

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию М.О. Баканова
«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)**

Актуальность темы диссертации

Технология получения пеностекла характеризуется многочисленными технологическими операциями, часто сопровождающиеся нежелательными побочными факторами. Поэтому при разработке, анализе и внедрении перспективных технологий требуется проводить широкий комплекс физико-химических и физико-технических исследований для получения желаемых результатов.

Главным фактором, который определяет изменения в структуре пеностекла, является температурно-временной режим нагрева, вспенивания и выдержки материала, который также называется режимом высокотемпературной термической обработки. В рамках процесса высокотемпературной термической обработки сырьевой смеси для получения пеностекла происходят интенсивные структурные превращения от размягчения до стеклообразного состояния материала. Необходимость развития теории на этом участке обуславливается как факторами разработки и совершенствования методологии исследования технологии пеностекла, так и снижением стоимости производства единицы готовой продукции. Следует отметить, что моделирование процессов тепломассопереноса в результате воздействия высокой температуры на материал играет важную корректирующую роль.

При разработке и совершенствовании технологии производства пеностекла с учетом особенностей высокотемпературной обработки и временных параметров его получения исследователи работают в двух основных направлениях. Первое заключается в экспериментальном определении возможных составов сырьевых смесей для получения пеностекла и режимов термообработки методом корректировки количественных показателей составов сырьевой смеси. Второе направление исследований базируется на разработке теоретических и численных методов моделирования теплофизических процессов, происходящих при получении пеностекла. Второе направление представляется наиболее перспективным в части исследования технологии получения пеностекла, так как позволяет раскрыть закономерности формирования структуры материала, учесть внешние и внутренние факторы, способствующие оптимизации процесса его получения. Однако стоит отметить, что без результатов, полученных исследователями, применяющими в своих работах первый экспериментальный подход, было бы практически невозможно развитие теоретических основ, поэтому необходимо, чтобы теория и практика были в симбиозе и дополняли, а также подтверждали полученные результаты.

Исходя из вышеизложенного, безусловно, прослеживается потребность в разработке математических инструментов способных прогнозировать и корректировать процессы высокотемпературной термической обработки для целей регулирования потребительских свойств готовой продукции и проектирования, совершенствования аппаратного обеспечения технологического процесса в целом.

Оценка содержания диссертации, новизны, достоверности и обоснованности выводов и рекомендаций

В первой главе выполнен достаточно подробный обзор технологических подходов по производству пеностекла, особенностям получения, видам и области применения ячеистого стекла, проведен анализ проблем в области моделирования теплоизоляционных характеристик.

Сформулирована цель диссертационного исследования и задачи для ее достижения, разработана структурно-логическая схема исследования.

Порошковый метод производства пеностекла представлен автором наиболее перспективным и взят за основу в качестве объекта моделирования в части процесса высокотемпературной термической обработки. Автор указывает, что дисперсность газообразователя и качество его перемешивания значительно влияет на формируемые в процессе воздействия высоких температур теплофизических свойств материала.

В качестве основных требований к химическому составу стекла отнесены его кристаллизационные и вязкостные характеристики.

Предлагается формализовать процесс термической обработки временными параметрами отдельных его этапов, а именно этап нагрева сырьевой смеси до температуры разложения газообразователя, этап формирования пор и этап остывания. Основная задача, которую автор предлагает к решению заключается в разработке математических моделей, которые адекватно смогут описать физико-химические и тепловые процессы, протекающие на каждом этапе отдельно и в дальнейшем интерпретировать полученные данные относительно реального процесса тем самым математически описав весь процесс термической обработки в целом.

Во второй главе автор разрабатывает математическую модель процесса теплопереноса при термической обработке пеностекла в одномерной постановке задачи. Приведены общие положения математического моделирования процессов теплопереноса при термической обработке пеностекла, сформулирована физическая и математическая постановка задачи для расчета процессов теплопереноса при ВТО пеностекла (расчет одномерного поля температур). Показано, что сырьевая смесь для получения пеностекла, засыпанная в форму, представляет собой хаотическую структуру, поэтому для математического описания необходимо представить ее как упорядоченную.

Решение краевой задачи теплопроводности выполнялось методом интегрального преобразования Лапласа. Автор приводит результаты численного моделирования процесса термической обработки и уточняет, что значения температуропроводности изменяются в результате повышения температуры и производит расчет каждые 20 минут.

Указано, что одномерная модель недостаточна для адекватного описания температурных полей и полей в объеме пеностекла и потребуется ее дальнейшее развитие в целях достижения конечного результата, который приведен в третьей главе.

Третья глава посвящена разработке математической модели процесса теплопереноса при термической обработке пеностекла в двумерной постановке задачи. Приведены базовые положения математического моделирования процессов теплопереноса при термической обработке пеностекла, сформулирована физическая и математическая постановка задачи для расчета процессов теплопереноса при термообработке пеностекла (расчет двумерного поля температур). Ни один из существующих методов решения краевых задач математической физики не позволяет получить аналитические решения задач теплопереноса для такого вида начальных условий. И только применение метода «микропроцессов» (зонального метода) дает возможность получить необходимые расчетные выражения.

С учетом полной геометрии формы для вспенивания автор вносит необходимые изменения в математическую формулировку задачи, а именно необходимость учета явлений переноса тепла по двум направлениям координат x и y .

Таким образом, первый этап процесса термообработки при нагреве сырьевой смеси для получения пеностекла до температуры термического разложения газообразователя формализован и смоделирован.

В четвертой главе рассматриваются феноменологические особенности теплопереноса в зависимости от пористости материала, приведен анализ геометрических моделей расположения пор в пространстве. Разработана

физическая и математическая постановка задачи для моделирования процесса формирования пористой структуры в объеме сырьевой смеси для получения пеностекла.

Автор переходит к формализации и моделированию второго этапа формирования пористой структуры пеностекла (вспенивание). Математическая модель должна позволять рассчитать время формирования поры размера R . Задача состоит в том, чтобы найти зависимость изменения радиуса поры от времени, тогда появляется возможность рассчитывать время необходимое для формирования пор необходимого радиуса.

Вводится функция роста радиуса поры $R(t)$. Характеристики расплава оцениваются по показателям плотности и коэффициента динамической вязкости. Вводятся параметры источника газообразования, к которым отнесена интенсивность газообразования.

Математическая модель разработана на основе уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье–Стокса) и уравнение неразрывности в сферических координатах.

Предложенные графические зависимости для различных значений активности источника газообразования демонстрируют ключевой вклад на продолжительность процесса порообразования скорости газообразования источника, то есть чем больше интенсивность, тем быстрее формируется пора заданного радиуса.

В пятой главе рассмотрены позиции, посвященные совершенствованию технологии получения пеностекла на основе теории графов с использованием методов сетевого планирования. Представлены рабочий и модернизированный сетевые графики технологического производства пеностекла. Получены зависимости функции распределения времени реализации рабочего и модернизированного сетевого графика технологического процесса производства пеностекла, а также рассмотрена интегральная функция распределения времени выполнения цикла в границах технологического процесса.

На основании полученных данных автором сделан вывод о том, что время реализации технологического процесса снижается более чем на 10 % процентов, что в рамках производства может снизить себестоимость готовой продукции за счет уменьшения издержек на энергетические ресурсы. Данная процентная характеристика является количественным критерием повышения эффективности технологического процесса по времени. Для качественной оценки применялась D функция Харингтнота. Интегральный показатель эффективности технологического процесса производства пеностекла с учетом использования на этапе планирования технологии математического моделирования макрофизических параметров процессов термической обработки пеностекла составляет значение 0,64, что соответствует уровню «хорошо» по шкале D функции Харрингтона.

Шестая глава посвящена моделированию процесса теплопереноса в рассматриваемых точках контроля пеностекла при самопроизвольном остывании (τ_3). Выполнено исследование адекватности математической модели теплопереноса при высокотемпературной термической обработке пеностекла.

Блок пеностекла был снят с конвейера на стадии извлечения блоков из форм (станция извлечения) и размещен на поддоне (на воздухе). Рассматривалось изменение температуры в точках контроля №1 и №2 соответственно центр и поверхность пеностекольного блока, так как их расположение может дать максимально близкое описание особенностей изменения показателей температуры на границе взаимодействия блока, а именно поверхность его граней и центр материала.

Приведены этапы исследования моделей на адекватность, которые включали в себя подготовительный, основной и заключительный этапы. В рамках подготовительного этапа проводилась оценка степени валидации модели, функциональных зависимостей с результатами экспериментального исследования на основе коэффициента детерминации Пирсона.

На основном этапе проводилась оценка доверительных интервалов экспериментальных данных и обсуждение схождения результатов аналитического расчета с результатами экспериментальных данных. Заключительный этап включал в себя комплексную оценку адекватности математической модели, приведены результаты подготовительного и основного этапов. Комплексная оценка адекватности модели проведена на основе обработки экспериментальных данных с использованием критерия Пирсона и критерия Стьюдента с учетом разброса данных относительно центра.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования, совпадением результатов расчета макрофизических параметров сырьевой смеси и экспериментальных данных, сопоставлением полученных результатов с опубликованными результатами исследований других авторов, проведением экспериментальных исследований в условиях промышленной эксплуатации с использованием стандартизованных методов и средств измерения параметров.

Замечания по диссертации

1. в диссертации, автореферате и в ряде статей соискателя рассматривается решение краевой задачи теплопроводности на основе преобразования Лапласа. Это требует существенных вычислительных затрат при выполнении выкладок вручную. При многочисленных повторяющихся расчетах и применении справочника по операционному исчислению это ведет к многочисленным ошибкам и как правило к неправильной интерпретации полученных результатов. Рассматривал ли автор средства решения подобных вычислительных проблем особенно важных при внедрении результатов диссертации в работу инженеров-технологов?

2. в апробации результатов работы можно было бы указать программные комплексы для ЭВМ, разработанные в соавторстве и зарегистрированные в соответствии с законодательством РФ.

3. из диссертационного исследования не ясно, можно ли применять разработанные математические модели для моделирования режимов термообработки других строительных материалов?

4. в разработанных математических моделях явно не просматривается взаимосвязь приведенных физико-химических и тепловых процессов с требованиями, которые предъявляются к технологическим параметрам оборудования и аппаратурного обеспечения (например, туннельная печь для вспенивания, печи для отжига и т.п.).

Несмотря на сделанные замечания, а также дискуссионные моменты, отмеченные в отзыве, считаю, что в конечном итоге они не оказывают значительного влияния на положительную оценку работы.

Основные положения диссертации полностью отражены в публикациях автора, в том числе, в 15 работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень, определенный ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 5 работах, входящих в научные издания международных реферативных баз данных и систем цитирования Scopus и Web of Science, также получено 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и одной базы данных и монографии.

Заключение по диссертации

Диссертация Баканова М.О. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные подходы к моделированию и технологическому проектированию процессов высокотемпературной термической обработки, имеющие существенное значение для экономики строительной и смежных отраслей. Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, которым должна отвечать диссертационная работа на

соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.02.13 – машины, агрегаты и процессы (строительство).

Официальный оппонент,
профессор, доктор технических наук,
научная специальность 05.02.13 – машины, агрегаты
и процессы (строительство), заведующий кафедрой
«Механическое оборудование»

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»,

Телефон: 8 (4722)55-06-02

E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

Василий Степанович Богданов

Подпись Богданова Василия Степановича заверяю

Проректор по научной и инновационной
деятельности БГТУ им. В.Г. Шухова

доктор педагогических наук,
профессор



Давыденко Татьяна Михайловна

Адрес федерального, государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г.Шухова):
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.