

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический
университет», д.т.н., профессор



Д.Ю. Муромцев
2022 г.

ОТЗЫВ ведущей организации

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» на диссертационную работу Баканова Максима Олеговича «Теоретические и прикладные основы процессов высокотемпературной термической обработки и особенности технологии при производстве теплоизоляционного пеностекла», представленную в диссертационный совет Д 212.355.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

Структура и объем работы

На отзыв ведущей организации представлены автореферат диссертации на 36 страницах и диссертация, состоящая из введения, шести глав, основных выводов и результатов по работе, списка использованных источников, состоящего из 231 наименования, и 18 приложений. Диссертационная работа изложена на 330 страницах машинописного текста, содержит 95 рисунков, 21 таблицу.

Актуальность темы

Как правило, к теплоизоляционным строительным материалам относят материалы и изделия, обладающие высокой пористостью и низкой теплопроводностью, а также малой средней плотностью. Область их применения достаточно широка и охватывает как теплоизоляцию жилых и производственных зданий, так и поверхностей технологического оборудования, тепловых агрегатов и устройств (печей, трубопроводов и пр.). Основопологающий принцип, определяющий область их эксплуатации, заключается в минимиза-

ции теплообмена между ограждающими элементами (конструкциями) и окружающей средой.

Пеностекло является перспективным теплоизоляционным материалом, который нашел широкое применение в тепловой изоляции зданий и сооружений, а также технологического оборудования и установок. Технология производства пеностекла является энергозатратной, что непосредственно влияет на себестоимость готовой продукции. Наиболее сложной и определяющей стадией является стадия термической обработки материала, в результате которой сырьевая смесь при нагреве вспенивается и активируется процесс термического разложения газообразователя, после чего происходит формирование пористой структуры материала и его дальнейший отжиг.

Процессы термической обработки пеностекла исследованы в различных работах как советских, так и зарубежных ученых. Однако недостаточное внимание уделено моделированию процесса термической обработки пеностекла, учитывающему изменения технологических параметров оборудования или вероятность выхода режимных характеристик за границу исследованного диапазона. Поэтому разработка математических моделей, способных прогнозировать конечные свойства готовой продукции из пеностекла и учитывающие физико-химические особенности процесса формирования пористой структуры материала является актуальной задачей. В связи с этим актуальность диссертационной работы Баканова Максима Олеговича, посвященная разработке методологических принципов организации и реализации процесса высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла, не вызывает сомнений.

Научная новизна полученных результатов

Разработаны методологические основы моделирования и расчета процессов высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла, включающие:

- совокупность процессов высокотемпературной термической обработки представлена в виде временных стадий, что позволяет учитывать измене-

ние теплофизических характеристик и динамику формирования пористой структуры;

- моделирование динамики расплава сырьевой смеси проведено на основе 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;

- установлено, что с уменьшением вязкости смеси на процесс роста поры существенное влияние оказывает внешнее давление в камере печи вспенивания.

Разработана математическая модель нестационарного теплопереноса в слое сырьевой смеси с учетом циклического изменения температуры в местах контакта металлической формы для вспенивания пеностекла с композицией сырьевой смеси на стадиях нагревания и охлаждения.

На основе предложенного подхода разработаны математические модели и средства их программной реализации, позволяющие осуществлять прогнозирование основных технологических параметров производства пеностекла при высокотемпературной термической обработке:

- 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;

- расчет времени вспенивания и отжига сырьевой смеси для получения пеностекла.

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

Разработана математическая модель теплопереноса на стадии самопроизвольного остывания пеностекольного блока, проверена адекватность

математической модели и доказана высокая сходимость результатов моделирования и экспериментальных данных.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке методов расчета режимных параметров и соответствующих программ для ЭВМ, которые могут быть использованы как для расчета и проектирования нового оборудования, так и для разработки проектов модернизации действующего оборудования. Практическое применение результаты работы нашли на промышленных предприятиях, в том числе ООО «АТА-дефи», ЗАО «Сланцевский Завод Стальных Конструкций», ООО «Снабарматура СПб», ООО «Абада Групп», и использование в учебном процессе подтверждено соответствующими актами.

Структура и содержание работы

Во введении представлена степень разработанности и обоснована актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи диссертационной работы, определена предметно-объектная область исследований, показана научная новизна, практическая значимость результатов работы, достоверность результатов, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ состояния науки и практики в области технологии производства пеностекла, рассмотрены особенности получения, виды и области применения ячеистого стекла, проведен анализ проблем в области моделирования теплоизоляционных характеристик.

Показана актуальность порошкового метода получения пеностекла и его преимущества перед другими способами.

Выполнен анализ количественных и качественных параметров основных компонентов сырьевой смеси для получения пеностекла. Показано, что при образовании пеностекла решающую роль играет большая удельная поверхность сырьевой смеси. Описана структура поверхности стекла. Выявлено, что очевидным следствием структурных изменений поверхности стекла является повышенная реакционная способность поверхности, которая прояв-

ляется как при спекании сырьевой смеси, так и при образовании пористой структуры материала.

Сделан вывод о многофакторности взаимного влияния физико-химических показателей компонентов, входящих в состав сырьевой смеси для получения пеностекла, технологических параметров процесса высокотемпературной обработки, а также кинетики процесса термического разложения газообразователя.

Отмечено, что для разработки математической модели, описывающей процесс термической обработки пеностекла, необходимо его представить как совокупность трех временных стадий: первая стадия необходима для нагрева пеностекольной шихты до температуры разложения газообразователя, вторая стадия соответствует формированию поры размером R (c), третья стадия соответствует времени остывания пеностекольного блока.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процесса теплопереноса при термической обработке пеностекла в одномерной постановке задачи. Сформулированы физическая и математическая постановка задачи для расчета процессов теплопереноса.

Теплоперенос описывается дифференциальными уравнениями параболического типа в частных производных. Решение краевой задачи теплопроводности выполнено с использованием интегральных преобразований Лапласа.

Проведено численное моделирование процесса термической обработки при температурах от 20 до 750 °С с учетом термического диапазона начала разложения газообразователя.

В третьей главе разработана математическая модель процесса теплопереноса при термической обработке пеностекла в двумерной постановке задачи.

Сформулированы физическая и математическая постановка задачи теплопереноса. Показан циклический характер изменения температуры (началь-

ные условия). Решение задачи теплопереноса получено с применением метода «микропроцессов» (или зонального метода).

Приведены результаты численных расчетов нестационарных полей температуры в объеме сырьевой смеси для производства пеностекла.

В четвертой главе рассмотрены феноменологические особенности теплопереноса в зависимости от пористости материала, представлены геометрические модели пространственного расположения пор в теплоизоляционных материалах. Приведено моделирование процесса формирования пористой структуры в объеме сырьевой смеси для получения пеностекла.

Для описания процесса формирования пористой структуры в области высоких температур используется уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье–Стокса) и уравнение неразрывности с учетом того, что скорость движения жидкости вокруг пузырька имеет только радиальную составляющую).

В пятой главе рассмотрены вопросы совершенствования технологии получения пеностекла на основе теории графов с использованием методов сетевого моделирования. Разработаны рабочий и модернизированный сетевые графики технологического производства пеностекла. Приведены функции распределения времени реализации исходного и модернизированного сетевого графика технологического процесса производства пеностекла, а также интегральная функция распределения времени выполнения цикла в границах технологического процесса производства пеностекла.

Показано, что время реализации технологического процесса снижается более чем на 10 %. Для качественной оценки автор использовал D функцию Харрингтона. Значение интегрального показателя эффективности технологического процесса производства пеностекла с учетом использования на этапе планирования математического моделирования технологических параметров процессов термической обработки получено равным 0,64, что соответствует уровню «хорошо» по шкале D функции Харрингтона.

В шестой главе представлены результаты моделирования процесса теплопереноса при самопроизвольном остывании пеностекла. Выполнена проверка адекватности математической модели теплопереноса путем сопоставления экспериментальных и расчетных данных.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций

подтверждается применением фундаментальных положений теории теплопереноса, методов математического и физического моделирования, проведением экспериментальных исследований с использованием стандартных методов и средств измерений, удовлетворительным совпадением полученных расчетных и экспериментальных данных.

Рекомендации по практическому применению результатов работы

Результаты диссертационной работы Баканова М.О. могут быть использованы в инженерной практике при проектировании и модернизации технологических линий по производству пеностекла, на предприятиях и в организациях, разрабатывающих и изготавливающих теплоизоляционные материалы, в том числе при разработке композитов для создания комфортной среды обитания человека.

Замечания по диссертационной работе

1. Во второй главе (стр. 12 автореферата, стр. 69 диссертации) указано, что исходная смесь представляет собой «хаотическую структуру». Насколько обосновано принятое допущение об «упорядоченности структуры»?

2. Для расчета температуропроводности пеностекла используется зависимость (формула 13, стр. 14 автореферата, формула 2.45, стр. 85 диссертации), при этом не указано, для каких условий зависимость была получена.

3. Требуется пояснений, каким образом решение двумерной задачи теплопроводности можно применить для определения температурного поля в объеме смеси (глава 3, стр. 18 автореферата, стр. 108 диссертации)?

4. При обосновании допущений (раздел 4.4.2) принимается плотность распределения пор на единицу объема равная 132 поры на см^3 . Чем подтверждается эта величина?

5. Из данных таблиц 5.1 и 5.2 (стр. 221, 223 диссертации) не ясно, за счет чего получено существенное сокращение времени операций. Каким образом данные главы 5 связаны с результатами, полученными в главах 2 - 4?

6. В практической значимости работы указан экономический эффект. Однако в тексте диссертации и материалах по практической реализации результатов работы не приведено экономическое обоснование.

7. В работе не приведено описание экспериментальной установки, плана и методики проведения экспериментов. Так, в шестой главе указано, что температура замерялась с помощью термоэлектрических преобразователей (термопар), расположенных на глубине 20 мм. Чем объясняется выбор места расположения термопар?

8. Что автор имеет в виду, неоднократно используя в тексте диссертации и автореферата термины «показатель температуры», «параметры температуры»? Как они соотносятся с физической температурой? То же самое можно отнести к «временным параметрам».

Однако сделанные замечания и отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на ее общую положительную оценку.

Заключение

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 51 научной публикации, в том числе в 15 статьях в журналах, рекомендованном ВАК, 5 статьях в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus, получены 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа соответствует паспорту специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы» 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»; в части области исследования: «Разработка научных и мето-

дологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов...»; «Разработка научных и методологических основ повышения производительности... процессов...».

Диссертация Баканова Максима Олеговича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой разработаны методологические основы моделирования и расчета процессов высокотемпературной термической обработки при производстве теплоизоляционного пеностекла, на основе которых изложены новые научно обоснованные технологические решения, что вносит значительный вклад в развитие строительной отрасли страны, полностью отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», протокол № 1 от «15» января 2022 года.

Зав. кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,
доктор технических наук, профессор
Гатапова Наталья Цибиковна
(специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты
химических технологий)

Tamant



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».
Адрес 392000, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Советская, д.106
Телефон: +7 (4752) 63-10-19
E-mail: tstu@admin.tstu.ru