

*Краснодарский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт*

на правах рукописи

МАРКОВ ЮРИЙ ФЕДОРОВИЧ

УДК 664. 951. 32. 047: 681. 513. 3

***АВТОМАТИЗАЦИЯ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫМ
СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ РЫБОПРОДУКТА
ПРИ ВЯЛЕНИИ И ХОЛОДНОМ КОПЧЕНИИ***

**05. 13. 07-Автоматизация технологических
процессов и производств**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Краснодар 1990

Краснодарский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

на правах рукописи

МАРКОВ ЮРИИ ФЕДОРОВИЧ

УДК 664.951.32.047:681.513.3

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ВЛАЖНОСТНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ РЫБОПРОДУКТА
ПРИ ВЯЛЕНИИ И ХОЛОДНОМ КОПЧЕНИИ**

05.13.07 - Автоматизация технологических
процессов и производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар 1990.

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Краснодарского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
В.Г. Насибов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.И. Попов
кандидат технических наук
Б.Ф. Тараненко

Ведущая организация: Северо-Кавказский государственный институт по проектированию предприятий пищевой промышленности (г. Краснодар)

Защита диссертации состоится 26 декабря 1990 г. в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К.063.40.03 в Краснодарском политехническом институте (350072, г.Краснодар, ул.Московская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Краснодарского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Автореферат разослан 21 ноября 1990 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу : 350072, г.Краснодар, ул.Московская, 2, КИИ, ученому секретарю.

Ученый секретарь
специализированного
совета, доцент

 Е.Н. Шаповалов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Задача увеличения производства готовых к употреблению пищевых продуктов с промежуточной влажностью, а также повышения их качества приобрела в последнее время особую значимость. Причина этого состоит в потенциально высоких вкусовых достоинствах и питательной ценности таких продуктов при достаточной хорошей их сохраняемости.

Типичным представителем указанной категории продуктов является рыбопродукция вяления и холодного копчения. Эффективность использования технологического оборудования при изготовлении такой продукции в значительной мере определяется характером протекания наиболее длительной и энергоемкой стадии, в ходе которой в коптильной установке осуществляется конвективная сушка и прокапчивание продукта.

Существенное влияние на интенсивность протекания указанных массообменных процессов оказывает влажностное состояние обрабатываемого продукта, что, с одной стороны, объясняется наличием ярко выраженного поверхностного слоя в его структуре, а с другой, - нелинейным характером влагопереноса в слое и граничными условиями, способствующими проявлению эффектов локализации переносимой субстанции в режимах с обострением. Последнее выражается в образовании "корочки" на поверхности продукта.

В результате копчения вектор состояния, характеризующий обрабатываемый продукт, претерпевает существенные изменения. В начале процесса компоненты вектора соответствуют параметрам исходного полуфабриката. В конце же - требованиям ГОСТа к качеству конечного продукта. Необходимо отметить, что биологическое происхождение исходного сырья предопределяет случайный характер его физико-химических свойств, а, соответственно, и неопределенность вектора начального состояния продукта.

В силу вышесказанного очевидна многовариантность

траекторий перевода обрабатываемого продукта из этого произвольного начального в заданное конечное состояние, а также неравноценность траекторий между собой с точки зрения эффективности функционирования технологического оборудования.

Для реализации желаемой траектории перевода традиционные концепции управления холодным копчением оказываются малоприспособленными. Причина этого состоит в том, что они, ограничиваясь стабилизацией параметров копильной среды на каждом из выделенных периодов процесса, не учитывают текущего состояния обрабатываемого продукта.

В связи с этим выработка адаптивной стратегии управления процессом холодного копчения и вяления, а, соответственно, и разработка методов и средств контроля и управления влажностью поверхности продукта в ходе технологического процесса является актуальной задачей.

Тема непосредственно связана с комплексной целевой программой "Пелагиаль" Минрыбхоза СССР 1985 г. тема ОI.03.04 "Оптимизация процессов холодного копчения основных видов пелагических рыб на основе контроля влажности, скорости, плотности и температуры дымовоздушной среды".

Цель и задачи исследования. Целью работы является создание системы автоматического контроля и управления влажностью поверхности рыбопродукта в ходе процесса вяления и холодного копчения. Оперативное управление указанным параметром позволяет повысить эффективность использования существующего технологического оборудования за счет сокращения длительности процесса при надежном обеспечении заданных качественных показателей конечного продукта.

В задачу исследований входило:

- исследование влияния влажностного состояния поверхности продукта на динамические свойства объекта в целом и на интенсивность протекания массообменных процессов в технологической установке;

- разработка адаптивной стратегии управления процессом, обеспечивающей, путем модификации граничных условий предотвращение пересушивания поверхностных слоев продукта;

- анализ применимости в производственных условиях известных методов контроля влажностного состояния поверхности и разработка способов оценки этого параметра, пригодных для использования непосредственно в копильной установке;

- разработка структуры измерительно-информационной системы, формирующей пространство результатов исходных измерений;

- разработка и исследование измерительных средств контроля параметров состояния дымовоздушной среды;

- оценка динамических свойств поверхности продукта;

- дискретная аппроксимация модели и реализация прямого цифрового управления в системе.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что здесь:

- предложена адаптивная стратегия управления процессом, являющаяся активной модификацией граничных условий массообменного процесса при сохранении конвективного характера взаимодействия объекта с окружающей его средой;

- разработаны способы контроля влажностного состояния поверхности обрабатываемого продукта непосредственно в копильной установке;

- обоснована структура измерительно-информационной системы, формирующей пространство результатов исходных измерений;

- предложено применять форсированные импульсные режимы работы измерительных преобразователей для снижения погрешностей, обусловленных условиями измерений в копильной камере;

- разработаны измерительные средства контроля параметров состояния дымовоздушной смеси: термоанемометр с импульсным нагревом и SC преобразованием полезных сигналов, психрометр с импульсной инъекцией влаги и измерительный термопреобразователь с форсированным импульсным питанием;

- предложен способ косвенной оценки прокопченности продукта в условиях граничного управления;

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенные в ней технические и алгоритмические средства создают возможность для обеспечения такого влажностного состояния поверхности рыбопродукта в ходе технологического процесса вяления и холод-

ного копчения, при котором имеет место сокращение на 20-30 % длительности процесса при надежном достижении заданных качественных показателей конечного продукта.

Основные результаты работы приняты НИО "Информатика" (г.Куйбышев) и положены в основу разработанного ими проекта АСУТП холодного копчения на Московском опытном рыбокомплексе. Проект находится на стадии внедрения.

Технические решения, принятые при разработке измерительных преобразователей параметров дымовоздушной среды, базирующиеся на концепции импульсной форсированности измерительных преобразований, могут быть успешно применены при решении задачи повышения точности других первичных измерений в тяжелых условиях контроля.

Интерпретация отдельных результатов работы дает возможность их использования при реализации управления другими массообменными процессами, протекающими при граничных условиях третьего рода, а также объектами с динамическими нелинейностями.

Методы исследований. В работе использовались методы теории тепло-массообмена, теории погрешностей, анализа и синтеза систем автоматического управления, методы интегрального и дискретного преобразований Лапласа. Научные положения, представленные в работе, обоснованы математическими выводами, а достоверность научных положений подтверждена результатами моделирования и промышленными испытаниями на производстве.

Апробация работы. Проверка положений, разработанных в диссертации, осуществлялась в ходе выполнения х/д темы 8.44.02.08 "Разработка первого уровня АСУТП холодного копчения" в 1986-1988 гг. Экспериментальные исследования и производственные испытания проводились на Ахтарском рыбзаводе (г.Приморско-Ахтарск Краснодарского края), в ПТО "Севтехрыбпром" и на рыбзаводе N 2 (г.Мурманск), на Холодильнике "Росмясомолторг" (г.Краснодар).

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях молодых ученых КПИ в 1985-1989 гг., на Всесоюзной научно-технической конференции

"Автоматизация технологических процессов и производств в пищевой промышленности" (Москва 9-10 октября 1989 г.), на научных семинарах и заседаниях кафедры автоматизации производственных процессов КПИ, на научном семинаре кафедры автоматизации биотехнических систем Московского института прикладной биотехнологии.

Публикации. По результатам научных исследований опубликовано 4 статьи. Технические решения, предложенные в работе, защищены 6 авторскими свидетельствами СССР. Подано три заявки во ВНИИГПЭ на предполагаемые изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений, изложена на 153 страницах машинописного текста, включает 35 рисунков, 5 таблиц. Библиография содержит 135 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель диссертационной работы, кратко изложены теоретические и практические результаты работы.

В первой главе дана характеристика технологического процесса. Проведен анализ закономерностей явления и холодного копчения с точки зрения технологии продуктов с промежуточной влажностью. Показано, что влажосостояние поверхностного слоя продукта оказывает существенное влияние на интенсивность протекания массообменных процессов и, соответственно, на динамические характеристики продукта, как объекта сушки. Для этого продукт рассмотрен в виде симметричной, неограниченной трехслойной плоской пластины. Кусочно-слоевая линеаризация исходной нелинейной задачи влагопереноса по пространственной координате осуществлена здесь путем введения условно-постоянных обобщенных коэффициентов влагопереноса в каждом из слоев. Дифференциальные уравнения влагопереноса в этом случае записываются в виде линейных параболических уравнений

$$\frac{\partial U_1(x, \tau)}{\partial \tau} = D_1 \frac{\partial^2 U_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq R_1; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_2(x, \tau)}{\partial \tau} = D_2 \frac{\partial^2 U_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad R_1 < x \leq R_1 + 2R_2; \quad (2)$$

с граничными условиями

$$\frac{\partial U_2(R_1 + R_2, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (3)$$

$$U_1(R_1, \tau) = U_2(R_1, \tau); \quad (4)$$

$$\lambda_{m1} \frac{\partial U_1(R_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_{m2} \frac{\partial U_2(R_1, \tau)}{\partial x}; \quad (5)$$

где $U_1(x, \tau)$, $U_2(x, \tau)$ - влагосодержание соответственно внешнего и внутреннего слоя продукта;
 x, τ - пространственная координата и время;
 $\lambda_{m1}, \lambda_{m2}, D_1, D_2$ - коэффициенты влагопроводности и влагопереноса соответствующих слоев продукта.

Решением (1)-(5) найдена передаточная функция объекта по каналу влагосодержание поверхности продукта - среднее влагосодержание мяса

$$W_{cp}(S) = \frac{\text{sh} \sqrt{T_{R2} S}}{\sqrt{T_{R2} S} \left[K \text{sh} \sqrt{T_{R1} S} + \text{ch} \sqrt{T_{R1} S} \text{ch} \sqrt{T_{R2} S} \right]}, \quad (6)$$

где S - оператор Лапласа;
 T_{R1}, T_{R2}, K - соответственно постоянные времени влагопереноса в каждом из слоев и коэффициент связи.

Осуществляя линеаризацию задачи по аргументу S путем разложения в степенные ряды, находим

$$W_{cp}(S) = \frac{1 + T_{R2}/6 S}{1 + \left[\frac{T_{R1} + T_{R2}}{2} + \sqrt{T_{R1} T_{R2} K} \right] S + \left[\frac{1}{6} \sqrt{T_{R1} T_{R2}} (T_{R1} + T_{R2}) + \frac{T_{R1} T_{R2}}{4} \right] S^2}. \quad (7)$$

Анализ решения задачи влагопереноса показал, что выигрыш в длительности перевода объекта из начального U_2^0 в заданное конечное U_2^K состояние может быть получен не применением возможно более жесткого управляющего воздействия, что было бы справедливо для изначально линейного объекта, а нахождением такого режима влагообмена, при котором поверхностный слой продукта не попадает в подкритическую область влагосодержаний.

На основании проведенного анализа процесса и принятого критерия экономической эффективности сформирована стратегия управления, сущность которой состоит в активной модификации граничных условий путем стабилизации активности воды на поверхности при сохранении конвективного характера взаимодействия продукта с дымовоздушной средой в копильной установке.

Здесь же обоснован выбранный диапазон стабилизации этого параметра в ходе технологического процесса (0,68-0,71) и указаны управляющие воздействия для ее осуществления.

Предложенная стратегия в достаточной степени универсальна и малочувствительна к типу используемого технологического оборудования. Она обеспечивает оптимальные условия для протекания всех фаз процесса влагообмена, влагопереноса, сорбции и диффузии копильных компонентов, созревания продукта.

В заключении главы осуществлена постановка задачи исследований.

Во второй главе рассматриваются вопросы оценивания параметров состояния рыбопродукта в ходе технологического процесса. Здесь проведен анализ существующих методов и технических средств контроля влагосостояния и оценена возможность их применения при реализации выработанной стратегии управления. Показано, что известные методы мало пригодны для решения поставленных задач, и описаны технические решения, удовлетворяющие поставленным требованиям.

Разработанные способы оценки влагосостояния продукта путем контроля активности воды на его поверхности относятся к разряду динамических методов, не требуют непосредственного контакта чувствительных элементов измерительных преобразователей с обрабатываемым продуктом и индивидуальной градуировки, легко применимы в производственных условиях, позволяют осуществлять интегральные измерения на поверхности всей массы находящегося в технологической установке продукта, обладают низкой динамической погрешностью.

Сущность предложенного активно-равновесного динамического способа контроля активности воды на поверхности продукта заключается в регулировании температуры и влажности агента сушки в технологической установке до достижения им состояния тепло-массообменного равновесия с анализируемым продуктом на момент измерения и определения искомой активности воды на поверхности продукта по измеренной в этот момент влажности сушильного агента. Регулирование влажности осуществляется впрыскиванием водяных паров во входной поток агента сушки и изменением степени его рециркуляции. Момент достижения массообменного равновесия определяется по равенству влагосодержаний агента на входе и выходе копильной камеры. Проведенный анализ показывает, что в момент достижения динамического равновесия поверхности продукта с окружающей его средой активность воды на поверхности независимо от коэффициентов массообмена может быть найдена так

$$\alpha_w^{\text{II}} = \frac{P_B}{P_H(T_{\text{II}})} = \varphi^P \frac{P_H(\theta_c)}{P_H(\theta_{\text{II}})} \quad (8)$$

где $\alpha_w^{\text{II}}, \varphi^P$ - активность воды на поверхности и равновесная относительная влажность;
 P_B, P_H - парциальное давление и давление насыщенных паров;
 $\theta_{\text{II}}, \theta_c$ - температура поверхности продукта и агента сушки.

Здесь же показано, что применение разработанного способа контроля имеет некоторые ограничения по частоте применения, что связано с фактическим прерыванием технологического процесса на время измерения.

В этой связи разработан скоростной адаптивный неравновесный способ контроля

$$\alpha_w^{\text{II}} = \varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{II}} / 100 + K Q \Delta \varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{II}} / 100, \quad (9)$$

где $K = \frac{\alpha_w^{\text{II}} - \varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{II}} / 100}{Q \Delta \varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{II}} / 100}$ - коэффициент адаптации;

$\varphi_{\text{ВЫХ}}^{\text{II}}, Q, \Delta \varphi$ - относительная влажность агента, его расход и разность влагосодержаний между входом и выходом камеры;

α_w^{II} - активность воды при равновесном определении;

и скоростной прогнозирующий метод с коррекцией, заключающийся в измерении параметров среды, нанесении тестовых воздействий, повторных измерениях и построении аппроксимирующей зависимости

$$\alpha_w^{\text{II}} = \varphi^{\text{I}} - \Delta d^{\text{I}} Q^{\text{I}} \frac{\varphi^{\text{II}} - \varphi^{\text{I}}}{\Delta d^{\text{II}} Q^{\text{II}} - \Delta d^{\text{I}} Q^{\text{I}}}, \quad (10)$$

где индексы I и II относятся соответственно к первичным и пов-

торным измерениям параметров среды.

Проведенный анализ составляющих погрешности контроля активности воды показал соответствие разработанных методов выработанным требованиям. Проверка результирующей погрешности осуществлялась с использованием насыщенных солевых растворов. Ширина доверительного интервала при доверительной вероятности 0,95 в эксперименте составил 0,012.

Здесь же выработаны требования к аппаратурному обеспечению системы контроля, а также предложен способ оценивания влагосодержания центральной части продукта, и оценена инструментальная составляющая в погрешности ее контроля.

В третьей главе рассмотрены вопросы формирования пространства результатов исходных измерений. Исходя из анализа процедур, составляющих разработанные методы косвенного контроля, формируются требования к составу измерительных средств и их эксплуатационным характеристикам. Основываясь на описании соответствующих процедур контроля активности воды, текущего влагосодержания и прокопченности продукта, делается вывод о частичном пересечении подмножеств исходной информации, соответствующих каждой из процедур. В своей совокупности они образуют пространство результатов исходных измерений. Отмечается, что благодаря частичному совмещению функций удается снизить номенклатуру измерительных средств, однако при этом повышаются требования к точности соответствующих измерительных преобразователей.

Существенным фактором, учитываемом при разработке измерительных средств контроля параметров дымовоздушной среды, являются специфические условия измерений, заключающиеся в высокой концентрации копильных компонентов в анализируемой воздушной смеси, следствием чего является засмаливание чувствительных элементов приборов контроля, а также неблагоприятные воздействия на чувствительные элементы, имеющие место в период санитарной обработки и возможных возгораний воздуховодов копильной установки. Это выдвигает дополнительные требования к измерительным преобразователям в части их устойчивости к загрязнениям и способности их самоочистки и самодиагностики.

В настоящей работе выполнение сформулированных требований к первичным измерениям в системе контроля обеспечивается благодаря применению в разработанных измерительных средствах концепции форсированной импульсности режимов измерительных преобразований.

Это весьма перспективное направление развития измерительной техники потенциально обладает рядом своеобразных особенностей, реализация которых в конкретных измерительных системах приносит ощутимый эффект.

Использование указанной концепции при разработке измерительного преобразователя скорости движения дымовоздушной смеси привело к созданию термоанемометра с форсированным импульсным нагревом "Т"-образной термопары и SC преобразованием полезных сигналов. Такое техническое решение обеспечило эффективную работу термоанемометра как в режиме постоянной мощности разогрева нагреваемой нити термопары, так и в режиме активной стабилизации температуры этой нити. Сочетание указанных режимов работы позволяет в максимальной степени использовать возможности метода измерения. При этом в сравнении с аналогами здесь достигается значительное улучшение таких характеристик, как чувствительность, помехозащищенность, быстродействие. Примечательно, что устойчивая работа термоанемометра обеспечивается на любых реально существующих в копильной установке режимах движения дымовоздушной смеси без дополнительной настройки. Это также выгодно отличает предложенное техническое решение от известных.

Статическая характеристика и линейное приближение динамической характеристики импульсного термоанемометра описывается следующими выражениями

$$U_{Ta} = 1,4 \vartheta^{0,19} ; \tag{11}$$

$$W_{Ta}(S) = \frac{U_{Ta}(S)}{\vartheta(S)} = \frac{0,7e^{-3S}}{6,2S^2+4S+1} , \tag{12}$$

где $U_{Ta, \vartheta}$ - выходной сигнал термоанемометра (В) и

скорость анализируемой воздушной смеси (м/с), а постоянные времени выражены в секундах.

Концепция форсированной импульсности использована также и при разработке психрометрического измерительного преобразователя, в результате чего достигнута повышенная его помехозащищенность за счет обеспечения стабильного влагонасыщенного состояния чехла "мокрого" термометра независимо от свойств анализируемой среды. Наряду с этим импульсное инжектирование питающей воды в полость чехла обеспечивает и самоочистку его от конденсирующихся на поверхности копильных компонентов.

В разработанном измерительном термопреобразователе с форсированным импульсным питанием также применена указанная выше концепция. Это позволило достичь высокой чувствительности дифференциальных измерительных преобразований при значительной их помехозащищенности. Анализ принципиальной электрической схемы позволяет записать выражение для выходного сигнала термопреобразователя

$$U_{\text{ВЫХ}} S = \sum_{i=0}^n S(t-i[T+\tau]) E_{\text{ОП}} \frac{R_4}{R^*} \alpha \theta, \quad (13)$$

где $S(t-i[T+\tau])=1, \forall t \in (iT, i[T+\tau]);$

$S(t-i[T+\tau])=0, \forall t \notin (iT, i[T+\tau]);$

$U_{\text{ВЫХ}}, E_{\text{ОП}}$ - выходной сигнал и опорное напряжение термопреобразователя;

T, τ - период повторения и длительность импульса;

R_4, R^* - подстроечные сопротивления;

α, θ - температурный коэффициент материала чувствительного элемента и измеряемая температура.

Проведенные эксперименты и аналитическое моделирование позволили выбрать оптимальные параметры схемы измерительного преобразователя $\tau/T \leq 10^{-2}$ при $\tau \leq 2 \cdot 10^{-3}$ с.

В четвертой главе описана техническая реализация контроля

и управления влажностным состоянием поверхности рыбопродукта при вялении и холодном копчении, осуществляемая с использованием измерительно-информационной подсистемы.

Для выбора параметров системы контроля и управления проведена оценка динамических свойств поверхности продукта. В этой связи рассмотрена внешняя задача влагопереноса, характеризующая взаимодействие дымовоздушной среды с поверхностью продукта с учетом принятых ранее допущений о структуре последнего.

Модель внешнего массообмена имеет вид

$$W_{\text{ВН}}(S) = \frac{U_1(0, S)}{U_p(0, S)} = \frac{1 + \beta_1 S + \beta_2 S^2}{1 + S \left(\beta_1 + \frac{1}{B_1} a_1 \right) + S^2 \left(\beta_2 + \frac{1}{B_1} a_2 \right) + S^3 \left(\frac{1}{B_1} a_3 \right)}, \quad (14)$$

где $a_1 = T_{R_1} + \sqrt{T_{R_1} T_{R_2}} K$; $a_2 = \frac{1}{6} T_{R_1}^2 + \frac{1}{2} T_{R_1} T_{R_2} + \sqrt{T_{R_1} T_{R_2}} \left(\frac{1}{6} T_{R_1} + \frac{1}{2} T_{R_2} \right) K$;

$a_3 = \frac{1}{12} \left[T_{R_1}^2 T_{R_2} + \sqrt{T_{R_1} T_{R_2}} T_{R_1} T_{R_2} K \right]$;

$\beta_1 = \frac{1}{2} \left(T_{R_1} T_{R_2} \right) + K T_{R_1}$; $\beta_2 = \frac{1}{4} T_{R_1} T_{R_2} + \frac{1}{6} \sqrt{T_{R_1} T_{R_2}} \left(T_{R_1} + T_{R_2} \right) K$.

При $B_1 \sim 1,5$ на промышленной установке типа Н4-ИАКУ в результате проведения активных экспериментов получена следующая модель объекта по указанному каналу

$$W_{\text{ВН}}(S) = \frac{\alpha_{\text{П}}(S)}{Q(S)} = - \frac{0,37}{2,24S^2 + 3S + 1}, \quad (15)$$

где коэффициент передачи выражен в долях единицы, а постоянные времени имеют размерность часов.

При периоде дискретности 0,04 ч и относительной степени затухания переходного процесса 0,9 с учетом экстраполятора нулевого порядка численными методами проведена дискретная аппроксимация объекта и найдены оптимальные параметры настройки дискретного ПИ регулятора

$$W_{\text{ПИ}}(Z) = \frac{9,997 - 9,979Z^{-1}}{1 - Z^{-1}} \quad (16)$$

Указанный закон регулирования используется в системе как в режиме уравнивания при реализации активно-равновесного метода определения активности воды на поверхности продукта, так и в режиме стабилизации влажностного состояния поверхности при реализации разработанной стратегии адаптивного управления процессом.

На рисунке приведена структурная схема системы контроля и управления влажностным состоянием поверхности рыбопродукта при вялении и холодном копчении. Здесь же приведена содержательная логическая схема алгоритма (СЛСА) функционирования системы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

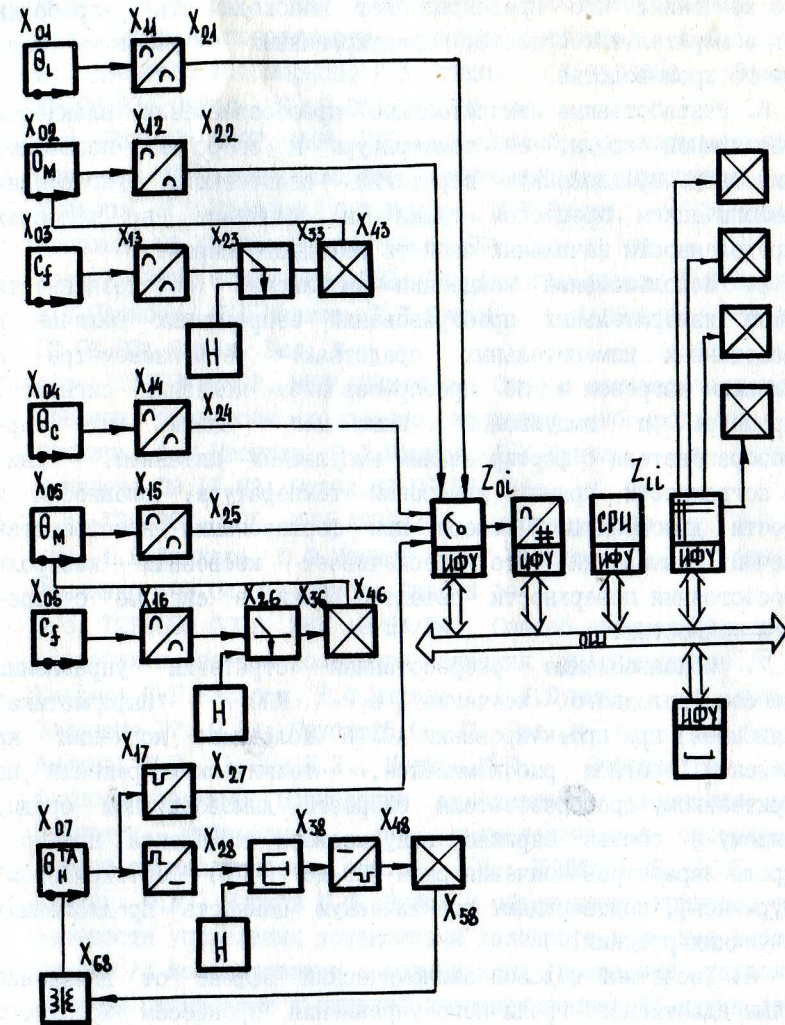
1. Выявлен экстремальный (с минимумом) характер зависимости длительности процесса перевода объекта сушки из произвольного начального в заданное конечное состояние от влажностного состояния поверхности продукта в процессе его переработки.

2. Сформулированные принципы адаптивного управления процессом позволяют предотвратить пересушивание поверхностных слоев продукта путем активной модификации граничных условий массообмена при сохранении конвективного характера взаимодействия дымовоздушной среды с поверхностью продукта.

3. Предложенная стратегия управления процессом холодного копчения позволяет создавать системы управления, функционирующие в условиях неопределенности свойств обрабатываемого сырья и обеспечивающие минимальную длительность процесса перевода продукта из множества возможных начальных состояний в заданное конечное.

4. Существующие методы и средства автоматического контроля в силу специфических условий измерения не обеспечивают требуемой точности при формировании пространства результатов исходных измерений в системе автоматического контроля и

Структурная схема и СЛСА ИИС



$$\Phi_1(\omega) \{ [I(x_{01}/x_{24})] \dots [I(x_{07}/x_{27})] \times \\ \times \int_1 \Phi_2(i) I(x_{2i}/z_{0i}) \omega(i=n) \Phi_3 [F:(z_{0i}/z_c)] \int_1 I(\omega:z_{c_j}) \} \Phi_1(E)$$

управления влажностью поверхности продукта в ходе холодного копчения, что предопределяет необходимость разработки новых измерительных средств, адаптированных к условиям копильного производства.

5. Разработанные измерительные преобразователи влажности дымовоздушной среды, ее температуры и скорости позволяют реализовать предложенную стратегию адаптивного управления технологическим процессом сушки и копчения в условиях неопределенности начальных свойств исходного сырья.

6. Использование концепции импульсной форсированности режимов измерительных преобразований непрерывных величин в разработанных измерительных средствах: термоанемометре с импульсным нагревом и SC преобразованием полезных сигналов, психрометре с импульсной инъекцией влаги и термопреобразователя с форсированным импульсным питанием - снижает погрешности прямых измерений температуры, влажности и скорости дымовоздушной смеси при формировании пространства первичных измерений, что обеспечивает косвенный контроль влажностного состояния поверхности объекта сушки в системе с требуемой точностью.

7. Использование разработанной стратегии управления процессом холодного копчения в НИО "Информатика" (г.Куйбышев) при проектировании АСУТП холодного копчения на Московском опытном рыбокомплексе, технических решений по измерительному преобразователю скорости дымовоздушной среды, входящему в состав серийно выпускаемого комплекта приборов контроля параметров копчения рыбы Н29-И57 в ПТО "Севтехрыбпром" (г.Мурманск), подтверждают практическую ценность предложенных технических решений.

8. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения системы адаптивного граничного управления процессом холодного копчения на одной копильной установке Н4-ИАКУ (для скумбрии) составляет 58,19 тыс.руб.

Совокупный экономический эффект от использования разработок термоанемометра, входящего в состав серийно выпускаемого комплекта приборов Н29-И57, составил 56 тыс.руб.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. А.с. И176245 СССР, МКИ G 01N33/02. Способ определения активности воды на поверхности пищевых продуктов / Ю.Е.Кичкарь, З.Г.Насибов, Ю.Ф.Марков, Д.Х.Бунин. - N 3633832; Заявлено 15.08.83; Опубл. 30.08.85, Бюл. N 32.
2. А.с. I333283 СССР, МКИ A23B4/04. Способ автоматического управления процессом холодного копчения рыбопродуктов / Ю.Е.Кичкарь, З.Г.Насибов, Ю.Ф.Марков, Д.Х.Бунин. - N 3984453; Заявлено 05.12.85; Опубл. 30.08.87, Бюл. N 32.
3. А.с. И32887 СССР, МКИ A23B4/04. Дымогенератор/ Ю.Е.Кичкарь, З.Г.Насибов, Ю.Ф.Марков, Д.Х.Бунин. - N 3602150; Заявлено 07.06.83; Опубл. Бюл. N 1.
4. А.с. И159537 СССР, МКИ A23B4/04. Способ автоматического управления процессом холодного копчения рыбопродуктов/ Ю.Е.Кичкарь, З.Г.Насибов, Ю.Ф.Марков, Д.Х.Бунин. - N 3685432; Заявлено 09.11.83; Опубл.07.06.85, Бюл. N 21.
5. А.с. I264887 СССР, МКИ A23B4/04. Дымогенератор / И.В.Зайцев, Ю.Е.Кичкарь, Ю.Ф.Марков, З.Г.Насибов. - N 3881045; Заявлено 09.04.85; Опубл. Бюл. N 39.
6. А.с. I296089 СССР, МКИ A23B4/04. Способ автоматического управления процессом холодного копчения рыбопродуктов / Ю.Е.Кичкарь, З.Г.Насибов, Ю.Ф.Марков, Д.Х.Бунин. - N 3801685; Заявлено 17.10.84; Опубл.15.03.87, Бюл. N 10.
7. Кичкарь Ю.Е., Бунин Д.Х., Марков Ю.Ф. Разработка АСУ технологическими процессами холодного копчения рыбы: Экспресс - информация, сер. технологического оборудования рыбной промышленности, вып. 4. - М.: ЦНИИТЭИ РК, 1985.
8. Кичкарь Ю.Е., Марков Ю.Ф. Выбор и обоснование критерия оптимальности управления установками холодного копчения рыбопродуктов // Моделирование и оптимизация управления технологическими процессами в пищевой промышленности: Сб.науч.трудов. -Краснодар, 1984.- С.92-97.
9. Кичкарь Ю.Е., Насибов З.Г., Марков Ю.Ф. Оценка погрешностей косвенного контроля параметров технологического процесса при сушке продуктов // Автоматизированные системы управления и

средства автоматики в пищевой промышленности : Сб. науч. трудов.- Краснодар. 1987.- С.91.

Ю. Кичкарь Ю.Е., Марков Ю.Ф. Исследование инструментальной составляющей в погрешности косвенного контроля влажности рыбопродуктов в ходе холодного копчения // Системы управления и средства автоматики в пищевой промышленности : Сб. науч. трудов.- Краснодар. 1988.- С.19.

II Кичкарь Ю.Е., Насибов З.Г., Марков Ю.Ф., Зайцев И.В. Контроль активности воды при сушке пищевых продуктов // Тез докл. науч.-техн. конф. "Автоматизация технологических процессов и производств в пищевой промышленности" 9 октября 1989 г.- М., 1989.- С.26.

Handwritten signature