

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
цифровому развитию ФГБОУ ВО
«Владимирский государственный
университет им.

А.Г. и Н.Г. Столетовых»
доктор физико-математических наук,
доцент Алексей Олегович Кучерик



" 19 " августа 2021 г.
(дата, м.п.)

Отзыв

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Владимирский
государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»
на диссертационную работу МАНСУРА Губрана Али Мохаммеда
**«Автоматизированная система моделирования и оптимизации
технологического процесса отжига сортовых стеклоизделий»**,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и
управление технологическими процессами и производствами
(технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования

Тема диссертационной работы относится к научному направлению,
связанному с разработкой математических моделей технологических процессов
и реализацией этих моделей в виде автоматизированного программного
комплекса. Диссертация Мансура Г.А. посвящена решению следующих задач:
моделированию процесса конвективно-радиационного теплообмена сортовых
стеклоизделий; моделированию процесса релаксации структуры и напряжений в

стекле; определению оптимального режима отжига, обеспечивающего минимальное отклонение остаточных напряжений от заданного допуска при выполнении ограничений на температуру отжига.

Технологический процесса отжига сортового стекла характеризуется многими усложняющими факторами, часто не учитываемыми при разработке режимов отжига: несимметричностью условий конвективно-радиационного теплообмена, необходимостью расчетов в доотжиговый период, идентификации параметров теплообмена, знания температурных зависимостей свойств, цилиндрической формой изделий. Поэтому тема диссертационной работы, посвященной построению и реализации автоматизированной системы для расчета режимов отжига сортовых стеклоизделий, позволяющей повысить точность описания технологического процесса отжига и качество получаемой продукции, является актуальной.

Сложность разработки таких систем, требующей значительного времени для реализации и отладки, в работе компенсируется использованием алгоритмов, основанных на использовании графических средств и оптимизационных процедур математической среды программирования Matlab.

Анализ структуры и содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 151 наименования, приложения с актом опытно-промышленных испытаний. Текст работы изложен на 124 страницах, включает в себя 38 рисунков и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, выполнен анализ степени ее разработанности, определены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе рассмотрены основные стадии технологического процесса производства сортовых стеклоизделий. Проанализированы современные методы моделирования и оптимизации процесса отжига сортового стекла, определены

их недостатки. Проведен анализ технологического процесса отжига как объекта управления и сформулирована задача оптимизации режима отжига по уровню остаточных напряжений в стеклоизделии. Определена структура программного комплекса для автоматизации расчетов режимов отжига стеклоизделий цилиндрической формы. Рассмотрена работа автоматизированной системы при расчете теплофизических, механических и вязкостных свойств, обработке данных дилатометрических измерений, определении постоянных структурной релаксации сортового стекла, производимого на Спировском заводе «Индустря».

Во второй главе рассмотрены методы моделирования температурных полей в сортовых стеклоизделиях. Обоснована разработка численных моделей для расчета несимметричного конвективно-радиационного теплообмена в цилиндрических телах. Продемонстрирована необходимость применения метода конечных элементов для получения двухмерного температурного распределения в конечномерных телаах цилиндрической формы. С учетом разработанной модели температурного поля в сортовых стеклоизделиях рассмотрено решение и приведены результаты для задачи идентификации параметров конвективно-радиационного теплообмена стакана до и в печи отжига завода «Индустря».

В третьей главе разработаны математические модели релаксации структуры и полей напряжений в сортовых стеклоизделиях, учитывающие двухмерность задачи. Произведен расчет временных и остаточных напряжений для изделий завода "Индустря". Показано хорошее совпадение программно рассчитанных напряжений характерных точек изделия с их экспериментальными значениями. Предложена методика нахождения оптимального режима отжига сортового стекла, обеспечивающего близкие к требуемым допускам напряжения. С помощью разработанной в работе автоматизированной системы рассчитан оптимальный режим отжига стаканов.

В четвертой главе проанализирован технологический процесс отжига стеклоизделий как объект управления, выделены векторы входных и выходных переменных, возмущающих и управляющих воздействий. Разработана структура автоматизированной системы управления отжигом сортовых стеклоизделий. Произведен расчет температурно-временных зависимостей свойств, температур и напряжений, оптимального по остаточным напряжениям режима отжига для медицинских колб на Клинском заводе АО «Медстекло».

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования, говорящие о достижении цели работы и решении поставленных задач.

В приложении приведен акт опытно-промышленных испытаний разработанной автоматизированной системы расчета режимов отжига сортовых стеклоизделий.

Цель работы, объект и предмет исследования

Целью работы является повышение эффективности автоматизированного управления процессом отжига сортовых стеклоизделий на основе результатов исследований влияния режимных параметров на распределение остаточных напряжений.

Объектом исследования является процесс отжига сортового стекла.

Предметом исследования являются модели температур и напряжений в сортовых стеклоизделиях и выбор оптимального режима их отжига.

Теоретическая значимость, научная новизна и практическая ценность результатов диссертации

В рамках выполнения диссертационной работы Мансур Г.А. осуществил формулировку цели и задач исследования, получение новых научных и практических результатов, сравнение рассчитанных свойств, температур и напряжений в сортовом стекле в процессе его отжига с экспериментальными данными, формирование выводов по работе.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается том, что для решения задачи повышения эффективности процесса отжига сортовых стеклоизделий разработана автоматизированная система для моделирования и оптимизации процессов и режимов отжига.

В диссертации лично автором получены следующие результаты, характеризующиеся *научной новизной*.

1. Разработана математическая модель температурного поля при отжиге сортовых стеклоизделий с использованием метода конечных элементов в среде Matlab, учитывающая цилиндрическую форму изделий, сложные начальные и граничные условия, зависимость теплофизических свойств стекла от температуры, радиационный теплообмен между поверхностями изделия.

2. Разработана математическая модель релаксации структуры и двухмерного поля напряжений в сортовых стеклоизделиях, учитывающая температурные зависимости вязкости и удлинения для стекла заданного химического состава.

3. Произведена идентификация параметров конвективно-радиационного теплообмена сортового стекла для существующего температурно-временного режима до и в печи отжига.

4. Предложена методика расчета оптимального режима отжига сортового стекла, обеспечивающего заданный уровень остаточных напряжений в стеклоизделии.

5. Разработан программный комплекс в среде Matlab для моделирования и оптимизации режимов отжига сортовых стеклоизделий заданного химического состава и размеров.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в создании комплекса программ для автоматизации расчетов режимов отжига цилиндрических стеклоизделий, позволяющего определить оптимальные настройки параметров регулирования технологического процесса для достижения заданного уровня остаточных напряжений. Комплекс реализован в

среде математического программирования Matlab. Использованные модели можно распространить на более сложные формы стеклоизделий. Основным практическим результатом работы является применение разработанного комплекса программ для моделирования и оптимизации режимов отжига на стеклозаводах «Индустрия» и «Медстекло». Работоспособность созданного комплекса программ доказана результатами и актом опытно-промышленных испытаний автоматизированной системы расчета режимов отжига сортовых стеклоизделий «АСРЦ».

Достоверность результатов исследований

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью: использования дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах с неравномерным начальным температурным распределением и несимметричными граничными условиями конвективно-радиационного теплообмена, релаксационных моделей стеклования для описания процессов передачи тепла и возникновения напряжений в сортовых стеклоизделиях; постановки задачи оптимизации режима отжига по заданному уровню остаточных напряжений с учетом ограничения на температуру выдержки. Моделирование процесса отжига на стеклозаводах «Индустрия» и «Медстекло» подтвердило адекватность полученных значений температур, напряжений и параметров регулирования процесса отжига.

Апробация работы и публикации по диссертации

Основные результаты диссертационной работы докладывались Мансуром Г.А., обсуждались и были опубликованы в сборниках трудов следующих российских и международных конференций:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Саморазвивающаяся среда технического университета», 2018 (г. Тверь);

- Всероссийская научно-практическая конференция «Направления развития российской науки: теоретические исследования и экспериментальные разработки», 2019 (г. Тверь);
- XXXI международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32», 2019 (г. Санкт-Петербург).

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 7 печатных трудах, в том числе в 3-х статьях в рецензируемых изданиях из перечня, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, и в одной статье в издании, индексируемом в SCOPUS.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации в третьей главе рассчитанные с помощью программы распределения временных и остаточных напряжений по высоте и по радиусу изделия на входе в печь и в конце отжига не сопоставлены с экспериментальными данными.
2. Для решения задач моделирования свойств стекла в главе 1 практически не используются статистические методы и критерии.
3. Алгоритм идентификации параметров конвективно-радиационного теплообмена, обеспечивающих совпадение с заданной точностью рассчитанных по моделям значений температур поверхностей изделия с их экспериментальными значениями, подробно не освещен (раздел 2.4).
4. Подробно не рассмотрен переход от точек триангуляции при расчете температурного поля к узлам двухмерной сетки по радиусу и высоте при расчете напряжений (глава 3).
5. Не продемонстрировано решение задачи оптимизации в альтернативной постановке минимизации энергетических затрат при ограничениях на величину остаточных напряжений (раздел 3.3).

Отмеченные недостатки не являются существенными и не снижают высокого качества диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Мансура Губрана Али Мохаммеда «**Автоматизированная система моделирования и оптимизации технологического процесса отжига сортовых стеклоизделий**» представляет собой самостоятельно выполненную, завершенную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в разработке и исследовании моделей и алгоритмов для оптимизации технологического процесса отжига сортовых стеклоизделий. Решение данной задачи имеет существенное значение для развития методов, моделей и алгоритмов построения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Содержание диссертационной работы в автореферате отражено достаточно полно. Структура диссертации и автореферата, их оформление соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущем рецензируемом журнале «Программные продукты и системы».

Таким образом, по степени актуальности, уровню теоретической проработки, научной новизне полученных результатов диссертационная работа Мансура Губрана Али Мохаммеда удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мансур Губран Али Мохаммед, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», протокол № 4 от «18» октября 2021 г.

Заведующий кафедрой «Автоматизация, мехатроника и робототехника», Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Коростелев, Владимир Федорович Коростелев

Профессор кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника»,
д.т.н., профессор

Александр Архипович Кобзев

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
УЧ. СЕКРЕТАРЬ ВЛРУ
КОНСВА Т. Г.

«18» октября 2021 г.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»
Адрес: 600000, Владимирская область, г. Владимир, ул. Горького, 87
Телефон: +7 (4922) 53-25-75
Факс: +7 (4922) 53-25-75, 33-13-91
e-mail: oid@vlsu.ru
<http://www.vlsu.ru>