

КОЛЯЗОВ Константин Александрович

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ
(на примере автоматизации технологических установок
в молочно-консервной промышленности)**

**Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в промышленности)**

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

Уфа – 2010

Работа выполнена
на кафедре систем управления в филиале Московского государственного уни-
верситета технологий и управления (МГУТУ) в г. Мелеузе

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.
Каяшев Александр Игнатьевич

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.
Атрощенко Валерий Владимирович,
зав. каф. оборудования и технологии сва-
рочного производства Уфимского государ-
ственного авиационного технического уни-
верситета

канд. техн. наук, доц.
Кирюшин Олег Валерьевич,
доц. каф. автоматизации технологических
процессов и производств Уфимского госу-
дарственного нефтяного технического уни-
верситета

Ведущая организация ГОУ ВПО «Альметьевский государственный
нефтяной институт»

Защита диссертации состоится «___» декабря 2010 г. в ___ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.



В.В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. На качество молочной продукции существенное влияние оказывает влажность исходного сырья – молока. Даже незначительное снижение этого показателя заметно нейтрализует негативное влияние окружающей среды и жизнедеятельности микроорганизмов на технологические процессы в молочно-консервной промышленности и, как следствие – повышает сроки хранения готовой продукции.

Однако удаление влаги из молочных продуктов сопряжено с большими энергозатратами. Например, в технологическом процессе выпаривания молока при низком давлении, который в молочной промышленности считается наиболее распространенным и сложным, количество затраченной энергии нелинейно возрастает, примерно, удваиваясь на каждые (5–10 %) выпаренной влаги.

В многовековой борьбе за экономию энергии при производстве молокопродуктов высокого качества наиболее эффективным, но вместе с тем и трудоемким оказалось ручное управление, когда человек, хорошо владеющий процессом, непосредственно введен в контур регулирования значениями технологических параметров. Попытки использовать для этих целей ПИ- и ПИД-регуляторы из-за нестабильности параметров сырья, нелинейности, многомерности и неопределенности биохимических явлений, протекающих в технологических аппаратах по переработке молока, не обеспечивают требуемого качества регулирования. Кроме того, ряд технологических процессов в молочно-консервной промышленности до сих пор не имеет точных математических моделей, что затрудняет использование наиболее рентабельных и широко распространенных классических систем регулирования. Такая же тенденция проявляется и по отношению к технологиям тепловой обработки молока, которые, как правило, имеют нелинейные математические модели высокого порядка. Но именно они зачастую являются наиболее энергозатратными и определяют уровень развития отрасли в целом и поэтому наиболее актуальны для автоматизации. Совершенно очевидно, что в подобных случаях целесообразно использовать нечеткое регулирование.

Обзор средств и способов управления технологическими процессами в молочно-консервной промышленности показывает, что нечеткие алгоритмы применяются, в основном, для поддержания на определенном уровне значения технологических параметров и практически не используются для экономии энергозатрат. Хотя в других отраслях (энергетика, машиностроение, химическая промышленность, предприятия стройматериалов и др.) нечеткое регулирование для решения подобных задач применяется с 70-х годов 20 века. Это подтверждается работами таких авторов как Л. А. Заде, Е. А. Мамдани, Цукамото, С. Осовского, В. В. Круглова, А. В. Леоненкова, И. А. Мочалова, Н. П. Деменкова, Б. Г. Ильясова, В. И. Васильева, А. П. Веревкина, В. Ц. Зориктуева, Р. А. Мунасыпова, А. Г. Лютова и др. Несмотря на большое количество публикаций по нечетким регуляторам, специфика нечеткого управления технологическими процессами в молочно-консервной отрасли, и особенно в части энергосбережения, не нашла должного освещения.

Таким образом, задача оперативного управления снижением затрат энергии на базе нечетких алгоритмов, учитывающей особенности технологических процессов и

производств в молочно-консервной промышленности является актуальной научной задачей, решение которой способствует снижению себестоимости молочных продуктов без привлечения дополнительных крупномасштабных инвестиций.

Целью диссертационной работы является снижение затрат энергии за счет разработки системы управления на основе нечетких алгоритмов с автоматической модификацией системы производственных правил на примере технологического процесса выпаривания молочных продуктов.

Для достижения цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Разработать нечеткий алгоритм и на его основе систему производственных правил, модификация которой в режиме реального времени обеспечивает снижение энергозатрат в процессе выпаривания молочных продуктов при поддержании в них приемлемого содержания влаги.

2. Для проверки соответствия построенной системы производственных правил задачам снижения энергозатрат в вакуум-выпарном аппарате и повышения качества готовой продукции построить имитационную модель управления технологическим процессом выпаривания молочных продуктов.

3. На базе нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью и автоматической модификацией системы производственных правил разработать алгоритм управления, обеспечивающий повышение качества готовой продукции и снижение потребления энергии вакуум-выпарным аппаратом за счет уменьшения времени отклика его системы управления.

4. Разработать интеллектуальную систему управления процессом выпаривания молочных продуктов, реализующую нечеткое управление снижением затрат энергии и обеспечивающую приемлемое качество готовой продукции при вариации в широких пределах химических и биохимических показателей исходного сырья.

5. Провести экспериментальные исследования процесса выпаривания молочных продуктов на реальном вакуум-выпарном аппарате с последующей оценкой уменьшения погрешности регулирования и затрат энергии от внедрения алгоритмов нечеткого управления.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе научных задач использовались: теория нечетких множеств, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), математического и имитационного моделирования, а также баз данных и знаний.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе теоретических результатов и формулировок обеспечивается корректным применением аппарата математического и имитационного моделирования и теории нечетких множеств. Достоверность предложенных методов подтверждается результатами, полученными путем проведения экспериментальных исследований на реальном технологическом процессе молочно-консервной промышленности.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Новизна предложенных нечеткого алгоритма и системы производственных правил для управления технологическим процессом выпаривания молочных продуктов состоит в обеспечении снижения затрат энергии при стабилизации в режиме

реального времени на минимальном уровне основного показателя качества готовой продукции – влажности.

2. Новизна построенной имитационной модели процесса выпаривания молочных продуктов на основе нечетких алгоритмов заключается в использовании её для управления снижением потребления энергии вакуум-выпарным аппаратом и повышения качества производимого продукта путем автоматической модификации в реальном времени системы производственных правил нечеткого регулятора.

3. Новизна разработанной системы регулирования расхода пара состоит в том, что она построена на базе нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью с автоматической модификацией системы производственных правил, позволяющая, по сравнению с традиционными нечеткими алгоритмами управления процессом выпаривания, снизить время отклика программы на изменение расхода энергии и повысить качество молочных продуктов.

4. Новизна предложенной автоматизированной системы управления снижением затрат энергии в процессе выпаривания молочных продуктов заключается в автоматической настройке нечетких алгоритмов управления снижением затрат энергии в процессе выпаривания и сохранении качества производимых молочных продуктов при широкой вариации параметров сырья, основанной на данных, получаемых в режиме реального времени.

5. Новизна экспериментального исследования процесса выпаривания молочных продуктов на реальной технологической установке состоит в установлении фактов снижения погрешности и расхода энергии за счет уменьшения времени отклика алгоритма управления на основе нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Алгоритмы и способные к модификации системы производственных правил для управления технологическим процессом выпаривания молочных продуктов, обеспечивающих снижение энергозатрат и повышение качества готовой продукции в режиме реального времени.

2. Имитационная модель нечеткого регулирования расхода пара, используемая в процессе выпаривания молочных продуктов для снижения энергозатрат и повышения качества готовой продукции.

3. Система управления на базе нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью и автоматической модификацией системы производственных правил, в которой благодаря снижению времени отклика нечеткого алгоритма на изменение затрат энергии при выпаривании молочных продуктов с минимальным содержанием влаги, снижен расход энергии, потребляемой вакуум-выпарным аппаратом.

4. Интеллектуальная система управления процессом выпаривания молочных продуктов на базе программируемого контроллера, реализующего нечеткий алгоритм управления снижением затрат энергии и автоматическую настройку вакуум-выпарного аппарата на производство качественных молочных продуктов из сырья, биохимические характеристики которого изменяются в широком диапазоне.

5. Результаты экспериментальных исследований на реальной технологической установке для выпаривания молочных продуктов, подтверждающие снижение затрат энергии и погрешности регулирования, благодаря использованию нечеткого

регулятора с лингвистической обратной связью, автоматической модификацией системы производственных правил и минимизированным временем отклика.

Практическая значимость полученных результатов и их реализация

1. Внедрена система управления снижением затрат энергии в процессе выпаривания молочных продуктов, обеспечившая повышение качества управления технологическим процессом и позволившая снизить затраты энергии на 15 % и получить экономический эффект в размере 714 тыс. рублей в год на один технологический аппарат.

2. Основные результаты диссертационной работы внедрены в технологический процесс Мелеузовского молочно-консервного комбината и в учебный процесс филиала Московского государственного университета технологии и управления г. Мелеуза (лабораторный практикум по дисциплине «Автоматизация технологических процессов» для студентов специальности 220301).

3. Получен патент на полезную модель № 51242 «Самонастраивающаяся система автоматического управления нестационарным технологическим объектом».

Апробация работы. Результаты исследования и основные его положения докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры информационных технологий и систем управления (филиал Московского государственного университета технологий и управления (МГУТУ) в г. Мелеузе, 2005–2010 гг.) и получили положительную оценку на следующих конференциях и симпозиумах, проводимых различными академическими учреждениями и высшими учебными заведениями России:

– X Международной научно-практической конференции «Стратегия развития пищевой промышленности», (Москва, 27–28 мая, 2004);

– VI международной конференции «Северэнерготех-2005» (23–25 марта 2005 г., Ухта);

– Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы химической технологии и подготовки кадров» (28–29 сентября 2006 г. Стерлитамак);

– на расширенном семинаре кафедр «Информационные технологии и системы управления», «Технологии и машины пищевых производств», «Машины и аппараты пищевых производств» в филиале Московского государственного университета технологий и управлений в г. Мелеузе (март, 2010).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 15 работах, в том числе в виде 2 научных статей в рецензируемых изданиях из списка ВАК, 1 патент и 12 – в сборниках материалов конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 170 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы основного материала, заключение, 44 рисунка, библиографический список из 167 наименований на 17 страницах и приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована цель работы, описана структура и дан краткий обзор рабо-

ты, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту, раскрыта научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведен анализ технологического процесса выпаривания молочных продуктов. Установлено, что для систем регулирования расхода пара существует необходимость формирования в режиме реального времени задающих воздействий, обеспечивающих снижение затрат энергии.

В качестве объекта управления выбран процесс выпаривания сгущенного молока в калоризаторе, поскольку в пищевой промышленности он является одним из основных потребителей энергии. Схема двухкорпусной вакуум-выпарной установки циркуляционного типа непрерывного действия для сгущения цельного и обезжиренного молока, а также для выпаривания сыворотки представлена на рисунке 1.

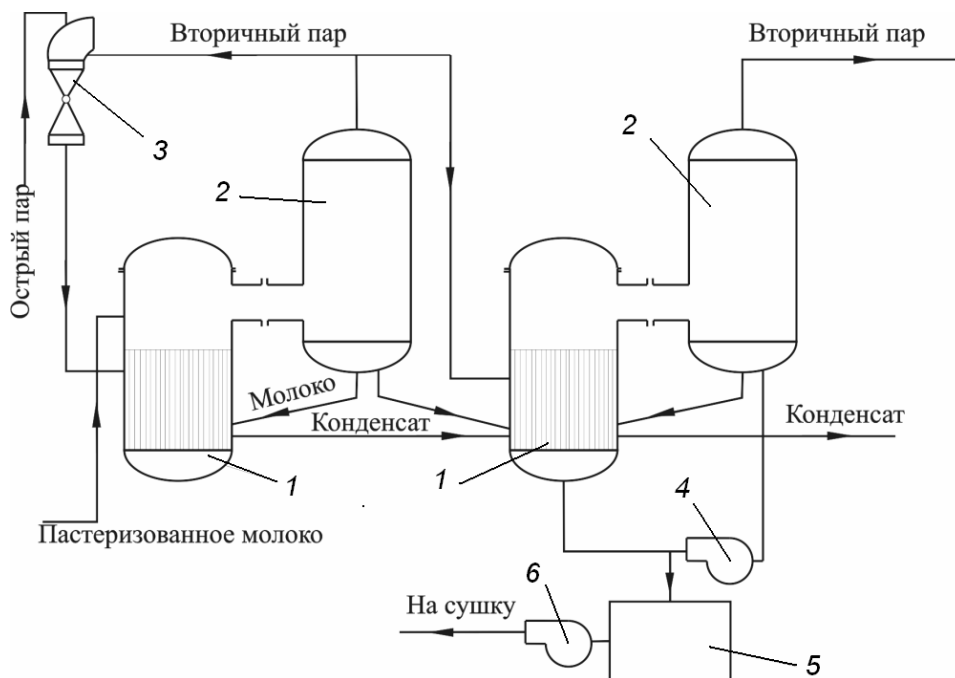


Рисунок 1 – Схема двухкорпусной вакуум-выпарной установки циркуляционного типа непрерывного действия:

1 — калоризатор; 2 — паропроделитель; 3 — термокомпрессор; 4 — циркуляционный насос; 5 — промежуточный бак с мешалкой; 6 — насос для подачи сгущенного молока на сушку

Анализ технологического процесса показывает, что поддерживать постоянную температуру молока в корпусе вакуум-выпарной установки в режиме реального времени является трудно реализуемой задачей. Это связано с тем, что молоко является «живым» сырьем, химический состав которого меняется от сезона к сезону. В процессе получения, хранения, транспортировки и переработки молоко также может изменять свои свойства под воздействием целого ряда факторов: температуры окружающей среды, жизнедеятельности организмов и др. Учесть все эти факторы при производстве молочных продуктов не представляется возможным. Поэтому применяемые в настоящее время в молочно-консервной промышленности типовые ПИ-, ПИД-регуляторы не обеспечивают должного качества управления процессом выпаривания молочных продуктов. Следует отметить, что применяются они в основном для поддержания на заданном уровне таких параметров как температура, давление и расход.

В ходе анализа существующих систем управления процессами выпаривания молочных продуктов установлено, что наилучшим способом снижения затрат энергии является прямое регулирование расхода пара, при котором, к тому же, достигается стабильно высокая производительность установки и требуемое качество готового продукта. Задачей систем регулирования в этом случае является формирование задающих воздействий, обеспечивающих уменьшение расхода пара без потери интенсивности протекания процесса и снижения качества конечного продукта.

Проведенный обзор методов реализации нечетких регуляторов в молочно-консервной промышленности показывает, что, по сравнению с типовыми ПИД-регуляторами, они позволяют обеспечить более высокое качество управления, отличаются простым алгоритмом синтеза и могут успешно использоваться в процессах тепловой обработки молочных продуктов.

Анализ средств управления показал, что для достижения наилучшего результата при синтезе нечеткой системы управления в молочно-консервной промышленности целесообразно использовать нечеткий регулятор с автоматической модификацией системы продукционных правил, моделирующей действия человека-оператора (эксперта).

Во второй главе разработан нечеткий алгоритм и на его основе нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью, система продукционных правил которого модифицируется в режиме реального времени.

Опытным путем определены условия, при которых калоризатор работает наиболее интенсивно. Установлено, что уровень, до которого в аппарате с вертикальными трубками некипящая жидкость заполняет трубки, имеет большое влияние на интенсивность процесса, которая характеризуется величиной коэффициента теплопередачи.

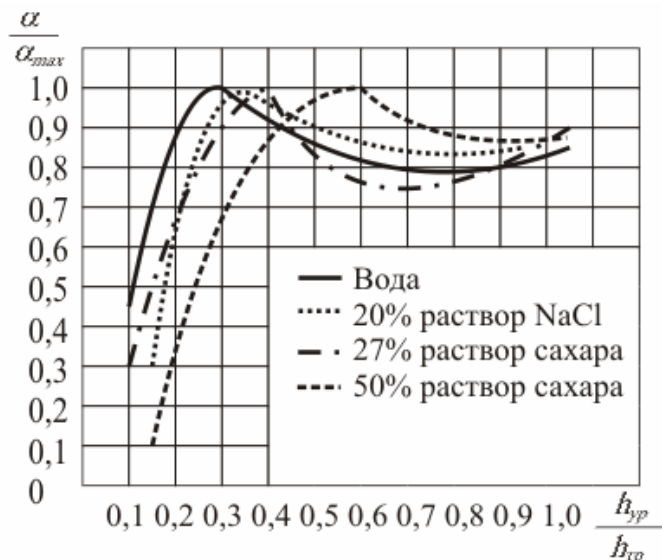


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента теплопередачи от степени заполнения вакуум-аппарата

α – коэффициент теплопередачи, α_{max} – максимальный коэффициент теплопередачи, h_{yp} – высота заполнения трубки, $h_{тр}$ – высота трубки.

На рисунке 2 приведены графики, иллюстрирующие интенсивность теплопередачи в зависимости от наполнения и концентрации жидкости в вакуум-аппарате, из которых следует, что наибольший коэффициент теплоотдачи достигается при за-

полнении от 0,3 до 0,6 высоты H вертикальных трубок. Многочисленные экспериментальные исследования подтверждают, что калоризаторы работают наиболее эффективно при наполнении трубок примерно от $1/3$ до $1/2 H$. При этом оптимальное заполнение трубок $h_0 = H/3$.

Величина коэффициента теплопередачи в вакуум-аппарате играет решающую роль для достижения высокой интенсивности процесса выпаривания и снижения потерь энергии. Поскольку граница раздела жидкой и газообразной фазы продукта является нечеткой, то технически невозможно непосредственно измерить или регулировать высоту заполнения трубок в процессе работы вакуум-выпарного аппарата. Также невозможно в режиме реального времени измерять коэффициент теплопередачи аппарата. Поэтому добиться высокого коэффициента теплопередачи возможно за счет оперативного регулирования отношения расхода пара к расходу сырья, так как именно это отношение влияет на степень заполнения трубок аппарата. При условии поддержания постоянного расхода сырья, главным параметром остается расход пара. Таким образом, единственным способом достижения максимума коэффициента теплопередачи α , помимо совершенствования конструкции аппарата, является прямое регулирование расхода теплоносителя $F_{нар}$.

В процессе производства молочных продуктов наряду со снижением энергозатрат, необходим автоматический контроль за качеством готовой продукции. Основным параметром качества при выпаривании является влажность λ . Для связи расхода энергии с влажностью введен коэффициент эффективности энергозатрат $K_{эм}$:

$$K_{эм} = \frac{F_{нар}}{(\lambda_1 - \lambda)}, \quad (1)$$

где λ – влажность готового продукта, λ_1 – влажность сырья, $F_{нар}$ – расход пара.

Влажность готового продукта определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сырья}}{\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}} \lambda_1, \quad (2)$$

где ρ_c и ρ_n – соответственно плотность сырья и готовой продукции при температуре T_0 ; β_c и β_n – температурный коэффициент объемного расширения сырья и готовой продукции.

Выражение (1) с учетом (2) принимает вид:

$$K_{эм} = \frac{F_{нар} \rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}}{\lambda_1 (\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод} - \rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сырья})}. \quad (3)$$

Коэффициент эффективности энергозатрат представляет собой количество энергии, затраченной на выпаривание единицы влажности. Чем ниже $K_{эм}$, тем выше эффективность использования энергии. Соответственно для снижения затрат энергии необходимо стремиться к уменьшению данного коэффициента.

Из-за сложности физических процессов в калоризаторе до сих пор не удается разработать строгую математическую модель для минимизации расхода энергии при выпаривании молочных продуктов. Для решения этой весьма важной для молочно-консервной промышленности задачи в диссертационной работе были проведены экспериментальные исследования, на основе которых построена функция зависимости температуры выпаривания от расхода греющего пара и расхода продукта, представленная на рисунке 3.

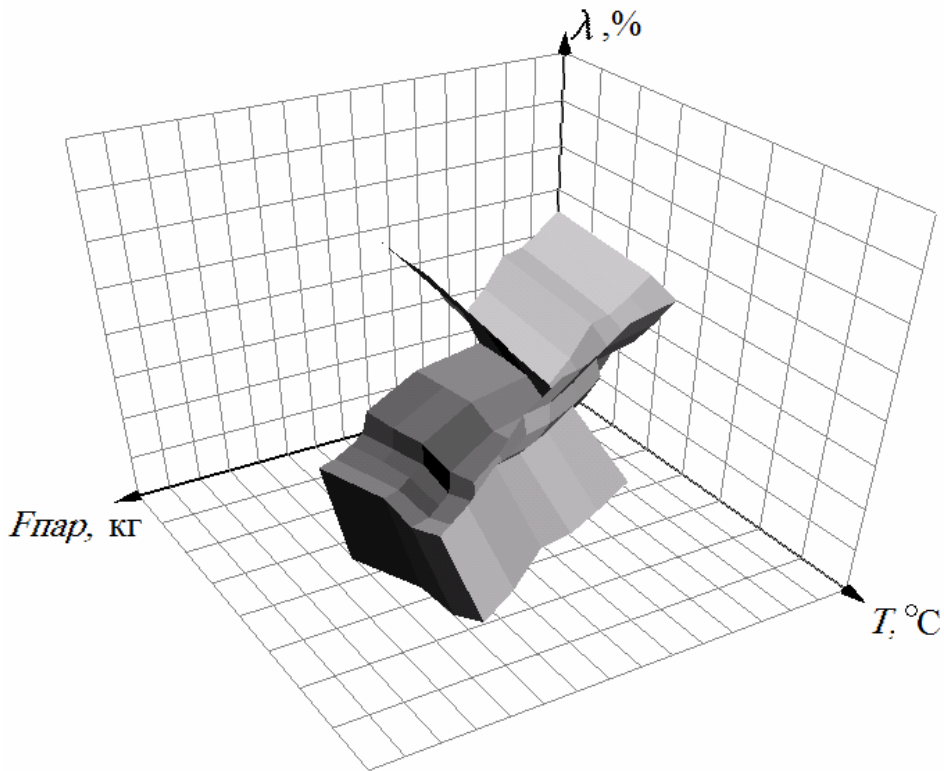


Рисунок 3 – Зависимость влажности (λ) от температуры (T) и расхода пара ($F_{пар}$) в калоризаторе

На основании этих исследований установлена зависимость коэффициента эффективности энергозатрат $K_{эм}$ от расхода пара при различных значениях температуры выпаривания. На рисунке 4 представлена зависимость $K_{эм}$ от расхода пара при оптимальной температуре выпаривания ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

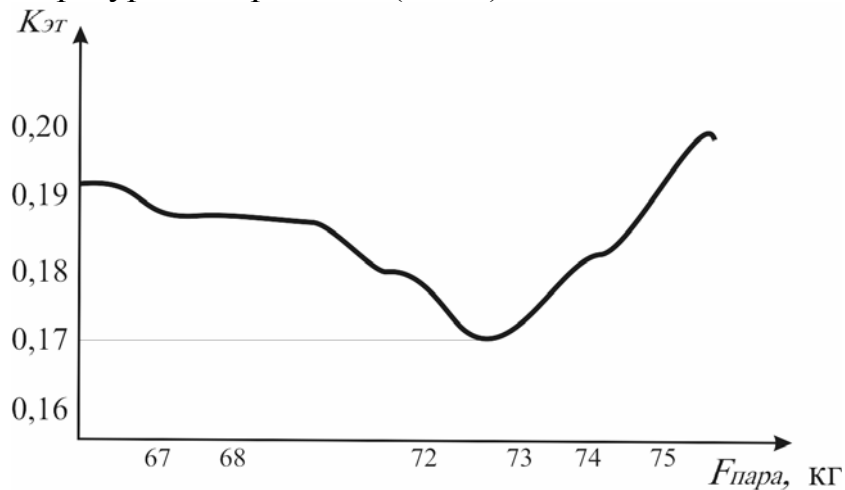


Рисунок 4 – Зависимость $K_{эм}$ от расхода пара при $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Из него следует, что существует режим работы вакуум-выпарного аппарата, при котором коэффициент эффективности энергозатрат, а, значит, и расход энергии имеют минимальное значение. Для управления вакуум-выпарным аппаратом с минимальным значением $K_{эм}$ предложено ввести три лингвистические переменные: «Температура», «Расход пара» и «Влажность». С этой целью кривая на рисунке 5 разбита на 9 зон, границы которых определяются точками перегиба зависимости температуры T от расхода пара в калоризаторе.

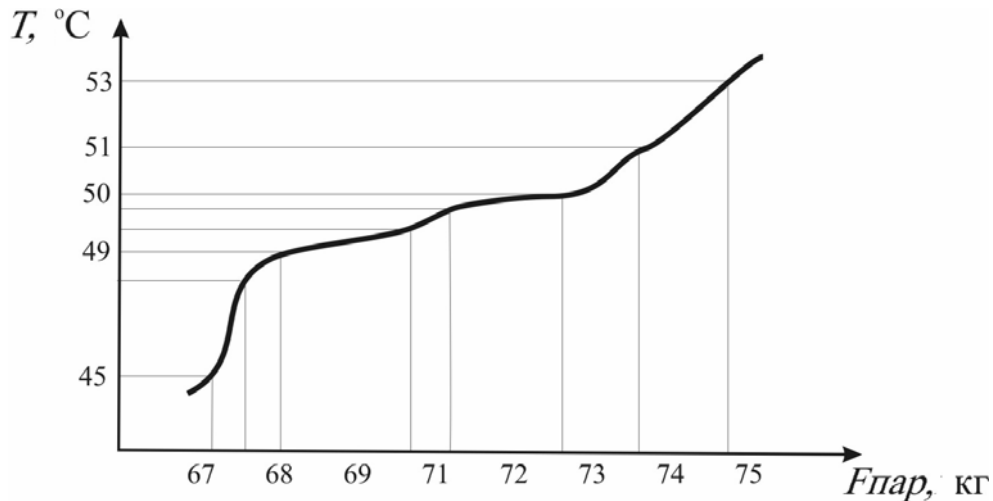


Рисунок 5 – Зависимость "Температура-расход пара" в калоризаторе при $K_{эм}=0,17$

В работе предложен метод автоматической модификации продукционных правил, основанный на алгоритме выделения зон в режиме реального времени по графику на рисунке 5 и последующем изменении в соответствии с количеством выделенных зон функций принадлежности термов лингвистических переменных. С этой целью в процессе работы выпарной установки управляющая программа выделяет точки перегиба функции изменения температуры в зависимости от изменения расхода пара, которые в дальнейшем становятся границами новых зон. Затем каждой зоне ставятся в соответствие термы лингвистических переменных «Температура», «Расход пара» и «Влажность». Строятся функции принадлежности упомянутых лингвистических переменных. Так как зависимость "Температура–расход пара" носит нелинейный характер, то область значений каждой переменной разбивается на следующие неравные интервалы:

$$\mu(t) = \begin{cases} 1 - |t - 46| / 2 & \text{для } t \in [45; 47,7] ; \\ 1 - |t - 47,75| / 0,25 & \text{для } t \in [47,5; 48] ; \\ 1 - |t - 48| / 0,25 & \text{для } t \in [47,75; 48,25] ; \\ 1 - |t - 48,5| / 0,5 & \text{для } t \in [48; 49] ; \\ 1 - |t - 49| / 0,25 & \text{для } t \in [48,75; 49,25] ; \\ 1 - |t - 49,5| / 0,5 & \text{для } t \in [49; 50] ; \\ 1 - |t - 50| / 0,4 & \text{для } t \in [49,6; 50,4] ; \\ 1 - |t - 50,5| / 0,5 & \text{для } t \in [50; 51] ; \\ 1 - |t - 52| / 2 & \text{для } t \in [50,5; 52,5] . \end{cases} \quad (4)$$

Кривая на рисунке 5 разбита на зоны, в пределах которых она имеет постоянный угол наклона к оси «Расход пара». Центр каждой зоны по оси температур на рисунке 6 является центром термов функции принадлежности лингвистической переменной «Температура». Аналогичным образом строятся функции принадлежности термов для лингвистических переменных «Расход пара» и «Влажность».

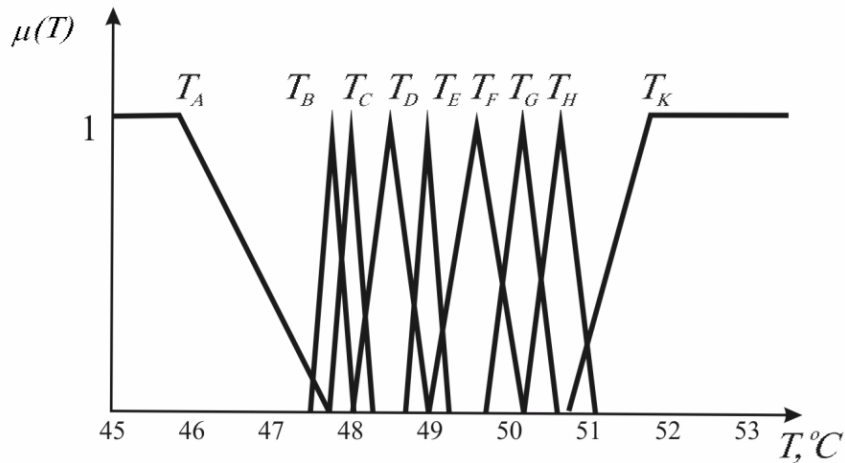


Рисунок 6 – Функции принадлежности термов лингвистической переменной «Температура»

Управление вакуум-выпарным аппаратом осуществляется следующей системой продукционных правил:

- 1) Если T это T_A и $K_{эм}$ — это $K_{выс}$, то $F_{нап}$ — это F_A ;
- 2) Если T это T_B и $K_{эм}$ — это $K_{выс}$, то $F_{нап}$ — это F_B ;
- 3) Если T это T_C и $K_{эм}$ — это $K_{выс}$, то $F_{нап}$ — это F_C ;
- 4) Если T это T_A и $K_{эм}$ — это $K_{ср}$, то $F_{нап}$ — это F_B ;
-
- 20) Если T это T_A и $K_{эм}$ — это $K_{низ}$, то $F_{нап}$ — это F_A ;
-
- 36) Если T это T_K и $K_{эм}$ — это $K_{он}$, то $F_{нап}$ — это F_K .

Количество правил равно произведению количества термов по расходу пара на количество термов по коэффициенту эффективности. Таким образом, общее количество правил равно 36. Лингвистическая переменная «Влажность» используется во второй системе продукционных правил:

- 1) Если λ — это λ_A , то $F_{нап}$ — это F_A ;
- 2) Если λ — это λ_B , то $F_{нап}$ — это F_B ;
- 3) Если λ — это λ_C , то $F_{нап}$ — это F_C ;
- 4) Если λ — это λ_D , то $F_{нап}$ — это F_D ;
- 5) Если λ — это λ_E , то $F_{нап}$ — это F_E ;
- 6) Если λ — это λ_F , то $F_{нап}$ — это F_F ;
- 7) Если λ — это λ_G , то $F_{нап}$ — это F_G ;
- 8) Если λ — это λ_H , то $F_{нап}$ — это F_H ;
- 9) Если λ — это λ_K , то $F_{нап}$ — это F_K .

Обе системы продукционных правил составлены таким образом, что в каждый момент времени срабатывает только одно правило в каждой из систем. Значение температуры получено по механизму нечеткого вывода Е. А. Мамдани.

В третьей главе выполнен синтез нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью и динамической модификацией системы продукционных правил (рисунок 7), а также проведена оценка его быстродействия. Его особенностью является отсутствие четкого сравнивающего устройства, которое для нечеткого регулятора является функционально избыточным, поскольку предназначено для сравнения

непрерывных величин, тогда как в нечетких регуляторах используются термы лингвистических переменных, то есть конечное, а не бесконечное число фиксированных значений этих величин.

Регулируемая величина T с помощью фаззификатора (ФЗ) преобразуется в лингвистическую переменную «Температура» с термами $T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G, T_H, T_K$, которые подаются на вход нечеткого регулятора (СП). Аналогичным преобразованиям подвергается параметр λ . Следует отметить, что абсциссы вершин равнобедренных треугольников равны четким фиксированным значениям регулируемой величины, подаваемым в виде соответствующих уставок на вход фаззификатора. На регулируемый клапан подачи пара (ИО) поступает четкое значение управляющего воздействия B , соответствующее вычисленному дефаззификатором (ДФ) расходу пара, подаваемого на объект управления (ОУ).

Логическая схема алгоритма функционирования предлагаемого нечеткого регулятора, включая процедуру сравнения в нечетком формате текущего значения T с её фиксированными значениями, представлена на рисунке 8. Фактическая длительность цикла сканирования предложенного нечеткого регулятора зависит от двух об-

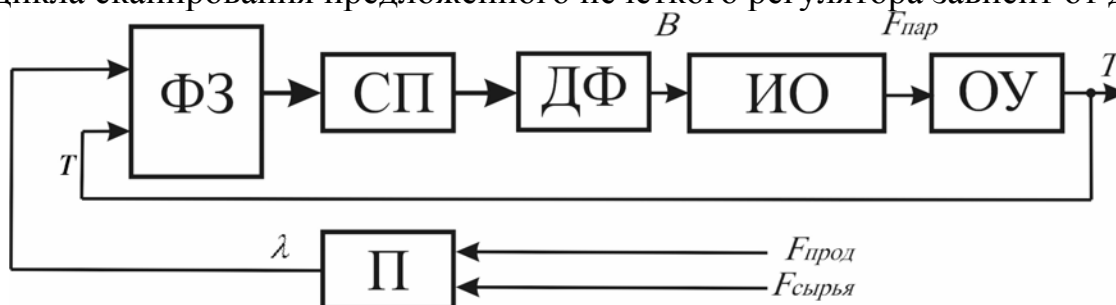


Рисунок 7 – Структурная схема регулятора температуры в выпарном аппарате с лингвистической обратной связью

стоятельств: на сколько часто в процессе работы нечеткого регулятора условия, содержащиеся в операторах условного перехода, бывают истинными (частота срабатывания оператора условного перехода) и в какой последовательности размещены символы действия этих операторов. Отсюда нетрудно выявить стратегию размещения операторов условного перехода в структуре логической схемы алгоритма на рисунке 8 с целью получения наибольшего быстродействия нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью. Быстродействие нечеткого регулятора будет наибольшим (время отклика наименьшее), если операторы условного перехода в его логической схеме алгоритма функционирования будут размещены слева направо в порядке убывания их частоты срабатывания.

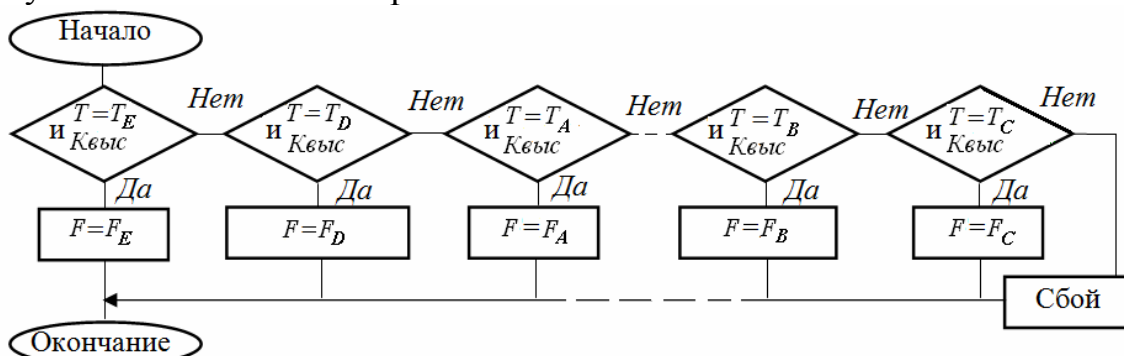


Рисунок 8 – Схема алгоритма функционирования нечеткого регулятора

Применительно к логической схеме алгоритма это означает, что оператор с первым условием должен обладать наибольшей, а оператор со вторым по последовательности условием – наименьшей частотой срабатывания. Количество условий соответствует количеству продукционных правил и равно 36.

На реальных технологических установках весьма трудоемко с приемлемой погрешностью настроить базу правил нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью. Отсюда возникла необходимость в разработке имитационной модели нечеткого управления процессом выпаривания с целью быстрого и точного определения частоты срабатывания правил и корректности составления системы нечетких продукционных правил для конкретной технологической установки. Под корректностью в данном случае понимается система нечетких правил, в которой в любой момент времени только одно правило имеет истинную условную часть.

По результатам работы имитационной модели в режиме реального времени определяется порядок расположения продукционных правил, обеспечивающий наибольшее быстродействие нечеткого регулятора. Эти данные использовались для реализации системы регулирования в пакете программ SIMATIC Manager V5.4. Пакет включает в себя несколько подпрограмм для работы с контроллерами фирмы Siemens.

Произведен сравнительный анализ переходных процессов регулирования расхода пара (рисунок 9,а) и температуры (рисунок 9,б) для вакуум-выпарного аппарата с ПИД- и нечетким регуляторами. Эксперименты проводились на автоматизированном рабочем месте оператора, реализованном на компактной панели модели MP 277-10 Touch.

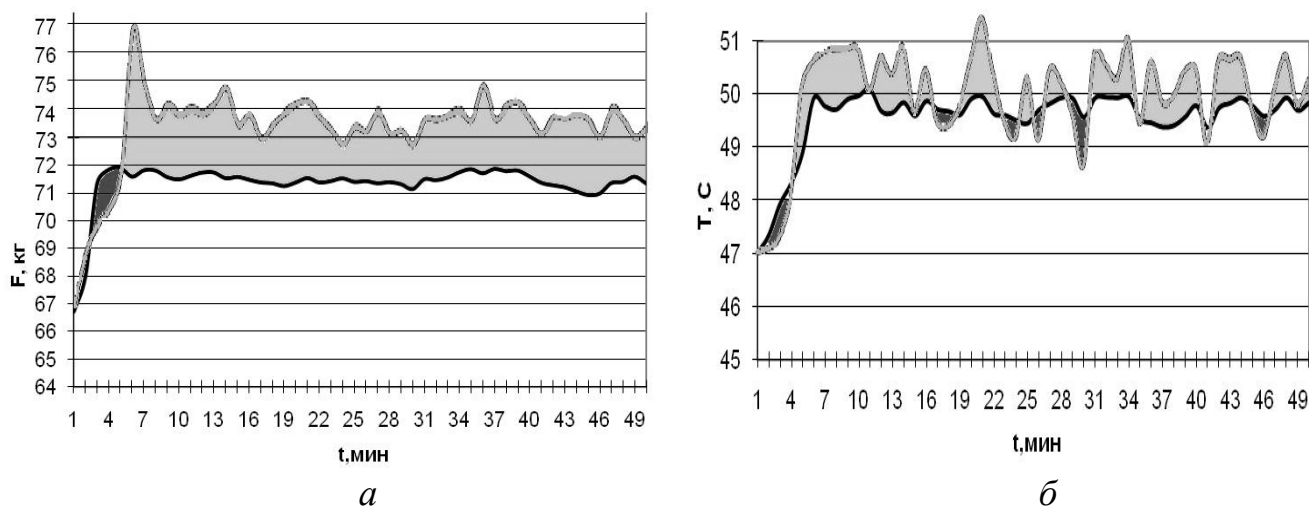


Рисунок 9 – Переходный процесс расхода пара (а) и температуры (б) в калоризаторе (верхние кривые для ПИД-, а нижние – для нечетких регуляторов)

Анализ полученных кривых показывает, что нечеткий регулятор обеспечивает более плавное регулирование, чем ПИД-регулятор. Вследствие большой амплитуды колебания температуры в выпарном аппарате при использовании ПИД-регулятора интенсивность протекания технологического процесса снижается, из-за чего в среднем на 10 % по сравнению с нечетким регулятором (рисунок 10) повышается расход пара на поддержание одной и той же температуры.

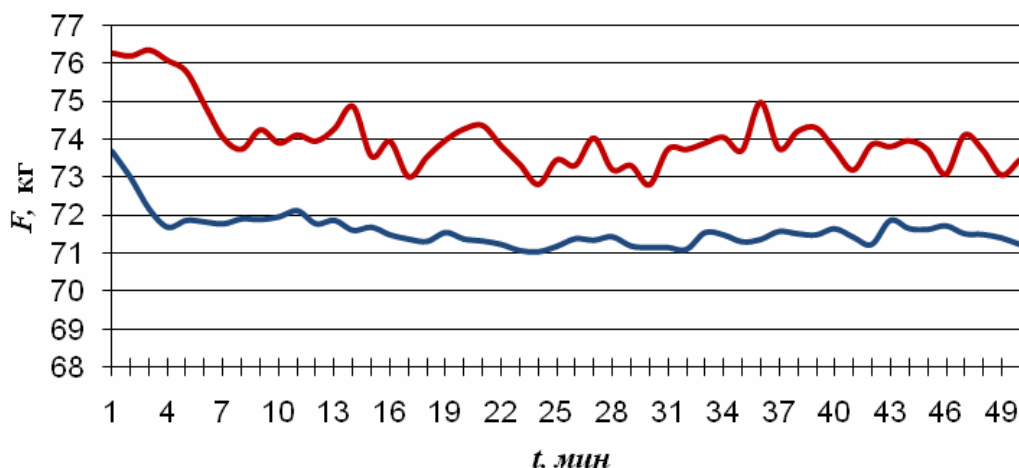


Рисунок 10 – График зависимости расхода пара F установки по выпариванию молока с ПИД- (верхний график) и нечетким (нижний график) регуляторами

В четвертой главе рассмотрены прикладные аспекты реализации программного обеспечения для управления технологическим процессом выпаривания молочных продуктов на базе контроллера Siemens S313C с использованием пакета SIMATIC Manager. Осуществлен выбор технического и программного обеспечения максимально соответствующего поставленной цели – снижению затрат энергии за счет разработки интеллектуальной системы управления на базе нечеткого регулятора на примере технологического процесса выпаривания молочных продуктов.

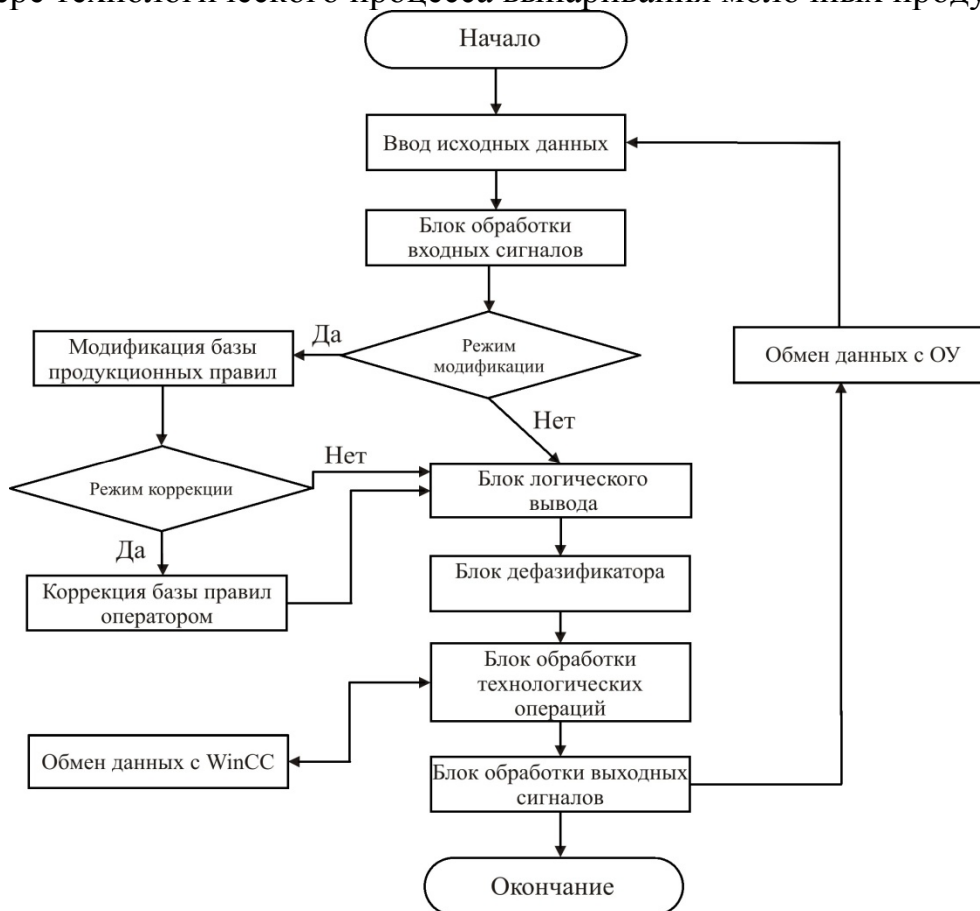


Рисунок 11 – Алгоритм управления процессом выпаривания

На рисунке 11 представлен алгоритм управления процессом выпаривания молочных продуктов. Его особенностью является наличие блоков автоматической модификации и коррекции базы продукционных правил. Эти блоки работают совместно с основной программой и порядок расположения правил в них корректируется в режиме реального времени.

На основе универсальной структуры АСУ ТП разработана интеллектуальная система управления процессом выпаривания молочных продуктов, позволяющая сократить расход энергии и снизить влажность в молочных продуктах. Построен интерфейс АРМ оператора (рисунок 12), максимально удовлетворяющий требованиям к системам автоматизированного контроля в молочно-консервной промышленности.

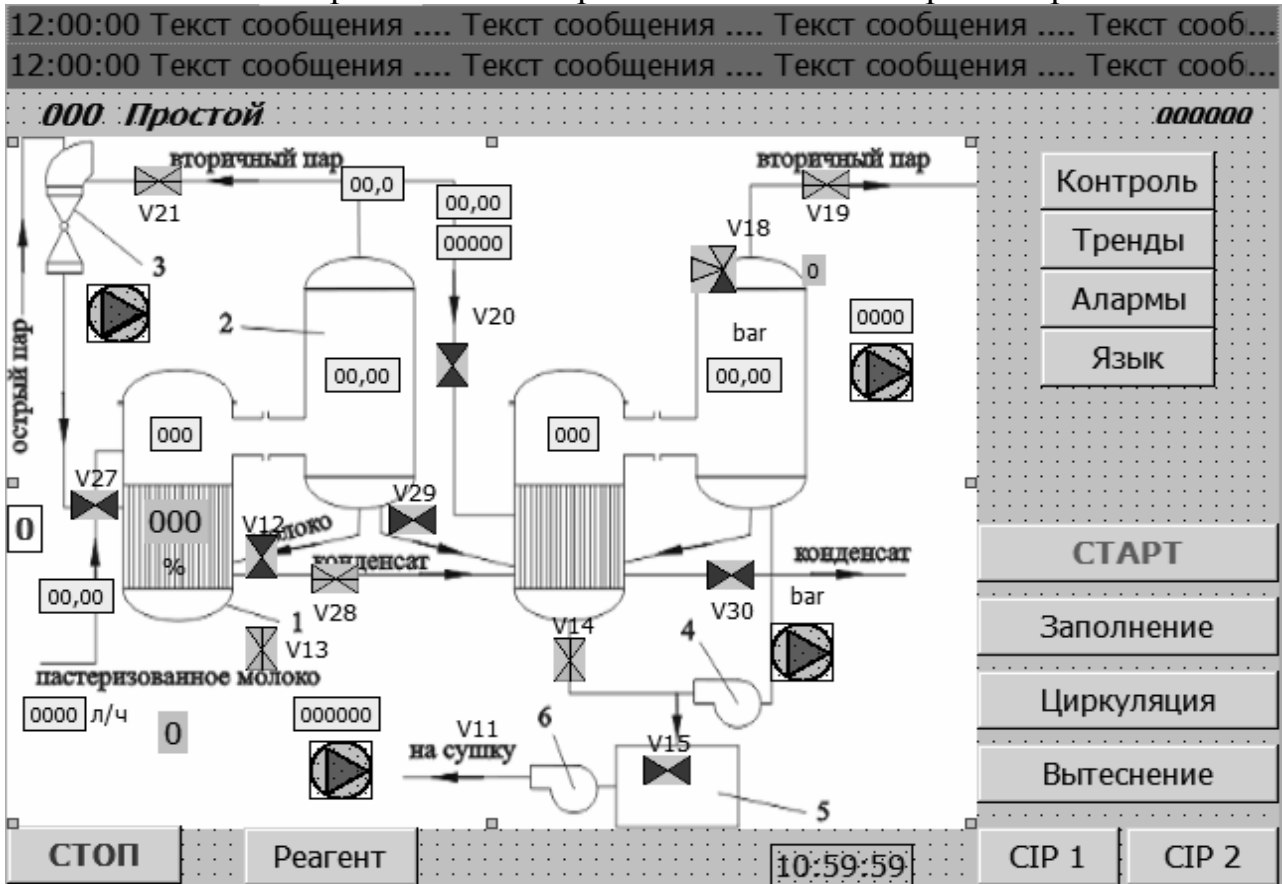


Рисунок 12 – Главная мнемосхема системы управления процессом выпаривания

Совместная реализация в единой оболочке SCADA-системы, включающей программы управления процессом выпаривания молочных продуктов и снижением затрат энергии, а также функции автоматической настройки системы продукционных правил, позволяет реализовать универсальную интеллектуальную систему управления процессом выпаривания молока со снижением затрат энергии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе нечеткого алгоритма управления процессом выпаривания молочных продуктов построена система продукционных правил с расположением продукций в порядке убывания их весовых коэффициентов, позволившая за счет снижения времени отклика нечеткого регулятора, уменьшить расход энергии.

2. Построена имитационная модель нечеткого управления процессом выпаривания, подтверждающая снижение энергозатрат в вакуум-выпарном аппарате. Ана-

лиз работы нечеткого регулятора для процесса выпаривания на имитационной модели позволил упростить его синтез и реализовать автоматическую настройку нечеткого алгоритма непосредственно в процессе работы вакуум-выпарной установки.

3. На базе нечеткого регулятора с лингвистической обратной связью и автоматической модификацией продукционных правил разработана система управления процессом выпаривания молочных продуктов, обеспечивающая в режиме реального времени стабилизацию влажности готового продукта и снижение отклика системы управления на изменение расхода энергии, что позволило сократить затраты по газу на 10 %, а по электроэнергии на 8 %.

4. Разработана универсальная интеллектуальная система управления процессом выпаривания молока, в которой реализована SCADA-система, содержащая следующие программы: управления вакуум-выпарным аппаратом на основе нечеткого регулятора с автоматической модификацией системы продукционных правил; снижения затрат энергии для выпаривания молочных продуктов; настройки в режиме реального времени вакуум-выпарного аппарата для работы с молочными продуктами, значительно отличающимися по химическим и биологическим показателям.

5. Экспериментально на вакуум-выпарном аппарате установлено, что нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью и динамической настройкой системы продукционных правил позволяет выдерживать заданный температурный режим с погрешностью $\pm 0,5$ °С, а его быстроедействие оказывает значимое влияние на экономию энергии в процессе выпаривания молочных продуктов. Экономический эффект от внедрения в систему управления расходом энергии в вакуум-выпарном аппарате нечеткого регулятора с динамической модификацией системы продукционных правил составил 714 тыс. руб. в год.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Рецензируемые журналы из списка ВАК

1 Синтез модели объектов управления пищевой промышленности с использованием нечеткой логики / К. А. Колязов, А. В. Воробьева, Н. И. Шиянова // Автоматизация в промышленности. 2007. №7. С. 55–57.

2 Применение нечетких регуляторов при производстве сгущенного молока / А. Н. Мамцев, К. А. Колязов, Н. И. Шиянова // Молочная промышленность. 2007. №8. С. 70–71.

Патенты

3 Пат. на полезную модель, РФ. № 51242. Самонастраивающаяся система автоматического управления нестационарным технологическим объектом / Е. А. Муравьева, К. А. Колязов, Г. А. Каяшева. // Бюл. изобр. 2006. №03.

В прочих изданиях

4 Нечеткие последовательностные уравнения в системах управления энергосбережением на технологических установках пищевой промышленности / Г. А. Каяшева, К. А. Колязов // Северэнерготех-2005 : матер. VI Междунар. конф. Ухта : УГТУ, 2005. Ч. 1. С. 119–123.

5 Продукционная модель знаний нечетких регуляторов на основе последовательных уравнений для энергосберегающих технологий в молочной промышленности / Г. А. Каяшева, К. А. Колязов // Северэнерготех-2005 : матер. VI Международ. конф. Ухта : УГТУ, 2005. Ч. 1. С. 28–32.

6 Имитационные модели систем управления на основе нечетких регуляторов с модификацией блока продукционных правил / К. А. Колязов // Северэнерготех-2005 : матер. VI Международ. конф. Ухта : УГТУ, 2005. Ч. 1. С. 85–87.

7 Динамическая модель выпарного аппарата для снижения влажности молочных продуктов / К. А. Колязов // Стратегия развития пищевой промышленности : матер. XI Международ. науч.-практ. конф. М. : МГУТУ, 2005. Т. 3. С. 60–63.

8 Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления процессами в вакуум-выпарной установке для производства товарного молока с заданной влажностью / Е. А. Муравьева, К. А. Колязов, Г. А. Каяшева // Стратегия развития пищевой промышленности : матер. XI Международ. науч.-практ. конф. М. : МГУТУ, 2005. Т. 3. С. 64–67.

9 Нечеткая система управления для минимизации расхода энергии в технологических процессах пищевой промышленности / К. А. Колязов // Стратегия развития пищевой промышленности : матер. XI Международ. науч.-практ. конф. М. : МГУТУ, 2005. Т. 3. С. 117–121.

10 Применение нечетких регуляторов для экономии энергии в технологических процессах выпаривания молочных продуктов / К. А. Колязов // Актуальные проблемы химической технологии и подготовки кадров : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Стерлитамак : 2006. С. 359–363.

11 Разработка имитационной модели нечеткого регулятора / К. А. Колязов // Инновации в интеграционных процессах образования, науки, производства : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Мелеуз : 2007. С. 493–497.

12 Нечеткая модель технологического процесса выпаривания молочных продуктов / К. А. Колязов, Н. И. Шиянова // Пищевая наука, инженеринг и технологии 2009 : матер. Международ. конф. Пловдив : UFT, 2009. Т. LVI, ч. 2. С. 291–294 (Статья на англ. яз.).

13 Процесс выпаривания молока как технологический объект управления / К. А. Колязов, Н. И. Шиянова // Пищевая наука, инженеринг и технологии 2009 : матер. Международ. конф. Пловдив : UFT, 2009. Т. LVI, ч. 2. С. 61–64 (Статья на англ. яз.).

14 Разработка нечеткого алгоритма для обработки параметров процесса выпаривания молочных продуктов / К. А. Колязов, А. И. Каяшев // Инновации в интеграционных процессах образования, науки, производства : матер. Международ. науч.-практ. конф. Уфа : Вагант, 2010. Ч. I. С. 258–260.

15 Энергосберегающая система управления на основе нечеткого алгоритма / К. А. Колязов, А. И. Каяшев // Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства : тр. Всерос. науч.-практ. сем. Уфа : АН РБ; Гилем, 2010. С. 119–123.

КОЛЯЗОВ Константин Александрович

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ
НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ

(на примере автоматизации технологических установок
в молочно-консервной промышленности)

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление техноло-
гическими процессами и производствами
(в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 15.11.2010. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр. – отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.

Тираж 120 экз. Заказ № 106.

ГОУ ВПО Московский государственный университет
технологий и управления
филиал в г. Мелеузе

Центр оперативной полиграфии
453850, Мелеуз, ул. Смоленская, 72