ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Мансура Губрана Али Мохаммеда «Автоматизированная система моделирования и оптимизации технологического процесса отжига сортовых стеклоизделий»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Актуальность темы исследований

Стекло – один из самых древних материалов, производство которых освоил человек. Из него создается огромное количество вещей, без которых нельзя представить современную жизнь. Одной из стадий технологического процесса производства стекла является его охлаждение, после чего оно становится хрупким. При этом стекло может разрушаться из-за значительных термоупругих напряжений, неравномерного остывания поверхностных и внутренних слоев. Поэтому важным этапом технологического процесса производства стеклоизделий является их отжиг – дополнительная термическая обработка изделий в печах отжига, необходимая для уменьшения остаточных напряжений в стекле до значений, гарантирующих сохранность изделий в процессе дальнейшей обработки и эксплуатации.

Существующие теоретические разработки построены для симметрично охлаждаемых стеклянных пластин, т.е. не учитывают геометрические формы изделия, не учитывают тепловое взаимодействие между изделиями, установленными на транспортной сетке печи отжига и влияние формы изделия на характер полей температур и напряжений. Не учитывалась зависимость свойств стекла от температуры, несимметричность условий конвективно-радиационного теплообмена, дилатометрические, вязкостные и температурные зависимости исследуемых стекол.

Данная диссертационная работа посвящена решению актуальной научной и практической задачи разработки автоматизированной информационно-советующей системы (программного комплекса) для расчета оптимальных параметров регулирования технологическим процессом отжига сортового стекла. В работе предложен подход, связанный с расчетом режима отжига для данного конкретного стекла, который перенастраивается при

изменении химического состава, геометрических размеров и ассортимента изделий.

При разработке математических моделей температурного поля в стеклоизделиях цилиндрической формы автор предложил использовать метод конечных элементов, позволяющий учесть сложную геометрическую форму изделий и взаимный радиационный теплообмен между их поверхностями. В результате анализа технологического процесса отжига диссертант показал, что для решения задачи определения оптимального режима необходимо осуществить ее декомпозицию и предварительно решить задачи моделирования физико-химических свойств стекла и распределений температур и напряжений в нем.

В связи с вышеизложенным тематика диссертационной работы Мансура Г.А., посвященной разработке моделей, алгоритмов и программ для оптимизации процесса отжига сортовых стеклоизделий по уровню остаточных напряжений, является актуальной.

Структура, объем и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения. Работа изложена на 124 страницах, включает 38 рисунков и 11 таблиц. Список литературы содержит 151 наименование. В приложении приведен акт опытно-промышленных испытаний системы.

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулированы объект, предмет, методы, цель и задачи исследования, произведён анализ существующих моделей рассматриваемого технологического процесса и намечены пути для решения задач идентификации параметров и оптимизации режимов отжига. Дана характеристика научной новизны и практической ценности работы, представлены сведения по апробации результатов работы и публикациям.

В первой главе изложены основы технологического процесса отжига стеклоизделий, рассмотрены недостатки существующих подходов к моделированию тепловых и релаксационных процессов в сортовом стекле. Предложена структура программного комплекса для оптимизации режимов отжига сортовых стеклоизделий с учетом температурных зависимостей физико-химических и вязкостных свойств стекла, асимметричности условий конвективно-радиационного теплообмена, необходимости расчетов в

доотжиговый период и идентификации параметров теплообмена, сформулирована постановка задачи оптимизации. Произведен расчет физико-химических, дилатометрических и релаксационных свойств для сортового стекла, производимого на заводе «Индустрия».

Во второй главе рассмотрены численные методы расчета несимметричного конвективно-радиационного теплообмена в цилиндрических телах в среде Matlab. В работе обоснована необходимость использования метода конечных элементов для получения моделей температурного поля в сортовых стеклоизделиях. Разработанные в работе модели температурного поля в среде Matlab применены для решения задачи идентификации параметров конвективно-радиационного теплообмена при отжиге сортового стекла. Продемонстрированы адекватность полученных результатов, хорошее совпадение рассчитанных и экспериментальных значений температур изделия.

Третья глава посвящена разработке математических моделей структурной релаксации в сортовом стекле. Показана необходимость начала расчета релаксационных процессов с периода формования, когда стекло находится в равновесном состоянии. Расчет напряжений в сортовых стеклоизделиях производится путем их разбиения на несколько расчетных тел и рассмотрения двухмерной задачи. Предложена методика расчета и произведено моделирование оптимального по остаточным напряжениям режима отжига стаканов.

В четвёртой главе технологический процесс отжига рассмотрен как объект управления, проанализированы входные и выходные величины, управляющие и возмущающие воздействия. Предложена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом отжига. Рассмотрен пример работы программного комплекса для расчета оптимального режима отжига колб на Клинском АО «Медстекло».

В заключении содержатся основные выводы и результаты диссертационного исследования.

В приложении приведен акт опытно-промышленных испытаний разработанной автоматизированной системы, демонстрирующий ее работоспособность.

Научная новизна работы заключается в следующем.

Разработана математическая модель температурного поля при отжиге сортовых стеклоизделий с применением метода конечных элементов в среде Matlab.

Предложена методика расчета оптимального по уровню остаточных напряжений режима отжига сортового стекла, обеспечивающая заданный уровень остаточных напряжений в стеклоизделии.

Разработан программный комплекс в среде Matlab для автоматизированного расчета и оптимизации режимов отжига сортовых стеклоизделий с учетом параметров конвективно-радиационного теплообмена.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается разработкой и программной реализацией автоматизированной системы моделирования и оптимизации режимов отжига сортовых стеклоизделий, а также применением разработанных структуры системы, методик и алгоритмов для решения задачи определения оптимального по остаточным напряжениям режима отжига на стекольных заводах «Индустрия» и «Медстекло». Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Автоматизация технологических процессов» Тверского государственного технического университета.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы обеспечивается адекватным применением методов анализа систем управления, теории теплообмена и температурных напряжений, математического моделирования, теории алгоритмов, численной оптимизации. Положения диссертации и полученные автором результаты прошли апробацию на российских и международных научных и научно-практических конференциях. Результаты диссертации представлены в 7 публикациях, в том числе в 3 статьях в рецензируемых журналах ВАК и 1 статье в издании, индексируемом в SCOPUS.

Замечания по диссертационной работе

1. Для более точного определения релаксационных постоянных нужно при определении экспериментальной зависимости относительного удлинения стекла использовать дилатометры с малым измерительным усилием.

2. Для повышения точности расчета релаксации структуры и напряжений в стекле желательно знание экспериментальной зависимости вязкости от температуры.

3. Не понятно, как при определении оптимальной кривой отжига учитываются технологические ограничения на максимальные скорости нагрева и охлаждения стекла.

4. Отсутствует оценка повышения точности расчетов за счет учета несимметричных условий конвективно-радиационного теплообмена и сложной формы изделия.

5. Не продемонстрирована работа компенсатора возмущений в разработанной автоматизированной системе и не охарактеризованы отличия применяемых в нем моделей от базовых.

6. В своей работе диссертант постоянно ссылается на программный комплекс – автоматизированную систему расчета отжига стеклоизделий цилиндрической формы «АСРЦ», однако, среди заявленных в приоритете публикаций этой программы нет.

7. Для более точного понимания изложенного графического материала было бы правильно на рисунках, полученных в результате моделирования в среде Matlab, проставить обозначения осей на представленных графиках (например, рис. 2.7, 3.2, 3.4, 3.7, 4.11, 4.13).

8. В 3 главе приведено моделирование процесса отжига сортовых стеклоизделий, однако не представлена оценка адекватности модели и точности в процентном соотношении полученных результатов.

9. В 4 главе приведена структурная схема системы управления отжигом стеклоизделий, однако отсутствуют графики переходного процесса работы данной схемы, не представлена передаточная функция объекта управления, нет оценки работы регулятора.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку работы Мансура Губрана Али Мохаммеда.

Заключение

Диссертационная работа Мансура Г.А. «Автоматизированная система моделирования и оптимизации технологического процесса отжига сортовых стеклоизделий» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, соответствует паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими

процессами и производствами (технические науки). Решенная в работе задача, имеет важное значение для создания автоматизированных систем управления технологическим процессом отжига сортового стекла. Содержание автореферата соответствует диссертационной работе, а разработанные методы, алгоритмы и программы имеют научное и прикладное значение.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней» ВАК РФ, а её автор, Мансур Губран Али Мохаммед, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент:
профессор кафедры «Электротехника и электрооборудование» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», доктор технических наук, доцент

Д.М. Шпрехер
«09» 11 2021 г.

Шпрехер Дмитрий Маркович
Почтовый адрес: 300012,
г. Тула, пр. Ленина, 92
Телефон: +7 (910) 556-00-25
e-mail: shpreher-d@yandex.ru

Подпись профессора ДМ заверяю
Ученый секретарь [illegible] /Н.И. Лосева/.