

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет»
к.ф-м.н, доцент

Н.А.Кострикова



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет» на диссертационную работу Сантоса Куннихана Марио Рохелио на тему «Математическое и алгоритмическое обеспечение системы управления технологическим процессом объемного дозирования при производстве молотого обжаренного кофе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

Общая характеристика работа. Диссертация на тему «Математическое и алгоритмическое обеспечение системы управления технологическим процессом объемного дозирования при производстве молотого обжаренного кофе» выполнена на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехническими процессами» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». Работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы и выводов, списка сокращенных слов, списка из 185 литературных источников и приложений. Работа содержит 61 рисунок, 10 таблиц и по формальным признакам соответствует требованиям п.п. 9-11 Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней кандидата технических наук.

Актуальность темы. Одной из важнейших технологических операций в ходе приемки, хранения и переработки кофе при производстве молотого обжаренного кофе, является дозирование. Жесткие требования Российских стандартов, предъявляемых к кофе на всех этапах его переработки, требуют современного и непрерывного контроля

их соблюдения. Достаточно высокие цены на кофе, широкий ассортимент кофе и суррогатов приводит к фальсификации получаемой продукции, связанной с пересортицей и не полном объеме дозирования кофе в упаковку.

Конечный результат и качество изготавливаемой продукции зависит от точности и надежности дозирования. Значительно увеличились поставки в Россию молотого обжаренного кофе из Эквадора. Быстрыми темпами развивается производство натурального жареного кофе в зернах, молотого натурального растворимого кофе и растворимых кофейных напитков.

Совершенствование, автоматизация и оптимизация технологических процессов дозирования сыпучих материалов достигается повышением качества управления. Системы управления дозированием сыпучих материалов используются на основных стадиях технологических процессов для регламентации подачи исходного сырья в технологические аппараты, для дозирования количества готовой продукции молотого кофе при ее фасовке, при подготовке к выполнению операций аналитического контроля. Применение автоматических объемных роторных дозаторов в качестве объектов автоматизации и создание на их основе - систем автоматического регулирования технологического процесса производства молотого обжаренного кофе с использованием интеллектуальных технологий решает данную проблему.

Предложенный диссертантом подход позволяет непрерывно контролировать эффективность процесса дозирования молотого кофе, а также определять основные показатели его качества в течение всего технологического процесса, что обеспечит стабильность производства кофе, уменьшит брак, снизит потери рабочего времени, сырья и энергии, повысит качество готовой продукции, реализует мониторинг технологических процессов производства. Представленная диссертационная работа направлена на исследование и решение данных задач, чем и определяется важность и актуальность темы.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Сантоса Куннихана Марио Рохелио состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы и выводов, списка сокращенных слов, списка литературы и приложений; включает 61 рисунок, 10 таблиц. Основной текст изложен на 158 страницах. Библиографический список включает 188 наименования, из них 36 на иностранном языке.

В первой главе описаны характеристики кофе, детали его обработки, характеристика основных стадий и сопутствующие проблемы при производстве молотого кофе (МК) (с.16, п.1.1). Особое внимание уделено объемным дозаторам. Указаны недостатки их работы, которые требуется скорректировать. Рассмотрены принципы действия дозаторов порционного и непрерывного типов действия, используемых на сегодняшний день в пищевой промышленности.

Выбран объемный стаканчиковый дозатор как объект автоматизации с формализацией особенностей процесса объемного дозирования (с.40, п.1.8). Для упаковки продукта рассматривается вертикальный фасовочно-упаковочный автомат в

базовом исполнении. Проведена классификация основных типовых операций при дозировании в процессе производства МК и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций (с.19 - 23, п. 1.2). Проведен всесторонний анализ параметров, оказывающих влияние на качество сырья, готовых зерен кофе и размолотого кофе, согласно анализу литературных источников и собственных исследований.

На основании полученных результатов разработана функционально - структурная схема (ФСС) влияния факторов перерабатываемого сырья, промежуточных операций на качество объемного дозирования МК (рисунок 1.5). Выбраны и обоснованы наиболее важные органолептические показатели качества и физико-механические свойства МК, контролируемые и регулируемые параметры в ходе ТП, такие как: промежуточная координата (уровень МК в бункере дозатора), скорость привода питателя, скорость привода дозатора, коэффициент истечения, плотность, коэффициент сыпучести, скорость истечения МК, погрешность дозатора, заданная масса (объем) МК. Показано, что существующие в настоящее время методы оценки этих показателей качества субъективны и требуют проведения комплекса аналитических и экспериментальных исследований.

Проанализированы методы и средства автоматического контроля в потоке вышеуказанных показателей. Выполнен анализ современных промышленных контроллеров для управления процессами дозирования (с.45, п.1.10) и структуры системы автоматического дозирования (САД) молотого кофе, представленной как четырёхуровневая система (рисунок 1.14), где описаны функциональные устройства системы автоматического дозирования, функциональные механизмы и блоки управления, входящие в состав функциональных устройств САД, исполнительные механизмы (ИМ) и приводы (Пр), входящие в состав функциональных механизмов, а также датчики блоков управления.

Показано что, современное программное обеспечение верхнего уровня для работы с приборами рассматриваемого класса не позволяет представлять процесс движения среды в бункере, за исключением отображения на мониторе мультимедийной картинки с имитацией заполнения бункера стаканчикового дозатора (СД).

Была поставлена задача создания математической модели процесса ДМК с использованием микро-ЭВМ и регулятора, позволяющих компенсировать влияние внешних возмущающих воздействий, например, скорость подачи и скорость СД.

Информацию о дозировании по заданной программе удобно представлять оператору и передавать результаты дозирования (например, общий объем прошедшего молотого кофе) на следующий уровень управления.

Вторая глава посвящена описанию поведения молотого кофе в бункере при истечении. Подробно описаны лабораторные методы определения параметров молотого кофе. Анализ существующих моделей процесса дозирования и результаты экспериментов по исследованию формы и размера частиц молотого кофе (с.55, п.2.1),

помогают найти правильный подход к построению адекватной модели процесса управления дозированием.

Проведено экспериментальное исследование основных физико-механических свойств МК, оказывающих наибольшее влияние на качество дозирования МК.

Описаны разные подходы к моделированию работы стаканчикового дозатора. Установлены оптимальные параметры конструкции бункера для молотого кофе, предотвращающие сводообразование.

Результаты анализа аналитических подходов к моделированию процесса истечения молотого кофе из бункера дозатора показывают, что вид истечения молотого кофе отличается от жидкостей наличием коэффициента внутреннего трения и силы сцепления, что усложняет математическую модель процесса истечения молотого кофе в дозирующее устройство (с.68, п.2.2).

В результате моделирования дискретных частиц МК представлена визуализация моделируемых процессов 3D-виртуальной реальности для процесса истечения МК (с.80, п.2.5), дающая возможность моделировать частицы МК с различными гранулометрическим составом и формой частиц МК и определить адекватные параметры конструкции бункера для истечения продукта МК.

Учитывая проведенные исследования была спроектирована параметрическая модель объемного дозирования МК (с.91, п.2.7) и предложена методика определения параметров модели (с.90, п.2.6.1) при управлении уровнем молотого кофе в бункере дозатора СД для моделирования и исследования асимптотического движения дозатора СД и контроля уровня как промежуточной координаты МК.

В результате проведенных во второй главе математических описаний и исследований были определены и обоснованы основные параметры, оказывающие наибольшее влияние на технологические процессы дозирования молотого обжаренного кофе, что позволило перейти к разработке математических моделей процесса объемного дозирования при производстве МК с использованием интеллектуальных технологий, оптимизации технологических режимов и управления производственным процессом на современном уровне.

В третьей главе установлено, что сложности настройки приводов в процессе ДМК приводят к функциональным ограничениям процесса объемного дозирования, обусловленным уменьшением возможностей стабильной работы дозатора в требуемом диапазоне параметров ДМК.

С точки зрения управления процессом дозирования молотого кофе, в качестве составляющих критерия управления рассматриваются производительность технологической линии с наложенными на нее ограничениями на колебания объемной массы молотого кофе в упаковке (с.99, п.3.1).

Произведена математическая постановка задачи контроля величины уровня молотого кофе в бункере для процесса управления дозированием молотого кофе, где предлагается введение контура уровня МК, направленного на стабилизацию режима

истечения молотого кофе из БСД посредством управления промежуточной координатой (с.107, п.3.3).

Разработана нейросетевая модель для построения нейросетевого оптимизатора ПИ контроллера управления промежуточной координаты в бункере и скоростям приводов (п.3.4, рисунок 3.4).

С помощью имитационного моделирования в пакете MatLab исследована эффективность применения различных законов управления дозами молотого кофе. Обсуждаются модели процесса дозирования молотого кофе, основанные на разных подходах. Модели позволяют учесть случайные возмущения, как со стороны механизмов, так и со стороны самого кофе (с.115, п.3.5).

Результаты имитационных экспериментов, проведенных автором в пакете MatLab показали, что применение ПИ регуляторов позволило обеспечить более точную стабилизацию уровня молотого кофе, чем при использовании позиционного закона управления в условиях колебаний свойств молотого кофе.

Четвёртая глава. Выполнен сравнительный анализ результатов моделирования. Разработана модель процесса объемного дозирования молотого кофе; кроме того, приведены результаты анализа режимов работы стаканчикового дозатора, функционирующего в реальном времени с использованием ПИ – регулятора, с возможностью последующей коррекции на основе нейросетевого оптимизатора.

Анализ результатов моделирования показал, что при больших изменениях в процессе колебания уровня молотого кофе в бункере, непредсказуемо изменяется точность доз МК, и даже с выходом за пределы, указанные в технической характеристике стаканчикового дозатора. Таким образом, случайные изменения масс формируемых доз (п.4.1, рисунок 4.3) могут содержать не только собственно случайную составляющую, но и регулярную случайную составляющую, обусловленную, например, изменениями физико-механических свойств молотого кофе или сыпучего материала в бункере объемного дозатора и изменениями скоростей приводов устройств подачи и дозирования. Это значительно влияет на производительность (п.4.1, рисунок 4.5).

Предлагаемые усовершенствования, внесенные в схему реализации ПИ-нейросетевого оптимизатора, позволили обеспечить стабилизацию параметров производительности и промежуточной координаты (п.4.2, рисунки 4.10, 4.11) при действии возмущающих факторов и смене управляющих воздействий за счет авто-настройки коэффициентов ПИ контроллера для приводов устройств питателя и стаканчикового дозатора, путем обеспечения требуемого качества переходного процесса.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод о том, что нейросетевой оптимизатор позволяет сократить затраты электроэнергии и вполне может стать прототипом универсального промышленного аппарата настройки параметров ПИ-контроллера в процессе дозирования, а также позволяет осуществить равномерное истечение продукта и повысить точность дозирования.

По результатам исследований разработан макет программно-аппаратного комплекса управления процессом ДМК (п.4.4, рисунок 4.16) с помощью пакета LabVIEW для применения имитационной модели процесса дозирования на основе оптимальных коэффициентов ПИ-контроллера нейросетевого оптимизатора.

Показано, что основными категориями решаемых задач моделирования являются: контроль, наблюдение (мониторинг) технологической информации, регулирование процессов дозирования производства молотого обжаренного кофе, контроль состояния оборудования, анализ нестационарных режимов и аварийных ситуаций.

Результаты диссертационной работы внедрены в производственном процессе ООО «НПП Источник».

Целью диссертационной работы является развитие и совершенствование методов автоматизации и алгоритмов управления процессами дозирования молотого кофе с учетом показателей их качества. Достигается за счет снижения разброса дисперсности частиц кофе по упаковкам в пределах одной партии кофе; за счет обеспечения времени нахождения продукта в технологическом аппарате объемного роторного дозатора, что препятствует возникновению условий влагопоглощения, слеживаемости при образовании застойных зон в объемных дозаторах высушенного, молотого, вакуумированного кофе.

Научная новизна работы

В диссертационной работе Сантоса Куннихана М.Р. проведен комплекс научных исследований и получены результаты, научная новизна которых состоит в следующем:

1. Разработаны математическая модель процесса истечения молотого кофе сорта «Арабика» из бункера роторного дозатора и методика определения параметров модели.
2. Предложен способ управления производительностью дозатора с учетом корректирующего воздействия по промежуточной координате - уровню продукта в бункере, обеспечивающий постоянное значение отношения общего объема бункера к объему, занимаемому застойными зонами молотого кофе.
3. Доказана возможность обеспечения стабилизации работы дозатора за счет применения на нижнем уровне управления классических линейных законов регулирования по каналам «скорость вращения ротора дозатора – уровень продукта» и «скорость вращения привода загрузки – уровень продукта».
4. Исследованы закономерности разброса размеров и формы частиц молотого кофе сорта «Арабика» с получением примеров 2D и 3D изображений частиц, доказывающие неправомерность применения допущений о правильной геометрической форме частиц при решении задач моделирования и управления дозатором.
5. Разработаны алгоритмы управления процессом дозирования, предусматривающие компенсацию стохастических возмущений по загрузке дозатора и физико-механических свойств кофе.

Практическая значимость работы

Практическая значимость результатов диссертации Сантоса Куннихана М.Р. определяется следующим:

1. Разработаны и предложена новая функционально структурная схема (ФСС) формирования качества дозирования МК с указанием необходимых точек контроля и регулирования, а также структура системы автоматического дозирования (САД) с включением в нее интеллектуальных датчиков контроля еще в одну точку, кроме максимального и минимального показаний уровня как промежуточной координаты в бункере хранения с учетом физико-механических свойств пищевого продукта.

2. Разработана структура нейронной сети, типа многослойный персептрон с одним скрытым слоем – ПИД контроллером, как нейросетевой оптимизатор (НСО) с интеллектуальными модулями контроля показателей качества МК и управления процессом дозирования пищевых продуктов.

3. На основе структурно - параметрического моделирования разработана математическая имитационная модель управления процессом объемного дозирования пищевых продуктов, предусматривающая учет корректирующего воздействия по промежуточной координате и скоростей приводов, используя эффективность ПИ законов управления и нейросетевого оптимизатора ПИ контроллера.

4. Разработан программно-аппаратный комплекс управления процессом дозирования пищевых продуктов в виде SCADA системы с применением LabView.

Обоснованность и достоверность полученных результатов основывается на концепциях и положениях, изложенных в работах отечественных и зарубежных ученых в области автоматизации процессов пищевых производств, оптимизации процессов, а также в области математического моделирования процесса дозирования сыпучих материалов.

Основными результатами исследования являются предлагаемые автором подходы, методы и алгоритмы контроля показателей качества пищевого продукта (молотый кофе), в частности, экспериментальные исследования разработанной математической имитационной модели с использованием нейросетевого оптимизатора, которая применялась для создания программно-аппаратного комплекса управления процессом дозирования кофе.

Достоверность и обоснованность исследования базируется на корректном использовании методологических и математических основ построения модели процесса объемного дозирования при производстве МК, основных положений теории автоматического управления, теории нейронных сетей, методов системного анализа.

В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований и были приняты во внимание все рекомендации, приводимые авторами перечисленных ранее трудов, а также применены общепринятые в автоматизации пищевых производств методы анализа технологических процессов и новые подходы к использованию ИНС для построения виртуальных датчиков контроля показателей качества пищевых продуктов.

Публикации. Научный уровень диссертационной работы отражен в публикациях и докладах на конференциях. Основные результаты работы и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: XXVII Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-27) Тамбов 2014; XXVI Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-26) Вологда 2014; Научно-практической конференции «Актуальные проблемы автоматизации и управления» Челябинск 2013; XXVI Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-26) Нижний Новгород 2013; Международная научно-практическая конференция «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 21– 23 ноября 2016 г., МГУПП; Научная конференция с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», 11– 12 апреля 2017 г., МГУПП; Международная научно-практическая конференция «Академическая наука - проблемы и достижения», 15 – 16 мая 2017, North Charleston, USA; Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики», 15 – 16 октября 2017, Москва; Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки» Сборник материалов конференции, апрель 2017, Москва.

По теме диссертационного исследования опубликовано 19 научных работ, в том числе 3 статьи опубликованы в научных журналах, входящих в перечень ВАК Российской Федерации.

Содержание автореферата соответствует положениям, представленным в диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**

1. В главе 3, формула (3.8 п.3.1) является выходной переменной нейронной сети, но физический смысл этой переменной не указан.
2. В работе не даны рекомендации по временному интервалу проведения идентификации нейросетевой модели, использованной в режиме реального времени, а также не представлен приблизительный экономический расчет эффективности внедрения предлагаемой подсистемы контроля и расчет ее надежности.
3. На способ автоматического контроля и стабилизации уровня, а также методы контроля сводооброзования пищевого продукта, в бункере объемного дозатора, следовало бы подать заявку изобретения.
4. Отсутствие в приложениях программной реализации обработки экспериментальных данных.
5. Приведены результаты моделирования на основе законов регулирования ПИ контроллера и нейросетевой модели для ПИ-контроллера, где автор указывает, что

данная система сокращает время и перерегулирование, но не указываются количественные величины показателей, характеризующих процесс регулирования.

Заключение по диссертационной работе

Процессы объемного дозирования приобрели в настоящее время особую актуальность в пищевой промышленности.

В работе Сантоса Куннихана Марио Рохелио предложено и обоснованно использование интеллектуальных технологий для обеспечения всей совокупности процессов дозирования молотого обжаренного кофе.

Доказана возможность стабилизации работы дозатора применением линейных законов регулирования на нижнем уровне управления дозатором.

Разработан программно-аппаратный комплекс управления процессом дозирования пищевых продуктов, реализованный с помощью SCADA LabView.

Оценивая работу в целом, считаем, что диссертационная работа Сантоса Куннихана Марио Рохелио является законченным научным исследованием, в котором решена важная научно-техническая задача, имеющая теоретическое значение и практическую значимость. Выводы и рекомендации автора достаточно обоснованы.

По актуальности проблемы, решенной на современном теоретическом уровне, научной новизне и практической значимости диссертационная работа Сантоса Куннихана Марио Рохелио «Математическое и алгоритмическое обеспечение системы управления технологическим процессом объемного дозирования при производстве молотого обжаренного кофе» отвечает требованиям п.7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сантос Куннихан Марио Рохелио заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Отзыв на диссертационную работу Сантоса Куннихана Марио Рохелио рассмотрен и одобрен на заседании кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Протокол № 2 от 19 октября 2017г.

Сердобинцев Станислав Павлович

Доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1.

Рабочий тел.: 8-(4012)-99-53-34, e-mail: dolgi@klgtu.ru

*Долгий проф. Сердобинцев С.П. Завершено.
Профессор по ИР Мех. - Завершено А.А.*