящее время является наиболее распространенным при производстве теплоизоляционных блоков из пеностекла. Отсутствие рациональных механизмов регулирования процессов высокотемпературной термической обработки пеностекла влияет на всю технологию в целом.

Диссертация направлена на повышение уровня использования специалистами (строительной и химической индустрии) результатов

математического моделирования процесса высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла. Для этого, с одной стороны, автором решается задача построения понятной для практиков модели термической обработки пеностекла на различных ее стадиях. С другой стороны, важное место в диссертации занимает разработка методов, основанных на теории теплопроводности с применением метода «микропроцессов» академика С.В. Федосова, так как представленные методы занимают промежуточную позицию между моделями, оперирующими с бесконечно малыми промежутками времени термического воздействия на материал, и моделями, рассматривающими процесс термической обработки как одно целое, что позволит рассмотреть обе эти предельные ситуации.

Задачи нестационарной теплопроводности являются актуальными не только с точки зрения определения некоторых технологических параметров, но и с точки зрения процессов протекающих в различных аппаратах строительной технологии и производства.

Научная новизна, достоверность и обоснованность основных выводов

Научная новизна диссертационной работы Баканова Максима Олеговича заключается в следующем: выявлено, что на формирование структуры и свойств пеностекол в значительной степени оказывают влияние повышенная реакционная способность поверхности, которая проявляется как при спекании сырьевой смеси, так и при образовании собственно пористой структуры материала. Представлено, что структурные характеристики поверхности стекла отличается от стекла в массе. Раскрыты механизмы перемешивания компонентов газообразующей смеси, в том числе установлено, что можно использовать растворы веществ, повышающих смачиваемость газообразователя, что дает возможность равномерно распределить газообразователь в тонкодисперсной сырьевой смеси, а значит, позволяет создать необходимые условия для равномерного выделения газовой фазы по всему объему пеностекла.

Создана и апробирована математическая модель для расчета процессов высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла, отличающегося тем, что: совокупность процессов, входящих в цикл высокотемпературной термической обработки, представлена в модели в виде временных стадий, формализованных временными масштабами процессов формирования необходимой высокопористой структуры, что позволяет рассмотреть весь цикл термического воздействия как систему с учетом аддитивности временных параметров в зависимости от особенностей физических процессов теплопереноса и динамики формирования пористой структуры; в качестве основы для моделирования динамики расплава сырьевой смеси использовали уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье–Стокса) и уравнение неразрывности в сферических координатах, принимая во внимание, что скорость движения жидкости вокруг пузырька имеет только радиальную составляющую и вследствие сферической симметрии пор; учтено, что во время реализации высокотемпературной термической обработки значительное влияние оказывают показатели коэффициента динамической вязкости расплава сырьевой смеси, установлено, что с уменьшением вязкости на процесс роста поры существенное влияние оказывает внешнее давление в камере печи вспенивания.

Создана и апробирована математическая модель, описывающая процессы теплопереноса в результате воздействия высокой температуры на сырьевую смесь для получения пеностекла, а именно: разработана модель нестационарного теплопереноса в слое сырьевой смеси для расчета нестационарных температурных полей с учетом циклического изменения температурных условий в местах контакта металлической формы для вспенивания пеностекла с композитом сырьевой смеси на стадиях нагревания и охлаждения.

Разработан метод экспериментального исследования процесса охлаждения блока пеностекла, в основе которого выявлено соответствие

основных положений математического моделирования процессов теплопереноса в структуре пеностекла и результатов натурального эксперимента. Реализован 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.

На основе предложенного подхода разработаны нелинейные математические модели и средства их программной реализации, позволяющие осуществлять прогнозирование основных макрофизических параметров пеностекла и весь цикл высокотемпературной термической обработки: динамические процессы термического вспенивания стекольной шихты для управления пористостью пеностекла; моделирование и расчет температурных полей в твердых пористых теплоизоляционных материалах при различных условиях термической обработки; временные параметры вспенивания и отжига сырьевой смеси для получения пеностекла.

На основе полученных и известных экспериментальных данных предложен механизм верификации разработанных моделей процессов высокотемпературной термической обработки пеностекла.

Разработана математическая модель теплопереноса на стадии самопроизвольного остывания пеностекольного блока, которая позволяет провести исследование закономерностей распределения показателей температуры блока пеностекла, проведено исследование адекватности математической модели и доказана высокая сходимость результатов моделирования и экспериментальных измерений показателей температуры в заданных точках контроля.

Все это свидетельствует о высоком уровне проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований и достоверности полученных результатов.

Общая характеристика работы

Во **введении** автором обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, а также основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** автором выполнен аналитический обзор основных особенностей технологических подходов к производству пеностекла, рассмотрены основные этапы технологического процесса производства пеностекла, которые сгруппированы в циклы, объединенные общей задачей и функцией, показано, что на развитие пористой структуры пеностекла также влияет дисперсность газообразователя и качество его перемешивания, определены задачи исследования.

При разработке математического описания процесса термической обработки пеностекла автор предлагает рассмотреть весь процесс в виде временных стадий, которые характеризуются временем, за которое на каждой из микроэтапов будут достигнуты целевые параметры, а именно время первого микроэтапа процесса термической обработки характеризуется временными параметрами, при которых в процессе нагрева пеностекольной шихты будет достигнута температура достаточная для активации процесса термического разложения газообразователя. Время второго микроэтапа соответствует времени при котором будет сформирована оптимальная пористая структура пеностекла. Время третьего этапа соответствует времени остывания пеностекла. Таким образом, автором охвачены три основных микроэтапа всего процесса термической обработки пеностекла, которые подлежат моделированию и анализу.

Во **второй главе** автором представлена методика моделирования процесса теплопереноса при высокотемпературной термической обработке пеностекла в одномерной постановке задачи. Приведены общие положения математического моделирования процессов теплопереноса при термообработке пеностекла, сформулирована физическая и математическая

постановка задачи для расчета процессов теплопереноса при термообработке пеностекла (расчет одномерного поля температур). Что является первым этапом при разработке математической модели первого микроэтапа процесса высокотемпературной термической обработки.

В **третьей главе** представлены этапы разработки математической модели процесса теплопереноса при термообработке пеностекла в двумерной постановке задачи. Модель позволяет моделировать двумерные температурные поля, в ходе анализа которых появляется возможность прогнозировать необходимое время нагрева пеностекла до необходимой температуры термического разложения газообразователя.

В **четвертой главе** представлены результаты разработки математической модели динамики роста радиуса поры в структуре пеностекла. Рассмотрены феноменологические особенности теплопереноса в зависимости от пористости материала, проанализированы геометрические модели пространственного расположения пор в теплоизоляционных материалах.

Модель базируется на уравнении движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье–Стокса) и уравнении неразрывности в сферических координатах, так как скорость движения жидкости вокруг пузырька поры имеет только радиальную составляющую и вследствие сферической симметрии зависит только от r – расстояния от центра поры и t – времени процесса – $v=v(r,t)$.

Проведено исследование графических зависимостей, полученных в результате моделирования роста радиуса поры, показано, что ключевое влияние на время процесса роста радиуса оказывает скорость газообразования источника.

В **пятой главе** приведены основные положения по совершенствованию технологии получения пеностекла на основе теории графов с использованием методов сетевого моделирования.

Разработаны сетевые графики технологического процесса производства пеностекла с учетом применения моделирования процесса термической обработки пеностекла. Представлены функции распределения времени реализации исходного и модернизированного сетевого графика технологического процесса производства пеностекла.

В **шестой главе** приведены результаты моделирования третьего микроэтапа термообработки при самопроизвольном остывании пеностекла. Проведен анализ полученных моделей на адекватность реальному процессу на основе показаний термоэлектрических преобразователей.

В **заключении** приведены основные результаты работы, предложены основные направления дальнейших исследований.

Обоснованность основных результатов работы

Соискателем выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, что повышает уровень достоверности полученных результатов. Достоверность результатов работы обеспечивается проведением экспериментов с применением современного исследовательского оборудования с достаточной воспроизводимостью результатов, применением стандартных методик, обеспечивающих достаточную точность полученных результатов.

Замечания по диссертации

1. В диссертации проделана большая работа по моделированию процессов изготовления пеностекла, разработаны программы для ЭВМ. Следовало бы рассчитать весь процесс изготовления пеностекла и подтвердить параметры процесса экспериментально.
2. Пеностекло — это материал, который имеет физико-механические свойства. Процесс его получения — это производство материала с необходимыми свойствами. В связи с этим следовало бы рассчитать теоретически и подтвердить экспериментально, что для получения материала

с определенными свойствами необходимо выдерживать соответствующие технологические режимы изготовления, рассчитанные теоретически, а в процессе эксперимента их по необходимости корректировать.

Заключение о соответствии диссертации «Положению о присуждении ученых степеней»

По тематике, предмету, научной новизне и методам исследования диссертация Баканова Максима Олеговича соответствует паспорту специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство) в части формулы специальности – «Решение проблем данной области знаний требует научно-технического обоснования новых эффективных методов и технологий проектирования, создания и модернизации процессов, машин и агрегатов и их эксплуатации в различных отраслях промышленности» и области исследования специальности – «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов...»; «Разработка научных и методологических основ повышения производительности... процессов...».

В соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.) диссертационная работа Баканова Максима Олеговича оценивается как научно-квалификационная работа, в которой содержится решение задачи по формированию научных основ, методов расчетных и экспериментальных обоснований и технологий обеспечения процессов высокотемпературной термической обработки стеклокристаллических материалов на основе пеностекла с учетом феноменологического подхода и ключевых макрофизических параметров процесса и достижение не только нормативных, но и более высоких эксплуатационных показателей.

Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

По объему, новизне и значимости полученных результатов диссертационная работа Баканова Максима Олеговича на тему: «Теоретические и прикладные основы процессов высокотемпературной термической обработки и особенности технологии при производстве теплоизоляционного пеностекла» удовлетворяет требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Баканов Максим Олегович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Диссертационная работа и отзыв на диссертацию заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании кафедры «20» января 2022 года, протокол № 1.

Официальный оппонент
член-корреспондент РААСН,
доктор технических наук, профессор,
научная специальность 05.23.05 – Строительные
материалы и изделия, заведующий кафедрой
«Прикладная механика» ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва»
«20» января 2022 год

В.Д. Черкасов

430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68, ФГБОУ
ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва»

Тел.: +7-927-276-40-35

E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

