

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертационную работу Фам Куанг Банг «Управление технологическим
процессом сушки зеленого чая в условиях неопределенности»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические науки)

Актуальность исследования

Актуальность темы диссертации Фам Куанг Банг обусловлена необходимостью повышения эффективности и качества управления технологическими процессами в пищевой промышленности, в частности – при сушке растительного сырья. Одним из наиболее ценных и широко потребляемых продуктов растительного происхождения является зелёный чай, пользующийся стабильным спросом на мировом рынке благодаря своим полезным свойствам, обусловленным высоким содержанием биологически активных соединений. Сохранение этих свойств в готовом продукте напрямую зависит от режима и условий сушки.

Процесс сушки зелёного чая является наиболее энергоёмкой и критически важной стадией технологической цепочки, определяющей такие параметры качества, как аромат, цвет, содержание катехинов и полифенолов. При этом данный процесс подвержен значительным колебаниям внешних и внутренних факторов: неравномерности распределения температуры и влажности, изменчивости сырья, нестабильности режимов работы оборудования. Это делает задачу управления сушкой сложной и многофакторной, особенно в условиях технологической неопределённости.

Традиционные методы управления не обеспечивают необходимой гибкости и адаптивности, что приводит к снижению качества готового продукта, перерасходу энергии и росту производственных затрат.

В этой связи особую значимость приобретают исследования, направленные на разработку интеллектуальных и предиктивных систем управления сушильным процессом, способных учитывать особенности динамики процесса и эффективно функционировать в условиях ограниченной или неточной информации.

Таким образом, исследование, выполненное Фам Куанг Банг, отвечает актуальным задачам повышения качества и энергоэффективности пищевых производств, направлено на решение прикладных задач в области управления сложными технологическими процессами, и имеет значимую научную и практическую ценность.

Структура, объем и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов по разделам, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Объем диссертации составил 134 страницы, включая 117 страниц основного текста, 3 страницы приложений к работе, 38 рисунков и 24 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы, а также сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор литературы, посвящённой характеристикам и методам переработки зеленого чая, с акцентом на сушильный процесс. Проведен анализ существующих методов сушки пищевых продуктов, типов оборудования и подходов к управлению. Обоснован выбор направлений исследования и поставлены научные задачи.

Во второй главе приведен анализ теплофизических свойств зеленого чая, построены математические зависимости параметров (удельной теплоемкости, плотности, коэффициента массообмена и равновесной влажности) от температуры, влажности и других факторов. Показана реализация аппроксимации равновесной влажности с использованием методов нечеткой логики.

Третья глава посвящена построению математической модели процесса сушки в сушильном оборудовании конвейерного типа. Модель включает уравнения теплового и массового баланса с учётом изменяющихся теплофизических свойств. Проведена верификация модели с использованием статистических показателей RMSE и MAE, подтверждающих её адекватность.

В четвертой главе описана методика синтеза системы управления процессом сушки зеленого чая на основе прогнозирующего управления с использованием метода Бокса-Уилсона для линеаризации нелинейной модели. Представлены блок-схемы алгоритмов, структура системы управления, а также результаты моделирования. Показано, что разработанный УПМ-регулятор обеспечивает сокращение переходных процессов, уменьшение перерегулирования, повышение производительности и энергоэффективности процесса.

В заключении подведены итоги работы, приведены основные научные и практические результаты.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработана динамическая математическая модель процесса сушки зелёного чая, которая за счет учета изменения теплофизических свойств обеспечивает требуемую точность.
2. Предложен эффективный механизм адаптации, реализованный через методику идентификации параметров в режиме реального времени. Это придает системе управления свойство «гибкости», позволяя ей подстраиваться под изменчивость исходного сырья и внешних условий, что критически важно в условиях неопределенности.
3. Разработана система управления, в которой для линеаризации нелинейной модели в режиме онлайн удачно применен метод Бокса-Уилсона. Это позволило использовать мощный аппарат прогнозирующего управления без чрезмерного усложнения вычислительных процедур, что делает подход реализуемым в промышленной среде.

Практическая значимость диссертационной работы

1. Разработана программа, позволяющая рассчитывать оптимальные условия сушки зелёного чая.
2. Разработан программный комплекс управления в режиме реального времени технологическим процессом сушки зелёного чая в условиях неопределённости.
3. Разработана система усовершенствованного управления, которая показала существенное улучшение процессов сушки зелёного чая.

Достоверность основных положений, выводов и результатов работы

Достоверность выводов и результатов работы подтверждается корректным применением методов теплообмена, численного моделирования, теории автоматического управления и нечеткой логики для решения задач диссертационного исследования. Автором использованы проверенные подходы, основанные на численном моделировании теплофизических процессов, методах линеаризации и прогнозирующего управления, а также нечеткой логике для учёта неопределённости параметров. Результаты исследования переданы и внедрены в учебный процесс факультета «Кибернетика» Новомосковского института РХТУ им. Д.И. Менделеева, что зафиксировано в акте о внедрении. По результатам работы получено одно свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Оформление диссертации, публикации, апробация, содержание автореферата

Диссертация хорошо структурирована и логически выстроена, оформлена технически грамотно и дополнена необходимым количеством иллюстративного материала и приложений. Разделы диссертации взаимосвязаны между собой и подчинены единой цели.

Основные положения диссертации и полученные автором результаты прошли апробацию на российских и международных конференциях. Результаты диссертации представлены в 18 публикациях, в том числе, в 4 статьях из перечня рекомендованных ВАК РФ изданий, что позволяет считать их количество и содержание достаточным.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе предлагается математическая модель сушки зеленого чая, учитывающая динамическое изменение теплофизических характеристик, однако не представлена количественная оценка влияния ошибок идентификации этих параметров на точность моделирования и управления.

2. Не представлены графики переходных процессов системы автоматического управления с указанием характеристик (время регулирования, перерегулирование, устойчивость), что позволило бы наглядно продемонстрировать преимущества предложенного подхода.

3. Отсутствует упоминание о возможных технологических ограничениях при сушке, таких как допустимый диапазон температур или скорости воздушного потока, что может повлиять на реализацию алгоритма управления в промышленности.

4. В работе приведена оценка точности модели на основе RMSE и MAE, однако не указаны предельные допуски или нормы, с которыми сопоставляются полученные значения, что затрудняет оценку прикладной значимости результатов.

Сделанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа Фам Куанг Банг на тему «Управление технологическим процессом сушки зеленого чая в условиях неопределенности» является законченной научно-квалификационной работой. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованы, работа обладает теоретической и практической значимостью. Диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения О присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., поэтому соискателю Фам Куанг Банг

может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Кибернетика химико-
технологических процессов»
ФГБОУ ВО «Российский химико-
технологический университет им. Д.И.
Менделеева»,

«31» октября 2025г.



А.Ф. Егоров

Егоров Александр Фёдорович
Почтовый адрес: 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9
Телефон (рабочий): +7(495)495-21-34
Адрес электронной почты: egorov@muctr.ru

Подпись Егоров А.Ф. заверяю
Ученый секретарь РХТУ им. Д.И. Менделеева,
д.т.н., профессор

Н.А. Макаров

Подпись А.Ф. Егорова заверяю
начальник управления организационной безопасности



И.В.С. Мирошников