

На правах рукописи

Гаврилов Филипп Александрович



**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ХИМВОДОЧИСТКИ НА
ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ПЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Специальность 05.13.06 –

Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Самара – 2006

Работа выполнена на кафедре «Автоматика и управление в технических системах» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Самарский государственный технический университет.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Рапопорт Эдгар Яковлевич.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Доктор технических наук, профессор Лившиц Михаил Юрьевич.

Кандидат технических наук, доцент Галицков Константин Станиславович

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ –

ООО «Акватехнология» (г. Самара).

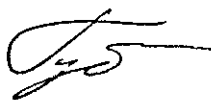
Защита диссертации состоится 27 декабря 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.217.03 ГОУ ВПО Самарский государственный технический университет по адресу г. Самара, ул. Галактионовская, 141, корпус 6, аудитория 28.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного технического университета по адресу: г. Самара, ул. Первомайская, 18.

Автореферат разослан 25 ноября 2006 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.217.03
кандидат технических наук



Н.Г. ГУБАНОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема автоматизации процессов химической очистки воды на тепловых электрических станциях (ТЭС) является актуальной вследствие следующих обстоятельств:

1. Технологический процесс химической подготовки воды в существенной степени является определяющим для эффективной работы основного оборудования теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и теплосетей, что, в частности, свидетельствует о высокой социальной значимости данного технологического процесса. Качество химической подготовки воды является одним из наиболее значимых факторов, непосредственно формирующих основные характеристики систем электро- и теплоснабжения населения и промышленных предприятий.

2. Оборудование подпитки теплосети весьма громоздко, рассредоточено на большой площади химического цеха и частично за его пределами, что затрудняет организацию эффективного управления процессом вручную.

3. Технологический процесс химической подготовки воды относится к классу дискретно-непрерывных процессов, а при большой протяженности транспортных потоков принятие оперативных решений без автоматизированного и рационального распределения информации затруднительно.

4. Наличие потоков, содержащих агрессивные компоненты, требует непрерывного контроля состояния запорно-регулирующей арматуры и трубопроводов.

В настоящее время, несмотря на довольно высокий уровень автоматизации технологических процессов на тепловых электрических станциях, существует ряд процессов, где влияние человеческого фактора является определяющим из-за технологических особенностей объекта и сложностей, возникающих при применении классических методов теории управления. Как следствие, невозможно избежать влияния ошибочных действий оператора на процесс химводоподготовки, что может приводить к перерасходу химреагентов и подпиточной воды, а также повысить риск возникновения аварийных режимов. С другой стороны, качество управления в значительной степени определяется опытом оператора по эксплуатации объекта, в частности, в некоторых ситуациях отчасти интуитивные решения, принятые оператором в нетривиальных ситуациях, оказываются наиболее верными. Таким образом, при решении задачи автоматического управления подпиткой теплосети необходимо основываться как на технологических требованиях предъявляемых к процессам химической очистки воды и режимам работы, так и на опыте операторов, эксплуатирующих объект в течение длительного срока и обладающих необходимыми знаниями о возможных неопределенностях, возникающих в процессе работы объекта.

В представленной диссертации решается задача построения системы автоматического управления процессом химической подготовки воды с помощью нечеткой логики – метода современной теории интеллектуальных

систем. Применение нечеткой логики позволяет в условиях ограниченности и неопределенности информации о характеристиках объекта управления наиболее полно использовать знания эксплуатационного персонала в процессе управления. Данные знания используются в виде логико-лингвистических аппроксимаций формальных моделей объектов управления.

Целью диссертационной работы является решение научно-технической задачи по разработке алгоритмов нечеткого управления группой параллельно работающих объектов на примере управления фильтрами блока подпитки теплосети ТЭЦ.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **основные задачи**:

1. Структурный синтез нечеткого регулятора для группового управления рядом параллельно работающих объектов;
2. Разработка методики формирования базы продукционных правил для управления группой объектов;
3. Разработка и исследование методики параметрического синтеза нечеткой системы управления на основе пассивного эксперимента;
4. Разработка и опытно-промышленная апробирование системы нечеткого управления работой группы фильтров блока подпитки теплосети ТЭЦ.

Основными методами исследования являются методы теории нечетких множеств, компьютерного моделирования и экспериментальных исследований объектов и систем управления.

Научная новизна и значимость заключается в следующих полученных результатах:

1. Разработана математическая модель режимов функционирования фильтра блока подпитки теплосети на ТЭЦ, сформулированная в терминах нечеткой логики;
2. Разработана универсальная база продукционных правил для нечеткого управления группой параллельно работающих фильтров системы химводоочистки, инвариантная к количеству управляемых объектов;
3. Предложена методика структурно-параметрического синтеза нечеткой системы управления работой блока фильтров установки подпитки теплосети, построенная на основе применения параметризуемых функций принадлежности, обеспечивающих соответствие вырабатываемых управляющих воздействий эталонным образцам.

Практическая полезность диссертации заключается в следующих результатах:

1. Полученные в диссертации выводы и рекомендации позволяют решить ряд важных практических задач по совершенствованию работы блока подпитки теплосети на ТЭЦ.
2. В результате применения нечетких регуляторов режимов работы фильтров системы химводоочистки на ТЭЦ могут быть синтезированы алгоритмы управления, не уступающие по своему качеству решениям

принимаемым квалифицированным оператором при управлении режимами работы фильтров установки подпитки теплосети.

3. Предложенные в диссертационной работе методики могут быть непосредственно использованы в целях инженерного проектирования систем нечеткого управления группой параллельно работающих объектов не только применительно к системам химводоподготовки, но и для других технологических процессов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационных исследований использованы в рамках внедрения автоматизированной системы управления химическим цехом ТЭЦ Волжского автозавода в виде реализованных на типовых аппаратно-программных технических средствах алгоритмов управления блоком подпитки теплосети, а также в учебном процессе для студентов специальностей 220201 «Управление и информатика в технических системах» и 220301 – «Автоматизация технологических процессов и производств» в Самарском государственном техническом университете.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Десятая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Москва: МЭИ. 2004 г.

- Всероссийской конференции молодых учёных, Новосибирск: НГТУ, 2003 г.

- Научно-практическая конференция «Проблемы развития централизованного теплоснабжения». Самара 2004 г.

- Шестой международный симпозиум «Интеллектуальные системы» INTELS'2004. Россия, Саратов: СГТУ., 29 июня – 2 июля 2004 г.

- Работа по данной тематике была награждена медалью министерства образования и науки Российской Федерации за лучшую научную студенческую работу по итогам открытого конкурса на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в вузах Российской Федерации. Приказ №1190 от 9 марта 2004 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и двух приложений. Основной текст изложен на 100 страницах, содержит 41 рисунок, 5 таблиц. Библиографический список включает 75 наименований.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Математическая модель режимов функционирования фильтра блока подпитки теплосети на ТЭЦ, сформулированная в терминах нечеткой логики;

2. Методика формирования универсальной базы продукционных правил для нечеткого управления группой параллельно работающих фильтров установки подпитки теплосети на ТЭЦ, инвариантной к количеству управляемых фильтров;

3. Методика структурно-параметрического синтеза нечеткой системы управления работой блока фильтров установки подпитки теплосети, построенная на основе применения параметризуемых функций принадлежности, обеспечивающих соответствие вырабатываемых управляющих воздействий эталонным образцам;

4. Результаты компьютерного моделирования и промышленного внедрения системы нечеткого управления работой блока фильтров подпитки теплосети на ТЭЦ.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В диссертации рассмотрен следующий комплекс теоретических и прикладных вопросов.

Во введении показана актуальность темы, сформулирована цель работы, дана общая характеристика, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе обосновывается актуальность проблемы подготовки значительных объемов подпиточной воды для систем теплоснабжения с открытым водоразбором, и необходимость её решения путём построения соответствующих систем автоматического управления. Описаны методы химической очистки воды для систем теплоснабжения, приведено описание объекта управления, сформулирована задача управления и предложены пути её решения.

Установка, осуществляющая процесс химической очистки воды для подпитки теплосети состоит из нескольких Н-катионитных фильтров, предназначенных для умягчения воды.

При истощении фильтра проводят его регенерацию. В процессе работы фильтра и перед его регенерацией проводят взрыхление водой. Цель взрыхления заключается в устранении уплотненностей катионитного слоя для снижения гидравлического сопротивления фильтра и обеспечения свободного доступа воды и регенерационного раствора к зернам катионита.

Нагрузка на блок, состоящий из 6 фильтров определяется текущим расходом воды. Поэтому, в зависимости от требуемой производительности блока, число одновременно работающих фильтров определяется требованием их номинальной нагрузки.

Решение по переключению фильтра из одного состояния в другое в настоящий момент принимается оператором, то есть управление распределением нагрузки на блок фильтров ведется в ручном режиме, что снижает оперативность и точность принятия решений.

Задачей автоматического управления является определение момента переключения фильтра в одно из возможных состояний (работа, резерв, взрыхление) таким образом, чтобы достигался заданный расход воды на блок и соблюдался требуемый режим на каждом конкретном фильтре блока, другими

словами должна решаться задача распределения нагрузки между фильтрами блока, совместно с задачей стабилизации общего расхода воды на блок.

Поставленная задача является нетривиальной из-за сложности объекта регулирования. При её решении применение классического подхода затруднительно из-за больших сложностей возникающих при идентификации объекта, описании его математической модели и отсутствия четких правил переключения фильтров. Оператор, в ситуации такой неопределенности, исходя из текущего состояния объекта и опыта эксплуатации, по существу, интуитивно принимает решения по управлению их работой. Поэтому целесообразно применить к решению поставленной задачи методы интеллектуального управления как инструмента позволяющего качественно использовать знания об объекте в форме логико-лингвистических изъяснений и задействовать весь накопленный опыт эксплуатации объекта при разработке алгоритма принятия решения. Из всех систем интеллектуального управления наиболее подходящими к решению поставленной задачи являются системы основанные на использовании нечеткой логики вследствие следующих причин:

1. Данный метод является наиболее подходящим для моделирования действий опытного оператора.

2. Наличие богатого опыта эксплуатации объекта управления и как следствие возможность использовать в качестве исходной базы знаний управленческие решения для реальных ситуаций, складывавшихся на протяжении продолжительного времени.

Во второй главе решается задача построения классического нечеткого регулятора для управления фиксированным количеством параллельно работающих объектов, а так же разработана методика формирования универсальной базы правил для управления группой параллельно работающих фильтров. Задача определения момента переключения фильтра интерпретируется в качестве задачи классификации, заключающейся в отнесении объекта, заданного вектором информативных признаков к одному из заранее определенных классов. На основе анализа режимов работы фильтров характеризуемых расходами воды через фильтр и экспертных оценок, определены следующие термины лингвистической переменной «режимы работы фильтра»:

1. A_1 : «Расход ниже минимально допустимого» – меньше $150 \text{ м}^3/\text{ч}$;

2. A_2 : «Расход ниже номинального» – $100\text{-}200 \text{ м}^3/\text{ч}$;

3. A_3 : «Расход номинальный» – $150\text{-}300 \text{ м}^3/\text{ч}$;

4. A_4 : «Расход выше максимально допустимого» – больше $250 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для формирования нечеткой модели объекта управления принимаются стандартные трапециевидные функции принадлежности.

$$\mu_{A_1}(x) = \min(\max(2 - 0.02 \cdot (x - 50), 0), 1), \quad (1)$$

$$\mu_{A_2}(x) = \max\left(1 - \frac{|x - 150|}{50}, 0\right), \quad (2)$$

$$\mu_{A_3}(x) = \min(\max(2 - 0.02 \cdot |x - 250|, 0), 1), \quad (3)$$

$$\mu_{A_4}(x) = \min(\max(2 - 0.02 \cdot (400 - x), 0), 1), \quad (4)$$

Совокупность функций (1)-(4) дает нам модель режимов функционирования фильтра в терминах нечеткой логики (см. рис. 1).

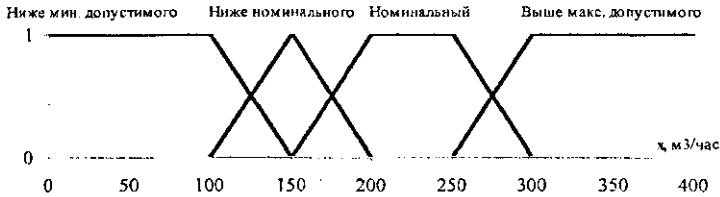


Рисунок 1 – Модель режимов функционирования фильтра в терминах нечеткой логики

Для данных моделей были разработаны нечеткие регуляторы двух основных типов: Мамдани и Сугено для фиксированного количества работающих фильтров. Количество работающих фильтров в каждый момент времени принято равным трём, что является достаточным для моделирования максимально возможного количества сочетаний разных режимов работы фильтров. Сочетания режимов соответствующих (1) и (4) исключены как не встречающиеся на практике. Решение по переключению фильтра принимается исходя из сочетания режимов всех работающих в данный момент фильтров блока и описывается продукционными правилами. Каждое продукционное правило записывается в виде «если ... то ...».

Для системы типа Мамдани сформулировано 46 продукционных правил. Операция дефаззификации для системы Мамдани проводилась по методу «наибольшее из максимумов» как наиболее подходящего для решения задач классификации.

В качестве метода дефаззификации в системах типа Сугено применяется метод «средневзвешенное». Применение данного метода позволяет участвовать в принятии окончательного решения нескольким правилам, и сократить количество правил относительно системы типа Сугено.

Результаты моделирования на ЭВМ представленные в четвертой главе, позволили сделать вывод о работоспособности нечетких систем обоих типов применительно к задаче автоматического распределения нагрузки между фильтрами блока при фиксированном количестве работающих фильтров. Однако в связи с тем, что на практике количество работающих фильтров непостоянно, для каждого количества работающих фильтров должна быть разработана своя база продукционных правил, что резко усложняет задачу проектирования регулятора и приводит к необходимости создания такой базы

правил, в которой их количество не зависит от количества управляемых объектов.

При разработке методики формирования универсальной базы правил для нечеткого управления группой параллельно работающих объектов было проведено исследование объекта управления и изучен опыт эксплуатации блока фильтров на протяжении длительного времени. По результатам исследования сделан вывод, что все возможные сочетания режимов работы фильтров можно условно разделить на три группы, отличающихся количеством различаемых режимов работы фильтров:

- первая группа – все фильтры работают в одном режиме;
- вторая группа – различаются два различных режима работы фильтров;
- третья группа – различаются три различных режима.

На основании такого разбиения формулируется универсальная база, состоящая из 11 правил, охватывающих все возможные сочетания режимов работы фильтров и независимая от количества работающих фильтров:

$$\mu_{C_1}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \mu_{A_i}(x_i) \right) \quad (5)$$

$$\mu_{C_2}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \quad (6)$$

$$\mu_{C_3}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \quad (7)$$

$$\mu_{C_4}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \mu_{A_4}(x_i) \right) \quad (8)$$

$$\mu_{C_5}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W (\mu_{A_1}(x_i) \cup \mu_{A_2}(x_i)) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_1}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \quad (9)$$

$$\mu_{C_6}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W (\mu_{A_1}(x_i) \cup \mu_{A_3}(x_i)) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_1}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \quad (10)$$

$$\mu_{C_7}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W (\mu_{A_2}(x_i) \cup \mu_{A_3}(x_i)) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \quad (11)$$

$$\mu_{C_8}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W (\mu_{A_2}(x_i) \cup \mu_{A_4}(x_i)) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_4}(x_i) \right) \quad (12)$$

$$\mu_{C_9}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W (\mu_{A_3}(x_i) \cup \mu_{A_4}(x_i)) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_4}(x_i) \right) \quad (13)$$

$$\mu_{C_{10}}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \left(\bigcup_{j=1}^3 \mu_{A_j}(x_i) \right) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_1}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \quad (14)$$

$$\mu_{C_{11}}(\mathbf{x}) = \left(\bigcap_{i=1}^W \left(\bigcup_{j=1}^3 \mu_{A_j}(x_i) \right) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_2}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_3}(x_i) \right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_4}(x_i) \right) \quad (15)$$

Здесь параметр x – вектор расходов через работающие фильтры $x=(x_1, x_2, \dots, x_W)$, W – количество работающих фильтров, N – количество термов лингвистической переменной «режимы работы фильтров», \cap – операция нечеткого «И»; \cup – операция нечеткого «ИЛИ»

Сформулированный алгоритм можно записать при помощи матрицы коэффициентов, где строка обозначает номер правила, а столбец – проверяемый режим работы (первый столбец – «Ниже минимально возможного», второй – «Ниже номинального», третий – «Номинальный», четвертый – «Выше максимально допустимого»). Описанная матрица выглядит следующим образом:

$$p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (19)$$

При помощи матрицы p условие нахождения фильтра в одном из проверяемых состояний записывается следующим образом:

$$\bigcap_{i=1}^W \left[\bigcup_{j=1}^N (p_{j,m} \cap \mu_{A_j}(x_i)) \right], \quad m = \overline{1, 11}, \quad (20)$$

где i, m – элемент матрицы располагаемый в i -ой строке, m -ом столбце. В (20) проверяемые состояния входят в сумму по j с множителем единица, а нежелательные состояния – со множителем нуль. Если фильтр находится только в нежелательном состоянии, то сумма по j , а, следовательно и произведение по i будет равно нулю и проверяемое правило не будет влиять на значение функции принадлежности $\mu_{c,m}(x)$.

Проверка того, что в каждом из проверяемых состояний находится хотя бы один фильтр при помощи матрицы p может быть записана в виде выражения:

$$\bigcap_{j=1}^N \left[\bigcup_{i=1}^W \mu_{A_j}(x_i) \cup (1 - p_{j,m}) \right], \quad m = \overline{1, 11}, \quad (21)$$

Здесь, чтобы исключить из проверки состояния, которые не проверяются в данном правиле, им заведомо присваивается признак «есть фильтры в данном состоянии», поскольку значение скобки

$$(1 - p_{j,m}), \quad (22)$$

для них будет равно единице, а значит и значение суммы по i . Для проверяемых состояний значение (22) обратится в нуль и результат суммы по i будет зависеть от того находится ли хотя бы один фильтр в проверяемом состоянии, что и требовалось.

Далее путем выполнения операции нечеткого И двух выражений (20) и (21) получаем универсальную формулу, описывающую базу нечетких правил:

$$\mu_{C_m}(x) = \bigcap_{i=1}^W \left[\bigcup_{j=1}^N P_{j,m} \cap \mu_{A_j}(x_i) \right] \cap \bigcap_{j=1}^N \left[\bigcup_{l=1}^W \mu_{A_l}(x_i) \cup (1 - p_{j,m}) \right], \quad m = \overline{1, 11}, \quad (23)$$

Далее рассчитываются степени принадлежности к каждому из четырех возможных классов («отключить», «подвзрыхлить», «игнорировать», «включить»), путем нахождения максимального значения выражения (23) для каждого из классов:

Операции «взрыхление» – терм B_1 – соответствуют правила (5), (6), (9), (11), (14):

$$\mu_{B_1}(x) = \mu_{C_1}(x) \cup \mu_{C_2}(x) \cup \mu_{C_3}(x) \cup \mu_{C_4}(x) \cup \mu_{C_{10}}(x) \quad (24)$$

«Отключению» – терм B_2 – соответствуют правила (10), (12), (15):

$$\mu_{B_2}(x) = \mu_{C_7}(x) \cup \mu_{C_8}(x) \cup \mu_{C_{11}}(x) \quad (25)$$

«Игнорировать» – терм B_3 – правило (7):

$$\mu_{B_3}(x) = \mu_{C_5}(x) \quad (26)$$

«Включению» – терм B_4 – соответствуют правила (8) и (13):

$$\mu_{B_4}(x) = \mu_{C_1}(x) \cup \mu_{C_9}(x) \quad (27)$$

Заключительной операцией в нечётком управлении является процедура преобразования нечеткого вывода в физическую переменную – дефазификация. В качестве решения выбирается терм B_i с максимальной степенью принадлежности из выражений (24) – (27):

$$Z = \arg \max_{(B_1, B_2, B_3, B_4)} \{ \mu_{B_1}(x), \mu_{B_2}(x), \mu_{B_3}(x), \mu_{B_4}(x) \} \quad (28)$$

В целях реализации предлагаемой базы правил, необходимо разработать методику соответствующей коррекции типовых форм функций принадлежности.

Третья глава посвящена методике настройки нечеткой системы регулирования методом пассивного эксперимента.

Настройка параметров нечеткого регулятора заключается в корректировке форм функций принадлежности исходной модели режимов работы фильтров, таким образом, чтобы решения, принимаемые нечетким регулятором, максимально совпадали с некоторыми эталонными решениями

(обучающей выборкой). В качестве основы для формирования обучающей выборки были приняты архивные данные по шестому блоку подпитки теплосети, из системы автоматического управления химическим цехом ТЭЦ ВАЗа за период с октября 2004 г. по март 2005 г. Из архивных данных сформирована обучающая выборка, состоящая из набора базовых ситуаций. Под базовой ситуацией понимается сочетание значений текущих расходов через фильтры блока и соответствующее данным расходам решение оператора.

Применительно к задаче настройки параметров нечеткой системы задание функций принадлежности в виде (1)-(4) оказалось несостоятельным, поскольку данные функции являются симметричными, что не позволяет соблюсти условие нормировки (29) области определения функций принадлежности при варьировании параметров функции принадлежности.

$$\mu_{A_1}(x) + \mu_{A_2}(x) + \mu_{A_3}(x) + \mu_{A_4}(x) = 1 \quad (29)$$

Поэтому для решения задачи параметрической настройки было предложено использовать иной способ задания функций принадлежности с помощью точек минимума и максимума значений соседних функций принадлежности. Для нечеткой модели фильтра определено шесть таких точек (Рис. 2, $x_1 - x_6$). Функция принадлежности, описывающая режим работы «ниже номинального», была задана таким образом, чтобы обеспечить возможность преобразования ее в трапецевидную функцию при решении задачи параметрической настройки, т.е. $x_1 = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$, x_2 и x_3 равны $150 \text{ м}^3/\text{ч}$, $x_4 = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $x_5 = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$, $x_6 = 350 \text{ м}^3/\text{ч}$.



Рисунок 2 – Точки минимума и максимума значений соседних функций принадлежности

В итоге вместо (1)-(4) получены следующие функции принадлежности:

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \leq x_1; \\ \frac{1}{x_2 - x_1}(x - x_2), & \text{при } x_1 < x \leq x_2; \\ 0, & \text{при } x > x_2; \end{cases} \quad (30)$$

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq x_1; \\ \frac{1}{x_2 - x_1}(x - x_1), & \text{при } x_1 < x \leq x_2; \\ -\frac{1}{x_3 - x_2}(x - x_3), & \text{при } x_2 < x \leq x_3; \\ 0, & \text{при } x > x_3; \end{cases} \quad (31)$$

$$\mu_{A_3}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq x_3; \\ \frac{1}{x_4 - x_3}(x - x_3), & \text{при } x_3 < x \leq x_4; \\ 1, & \text{при } x_4 < x \leq x_5; \\ -\frac{1}{x_6 - x_5}(x - x_5), & \text{при } x_5 < x \leq x_6; \\ 0, & \text{при } x > x_6; \end{cases} \quad (32)$$

$$\mu_{A_4}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq x_5; \\ -\frac{1}{x_6 - x_5}(x - x_5), & \text{при } x_5 < x \leq x_6; \\ 1, & \text{при } x > x_6; \end{cases} \quad (33)$$

Задача параметрической настройки сводится к решению следующей задачи математического программирования:

$$\sum_{i=1}^Q \left(\sum_{j=1}^4 |y_j^{*(i)} - y_j(x^{(i)})| \right) \rightarrow \min_{\Delta} \quad (34)$$

где $x^{(i)}$ – вектор расходов через фильтры, соответствующий i -той эталонной ситуации, $y(x^{(i)})$ – вектор решений принятых нечетким алгоритмом, $y_j^{*(i)}$ – вектор эталонных решений, Q – количество эталонных ситуаций, $\Delta = \|x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\|$ – вектор варьируемых параметров.

Варьируемыми переменными при решении поставленной задачи являются базовые точки функций принадлежности $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$.

Для соблюдения условия линейной упорядоченности термов на управляемые переменные $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ необходимо наложить ограничения вида: $x_i - x_{i-1} \geq m$, где m – задаваемая константа, $i = \overline{2, 6}$.

В результате решения задачи (34) при помощи инструмента Optimization Toolbox прикладного пакета Matlab получены новые значения базовых точек соседних функций принадлежности. Модель режимов работы после параметрической настройки представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Модель фильтра после параметрической настройки

Использование настроенной нечеткой модели дает больший процент верных решений (84 %), чем исходная модель (63 %). Однако так же не даст стопроцентного совпадения принятых решений с эталонными. Для увеличения степени адекватности нечеткой модели, исходный критерий минимизации (34) был модифицирован так, что из минимизируемой разницы эталонных решений и решений, принятых регулятором, исключены влияния неверных решений:

$$\sum_{i=1}^Q \left[\sum_{j=1}^4 h(y_j^{*(i)} - y_j(x^{(i)})) \right] \rightarrow \min_{\Delta} \quad (35)$$

где:

$$h(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (36)$$

В результате решения задачи (35) функции принадлежности модели режимов работы фильтров принимают следующий вид (рис. 4).



Рисунок 4 – Модель режимов работы фильтров настроенная при помощи критерия (35)

Решения принятые нечетким регулятором с использованием модели режимов работы фильтров, настроенной при помощи критерия (35), полностью совпадают с эталонными решениями.

Четвертая глава посвящена моделированию на ПЭВМ алгоритмов разработанных во второй и третьей главах.

Для моделирования системы нечеткого управления распределением нагрузки между фильтрами блока подпитки теплосети использовались возможности среды технологических расчётов – MATLAB, а также сопутствующей системы для моделирования динамических нелинейных

систем – Simulink, системы разработки нечетких систем управления Fuzzy Logic Toolbox, системы решения задач оптимизации Optimization Toolbox.

Система моделирования динамических нелинейных систем Simulink представляет собой интерактивную среду визуального программирования, в которой пользователь «собирает» модель динамической системы из типовых блоков. После проведения расчёта, имеется возможность проанализировать изменение сигнала в любой точке системы. Simulink позволяет моделировать линейные, нелинейные, непрерывные, дискретные и многомерные системы.

Система разработки нечетких систем управления Fuzzy Logic Toolbox обладает простым и хорошо продуманным интерфейсом, позволяющим легко проектировать и диагностировать нечеткие модели. Графические средства Fuzzy Logic Toolbox позволяют интерактивно отслеживать особенности поведения системы. Fuzzy Logic Toolbox предназначена для совместной работы с Simulink.

Система решения задач оптимизации Optimization Toolbox включает программы широко известных методов минимизации и максимизации линейных и нелинейных целевых функций. Эти программы могут быть использованы для решения сложных задач оптимизации стоимости, надежности и качества для различных приложений. В пакет включены версии традиционных и новейших алгоритмов оптимизации, в том числе безусловной оптимизации, условной, многокритериальной оптимизации, метод минимакса, методы линейного и квадратичного программирования.

Для моделирования разработанного во второй главе классического нечеткого регулятора использовались средства Fuzzy Logic Toolbox и Simulink. В качестве возмущающего воздействия был принят неравномерный рост расходов через фильтры от минимально до максимально допустимого, данное возмущение не охватывает все возможные виды возмущений возникающие в процессе работы блока фильтров, однако позволяет дать качественную оценку адекватности принятых решений так как является наиболее типичным видом возмущений для данного объекта управления. Результаты моделирования работы нечеткой системы регулирования типа Мамдани приведены на рис. 5, Сугено на рис. 6.

В верхней части рисунка показан график изменения расходов через фильтры, на нижней приведены решения принятые нечетким регулятором в зависимости от режимов работы фильтров каждый момент времени. Рис. 5 и рис. 6 иллюстрируют ситуацию, когда общий расход на блок изменяется с $350 \text{ м}^3/\text{час}$ до $930 \text{ м}^3/\text{час}$. При этом, из-за разных гидравлических сопротивлений фильтров расход через них изменяется не одинаково. При малом расходе регулятор принимает решение «отключить один фильтр». При некотором увеличении расхода часть фильтров входят в номинальный режим и начинают действовать другие правила. Регулятор предлагает выполнить подвзрыхление.

Дальнейшее увеличение расхода переводит все фильтры в номинальный режим и регулятор реагирует на это сменой решения на «игнорировать». Рост

расходов выше номинального приводит к принятию регулятором решения «включить». Сравнивая решения принятые регуляторами типа Мамдани и Сугено можно заметить, что оба регулятора принимают практически одинаковые решения, что говорит о работоспособности регуляторов обоих типов.

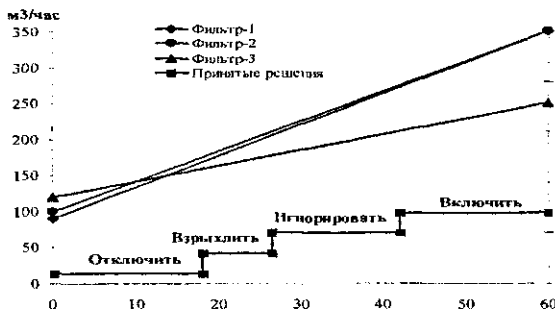


Рисунок 5 – Результаты моделирования нечеткой системы регулирования типа Мамдани

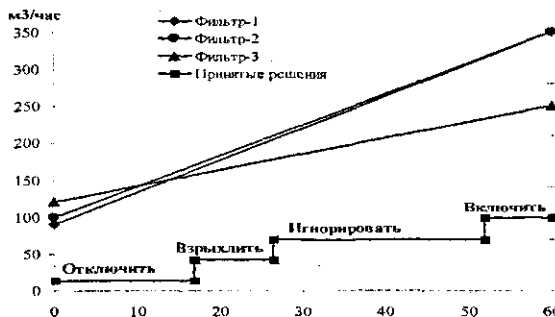


Рисунок 6 – Результаты моделирования нечеткой системы регулирования типа Сугено

Программная реализация нечеткого регулятора с универсальной базой нечетких правил производилась посредством программирования алгоритмов разработанных во второй главе при помощи языка программирования высокого уровня, входящего в пакет Matlab. Моделирование производилось тем же способом что и моделирование работы классического регулятора, в результате регулятором с универсальной базой приняты те же решения что и классическим регулятором, что позволило говорить о его работоспособности.

Реализация алгоритма настройки нечеткой системы регулирования производилась путем решения при помощи средств Optimization Toolbox задач (34) и (35). Результаты настройки приведены на рис. 7–10. По оси абсцисс

откладывается номер ситуации из таблицы эталонных решений, по оси ординат откладывается непосредственно решение.

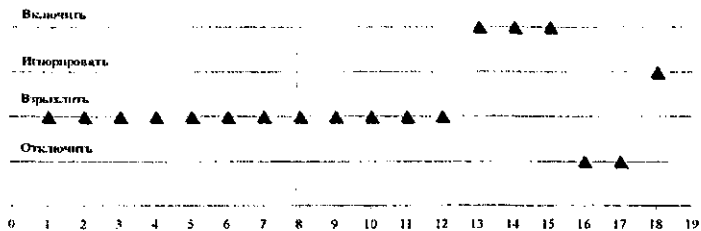


Рисунок 7 – Эталонные решения

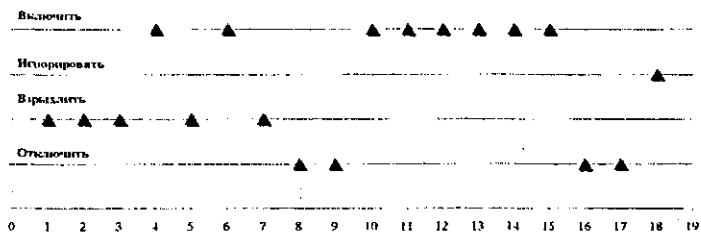


Рисунок 8 – Решения принятые исходным регулятором

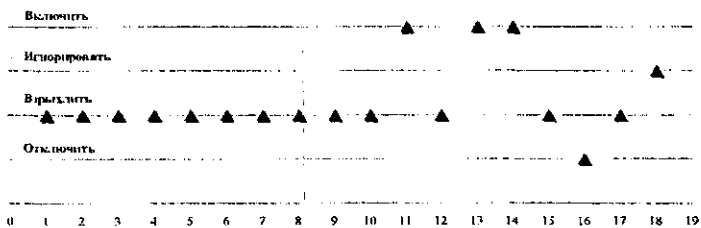


Рисунок 9 – Решения принятые регулятором с моделью режимов работы фильтра настроенной при помощи критерия (34)

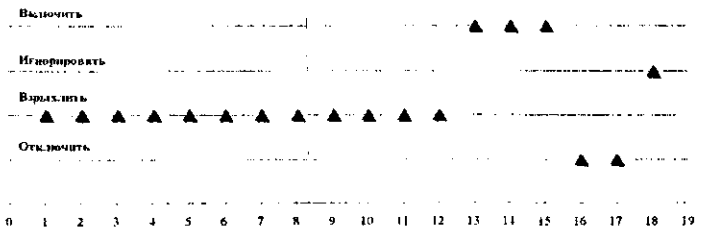


Рисунок 10 – Решения принятые регулятором с моделью режимов работы фильтра настроенной при помощи критерия (35)

Пятая глава посвящена реализации полученных результатов на объекте управления в рамках АСУ установкой подпитки теплосети (УПТС) ТЭЦ ВАЗа. АСУ УПТС ТЭЦ ВАЗа является комплексной системой охватывающей все элементы технологической схемы подготовки химически очищенной воды (ХОВ) для подпитки теплосети и предназначена для автоматизированного контроля, управления, анализа и архивирования технологической информации и формирования сопроводительных документов. АСУ УПТС реализована в виде многоуровневой, многофункциональной автоматизированной системы управления с распределенным вводом выводом информационных и управляющих сигналов.

На нижнем уровне реализуются функции первичной обработки информации и функции алгоритмов автоматического управления. Данный уровень реализуется на программируемых логических контроллерах. Верхний уровень ориентирован на решение задач предоставления информации оператору. Он реализуется на ПЭВМ и решает задачи визуализации текущего состояния технологического процесса, ведения и т. д.

Решение задачи автоматического управления распределением нагрузки может быть осуществлено как на нижнем, так и на верхнем уровнях управления.

Сравнительно высокая ресурсоемкость алгоритма предполагает реализацию данного алгоритма на верхнем уровне, однако, исходя из соображений надежности и оперативности принятия решения, алгоритм был реализован на ПЛК.

Общая схема принятия решения представлена на рис. 11.

Система постоянно анализирует состояние объекта, после принятия решения подается команда на систему управления переключениями фильтра, при этом принятое решение блокируется до завершения проведения предыдущего переключения.

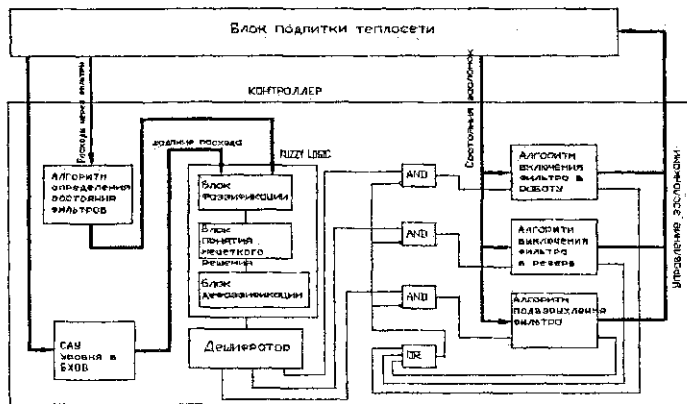


Рисунок 11 – Схема реализации нечеткого алгоритма на ПЛК

Благодаря внедрению разработанных алгоритмов сократилась доля ручных операций, повысилась надёжность работы блока за счёт уменьшения ошибок персонала, повысились экономичность и качество работы за счёт автоматически контролируемых технологических режимов, снизилось количество стоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная диссертационная работа посвящена разработке нечеткого алгоритма управления распределением нагрузки между фильтрами блока подпитки теплосети, разработке универсальной базы нечетких правил для управления группой параллельно работающих объектов и методики параметрической настройки разработанного нечеткого регулятора.

В работе получены следующие основные результаты:

1. Разработан алгоритм управления включением в работу необходимого количества фильтров, обеспечивающих заданный расход воды на блок фильтров при их номинальной загрузке. Алгоритм реализован с применением аппарата нечеткой логики. Предложена модель режимов работы фильтра на базе симметричных трапециевидных функций принадлежности. Методом компьютерного моделирования показана работоспособность алгоритма для систем типа Мамдами и Сугено. Определен главный недостаток алгоритма – необходимость разработки отдельной базы правил для каждого количества работающих фильтров.

2. Предложен способ формирования универсальной базы правил, не зависящей от количества работающих фильтров. Формализован подход к записи базы правил с помощью матрицы коэффициентов участия проверяемых состояний работающих фильтров в каждом из правил.

3. Выполнен анализ режимов работы блока фильтров подпитки теплосети ТЭЦ ВАЗа в течение одного отопительного сезона с целью выявления решений, принятых оператором в процессе дистанционного управления блоком. На их основе создан эталонный набор базовых ситуаций, используемый в дальнейшем для параметрической настройки нечеткого алгоритма управления блоком фильтров.

4. Предложена методика параметрической настройки нечеткого алгоритма управления. В процессе разработки процедуры настройки выполнен переход к описанию режима работы фильтра через несимметричные трапециевидные функции принадлежности, которые определены с помощью узловых точек минимума и максимума значений функций принадлежности соседних термов. Варьирование координатами узловых точек при соблюдении ограничений на линейную упорядоченность термов позволило получить стопроцентное совпадение решений принимаемых алгоритмом с эталонным набором решений принятых оператором.

5. С помощью специализированных пакетов компьютерного моделирования проведены вычислительные эксперименты по проверке работоспособности предложенных алгоритмов управления блоком подпитки теплосети на базе нечеткой логики, реализован алгоритм управления блоком

фильтров с применением универсальной базы правил, выполнена параметрическая настройка алгоритма по эталонному набору базовых ситуаций.

6. Предложена программная реализация алгоритма автоматического управления блоком фильтров на базе языков программирования стандарта МЭК-61131.3. Система автоматического управления реализована в рамках программного обеспечения АСУ ТП участком подпитки теплосети ТЭЦ ВАЗа.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Гаврилов Ф.А. Разработка алгоритма управления нагрузкой на блок подпитки теплосети с использованием аппарата нечеткой логики // Сборник материалов шестого международного симпозиума «Интеллектуальные системы» INTELS'2004 29 июня – 2 июля 2004 г. / Саратов: СГТУ. – с 427 – 430.
2. Гаврилов Ф.А., Колпашиков С. А. Параметрическая настройка нечеткой модели на основе пассивного эксперимента // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки» - 2006, №40. - с. 184-187.
3. Гаврилов Ф.А., Колпашиков С. А., Данилушкин И. А. Нечеткий алгоритм принятия решения в системе распределения нагрузки // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки» 2005, №32. - с. 204-207.
4. Гаврилов Ф.А. Разработка алгоритма нечеткого управления распределением нагрузки на блок подпитки теплосети ТЭЦ // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: материалы десятой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Тез. докл. В 3-х т. / МЭИ. - Москва, 2004, Т. 1.
5. Гаврилов Ф.А. Разработка алгоритма управления распределением нагрузки на блок подпитки теплосети с использованием нечеткой логики // Наука технологии инновации: материалы всероссийской конференции молодых учёных 04–07. Декабря /НГТУ. -Новосибирск, 2003. Часть 2.
6. Гаврилов Ф.А., Ремезенцев А. Б., Колпашиков С. А., Данилушкин И. А, Салов А.Г. // Проблемы развития централизованного теплоснабжения: материалы международной научно-практической конференции. – Самара, 2004. –с. 348-351.

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета
Д212.217.03 ГОУ ВПО Самарский государственный технический
университет (протокол № 12 от 20 ноября 2006 года)

Заказ № 1670 Тираж 100 экз.
Отпечатано на ризографе.
Самарский государственный технический университет
Отдел типографии и оперативной печати
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

