

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» Каргина Виталия Александровича на диссертационную работу Фам Куанг Банг «Управление технологическим процессом сушки зеленого чая в условиях неопределенности», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

Актуальность темы диссертации

Технологический процесс сушки является одним из наиболее энергоемких и критически важных этапов в производстве чая, напрямую влияющим на его качество, аромат, цвет и содержание биологически активных веществ. Проблемы, связанные с неравномерностью сушки, перегревом и перерасходом энергии, делают разработку современных систем управления крайне востребованной.

Особенность рассматриваемого технологического объекта заключается в его высокой энергоемкости, нелинейности и чувствительности к изменению внешних и внутренних условий, включая неравномерность температурных и влажностных полей, изменчивость свойств сырья и нестабильность работы сушильного оборудования. Указанные факторы существенно осложняют задачу управления и делают ее особенно актуальной в условиях технологической неопределенности.

На фоне ограничений традиционных систем регулирования, не обладающих достаточной степенью адаптивности и предсказуемости, обоснованным представляется применение современных интеллектуальных подходов к управлению, в том числе с использованием методов прогнозирования и моделирования. Разработка и внедрение таких систем позволяет снизить энергозатраты, минимизировать технологические потери,

обеспечить устойчивое качество продукции и повысить производственную эффективность.

Таким образом, диссертационная работа Фам Куанг Банг, направленная на повышение эффективности процесса сушки зеленого чая в условиях неопределенности, является актуальной и важной научно-технической задачей.

Структура, объем и содержание работы

Диссертация Фам Куанг Банг имеет логичную и последовательную структуру, отражающую этапы научного исследования и постановки задачи управления сложным технологическим процессом. Работа включает введение, четыре главы основного содержания, заключение, список литературы и приложения. Объем диссертации составляет 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 современного состояния вопроса в области сушки растительного сырья и методов управления соответствующими технологическими процессами. Рассмотрены существующие типы сушильного оборудования, особенности переработки зеленого чая и современные подходы к автоматизации. На основе анализа выявлены проблемные аспекты, определены направления и задачи исследования.

Во второй главе проведен анализ теплофизических свойств зеленого чая, таких как плотность, теплоемкость, коэффициент массообмена и равновесная влажность, в зависимости от температуры и влажности. Построены соответствующие математические зависимости, в том числе с применением

нечеткой логики для моделирования равновесной влажности, что позволило адаптировать расчеты к условиям неопределенности.

Третья глава посвящена построению математической модели процесса сушки в сушильном оборудовании конвейерного типа. Модель включает уравнения теплового и массового баланса, с учетом изменяющихся во времени свойств материала. Проведена численная реализация модели с использованием метода конечных разностей. Адекватность модели подтверждена статистическими показателями RMSE и MAE при сопоставлении с экспериментальными данными.

В четвертой главе изложена методика синтеза системы управления процессом сушки на основе прогнозирующих моделей. В качестве метода линеаризации использован метод Бокса-Уилсона, обеспечивающий построение локальных линейных моделей для объекта управления. Представлены структурная и алгоритмическая схемы предложенной системы управления. Результаты моделирования демонстрируют улучшение динамических характеристик процесса: сокращение переходного времени, снижение перерегулирования, повышение производительности и энергоэффективности по сравнению с традиционными регуляторами.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования, обобщены основные научные и прикладные результаты, подтверждающие достижение поставленных целей и решение сформулированных задач.

Научная новизна диссертационной работы

В рамках диссертационного исследования получены результаты, обладающие научной новизной и развивающие подходы к моделированию и управлению сложными технологическими процессами. К числу основных элементов новизны следует отнести:

1. Разработана математическая модель процесса сушки зеленого чая в сушильном оборудовании конвейерного типа, отличающаяся учетом динамически изменяющихся теплофизических свойств сырья (плотности, удельной теплоемкости, коэффициента массообмена и равновесной влажности), что позволяет достоверно описывать реальный ход процесса сушки и учитывать воздействие внешних факторов.
2. Предложена методика идентификации теплофизических параметров в режиме реального времени, обеспечивающая повышение точности прогнозирования основных параметров сушки (температуры и влажности) за счет адаптации модели к изменяющимся условиям.
3. Разработан подход к синтезу системы управления сушильным процессом на основе прогнозирующих моделей, с использованием метода Бокса–Уилсона для локальной линеаризации объекта управления. Это обеспечивает возможность построения предиктивных регуляторов, способных эффективно функционировать в условиях нелинейности и неопределенности технологического процесса.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования определяется развитием теоретических основ построения систем управления нелинейными объектами в условиях параметрической неопределённости. В научный аппарат управления сложными технологическими процессами вносятся предложения по созданию прогностических моделей и адаптивных алгоритмов управления, учитывающих нестационарный характер изменения теплофизических свойств материала, а также по применению метода Бокса-Уилсона для линеаризации сложных динамических объектов.

Практическая значимость работы подтверждается созданием программного комплекса для управления сушкой зеленого чая и результатами его

экспериментальной апробации, показавшими повышение эффективности технологического процесса. Полученные результаты внедрены в учебный процесс. По результатам работы получено одно свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Степень обоснованности научных положений,
выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

На основании выполненных исследований соискателем сформулированы четыре вывода, каждый из которых соответствует поставленным задачам исследования.

Первый вывод сформулирован на основе анализа особенностей и физико-химических свойств материала, а также методов и типов сушильного оборудования. Отмечается, что технологический процесс сушки зеленого чая является сложным и нелинейным объектом, характеризующимся нечёткими значениями теплофизических параметров. Подчёркивается необходимость учёта варьирования этих параметров при построении системы автоматического управления. Вывод обоснован материалами первой главы диссертации, где проводится детальный обзор производства чая, анализ различных методов сушки и типов сушилок, а также современных подходов к моделированию и управлению, и второй главы, где исследуются теплофизические характеристики зеленого чая, подтверждающие их изменчивость. Вывод решает первую задачу исследования.

Второй вывод сформулирован на основе результатов проведённых экспериментальных исследований и анализа основных закономерностей процесса сушки зеленого чая в конвейерном оборудовании. Он посвящён влиянию основных параметров, таких как плотность, теплоемкость, коэффициент массообмена и равновесная влажность, на поля влажности и продолжительность сушки. На основе этих данных определены наилучшие

режимы процесса. Вывод обоснован материалами второй и третьей главы диссертации. Этот вывод подтверждает решение второй задачи исследования.

Третий вывод сформулирован по результатам разработанной математической модели процесса сушки зеленого чая в конвейерном сушильном оборудовании. Модель учитывает динамическое изменение теплофизических параметров в ходе сушки, что позволяет более точно описывать реальный процесс и повышать эффективность управления. Вывод обоснован материалами третьей главы диссертации, где подробно описан процесс построения математической модели, её структура и численные методы решения, а также проведена проверка адекватности модели на основе экспериментальных данных. Этот вывод подтверждает решение второй задачи исследования.

Четвёртый вывод сформулирован на основе предложенной методики синтеза системы автоматического управления процессом сушки зеленого чая с помощью УПМ-регулятора. В этой методике линеаризация нелинейного процесса осуществляется с помощью метода Бокса-Уилсона. Разработанный алгоритм управления позволяет сократить время переходного процесса и обеспечить необходимое качество выходного продукта, что приводит к увеличению производительности сушки зеленого чая в среднем на 17,23% и энергоэффективности на 14,7%. Вывод обоснован материалами четвертой главы диссертации. Этот вывод подтверждает решение третьей задачи исследования.

Выводы сформулированы на основании материалов, представленных в диссертационной работе, и являются обоснованными.

Результаты диссертационной работы изложены в 17 работах, из которых 2 статьи в изданиях, индексируемых Scopus и WoS, 4 статьи в журналах, входящих в перечень утвержденных ВАК, что соответствует рекомендациям Минобрнауки России. Результаты работы апробированы на различных Международных и Всероссийских конференциях.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

Несмотря на высокую оценку диссертационной работы, в процессе ознакомления с ней возник ряд замечаний и вопросов, которые, могли бы улучшить ее содержание и полноту.

1. В названии диссертации и в тексте неоднократно подчеркивается работа «в условиях неопределенности» (стр.4, стр.85). Однако, конкретные механизмы обработки этой неопределенности в рамках предложенной системы управления не описаны достаточно подробно. Метод Бокса-Уилсона, в первую очередь, предназначен для линеаризации, а не для прямого учета неопределенности.
2. В пункте 2 научной новизны (стр.6) заявлена «разработана методика идентификации теплофизических параметров в реальном времени». Однако, в главе 2 (стр.33), посвященной анализу теплофизических свойств, и в главе 4 (стр.81), описывающей систему управления, эта методика не представлена в виде отдельного раздела или подробного алгоритма. На наш взгляд, это ключевой аспект новизны, требующий более детального изложения.
3. В главе 2 часто встречаются ссылки на «проведенные эксперименты», например, «В работе [78] были проведены эксперименты...» (стр.35), «В работе [79] были проведены эксперименты...» (стр.36), «В работе [84] была проведена серия экспериментов...» (стр.38) и др. Не всегда явно указано, являются ли эти эксперименты собственными исследованиями автора или данные взяты из литературных источников. Если данные заимствованы, необходимо более четко обосновать их применимость к конкретному типу зеленого чая и условиям сушки, рассматриваемым в диссертации.

4. В главе 2 (раздел 2.6) подробно описывается использование нечеткой логики для аппроксимации равновесной влажности. Однако, в главе 4, посвященной разработке системы управления, нечеткая логика упоминается лишь в общих чертах как один из современных методов, но не показано, как именно модель равновесной влажности, полученная с помощью нечеткой логики, интегрируется в прогнозирующую модель.
5. В работе заявлено, что математическая модель процесса сушки зеленого чая учитывает «динамическое изменение теплофизических параметров». Требуется пояснение, каким образом коэффициент массообмена K , коэффициент теплопередачи h в уравнениях массового (3.1, стр.69) и энергетического баланса (3.2, стр.69) обновляются на каждом шаге моделирования в зависимости от текущих значений влажности и температуры.
6. При сравнении предложенного УПМ-регулятора с традиционным ПИД-регулятором (стр.109-112), для обеспечения объективности результатов, необходимо более детально описать методику настройки ПИД-регулятора. Без этого сравнение может быть воспринято как не вполне корректное.
7. В разделе 4.4 (стр. 113-114) приводятся экономические расчеты, такие как «цена реализации – 100 руб./кг» и «тариф – 2,85 руб./кВт·ч». Для повышения достоверности экономического анализа необходимо указать источники этих данных, их актуальность или обосновать, почему были выбраны именно эти значения.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы, а лишь призваны подчеркнуть возможности для ее дальнейшего совершенствования и углубления.

Заключение

Диссертационная работа Фам Куанг Банг на тему «Управление технологическим процессом сушки зеленого чая в условиях неопределенности», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных инструментальных средств и методик; научные положения, выводы и рекомендации обоснованы, работа обладает теоретической и практической значимостью.

Диссертация соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а соискатель Фам Куанг Банг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Автоматизированные системы управления
биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО
«Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)»



Каргин
Виталий
Александрович

«30» окт 2025 г.

Каргин Виталий Александрович
Доктор технических наук по специальности:
05.20.02 – Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве
Почтовый адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11
Телефон (рабочий): +7(499)750-01-11, доб. 4719
Адрес электронной почты: karginva@mgupp.ru

Подпись д.т.н., профессора
Каргина Виталия Александровича заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета университета



Новикова
Жанна
Викторовна