

На правах рукописи

АНТИПИН Андрей Фёдорович

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ ЧЁТКИХ
ЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ**

**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 автоматизированных технологических и информационных систем
ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель

д-р техн. наук, проф.
КАЯШЕВ Александр Игнатьевич

Официальные оппоненты

д-р техн. наук, проф.
МУНАСЫПОВ Рустем Анварович,
проф. каф. технической кибернетики
ГОУ ВПО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

канд. техн. наук, доц.
ПОЛЯКОВА Лариса Юрьевна,
зав. каф. электроснабжения
промышленных предприятий
ГОУ ВПО «Оренбургский
государственный университет»

Ведущая организация

Государственное автономное научное
учреждение «Институт прикладных ис-
следований», г. Стерлитамак

Защита диссертации состоится «____» _____ 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 темы. За последнее время в технологии автоматизации сложных объектов и процессов, имеющих важное народнохозяйственное значение (карбонизационные и дистилляционные колонны, паровые котлы, интеллектуальные роботы, летательные аппараты и т.д.), сложилась устойчивая тенденция к использованию одномерных логических (нечётких и с чёткими термами) регуляторов. Как правило, подобные объекты управления удаётся описать только вербально (словесно) и, к тому же, подавляющее большинство из них являются многомерными с взаимосвязанными регулируемыми параметрами. Принципиальный недостаток такого подхода состоит в автоматизации сложных многомерных систем с помощью сепаратных (автономных) регуляторов, выходы которых независимы по определению, т.е. реагируют исключительно на "свой" вход.

Кроме того, сложные многомерные системы характеризуются рядом специфических особенностей, главной из которых является значительное взаимное влияние контуров регулирования при поддержании значений технологических параметров в требуемом диапазоне. Из сказанного, очевидно, что при разработке многомерных регуляторов основной проблемой являются перекрёстные связи. Задачей синтеза многомерной системы, в первую очередь, является компенсация взаимного влияния каналов регулирования, за счёт введения дополнительных компенсирующих связей.

Известно, что современные многомерные нечёткие и дискретно-логические регуляторы из-за большой погрешности и низкого быстродействия не позволяют с приемлемой точностью устранить взаимное влияние контуров регулирования. Особенно ярко это проявляется при управлении многомерными объектами, представленными в виде описания на естественном языке, то есть вербально.

Современные системы и инструментальные комплексы для программирования промышленных и ПК-основанных логических контроллеров и устройств интеллектуального управления, такие как TRACE MODE, SIMATIC STEP 7, TwidoSoft и др. не содержат специализированного инструментария, который бы позволил в полной мере реализовать или анализировать структуру многомерных нечётких и дискретно-логических регуляторов.

В своей работе автор опирался на труды Л. А. Заде, Е. А. Мамдани, В. В. Круглова, А. А. Ускова, А. В. Леоненкова, Н. П. Деменкова, Ш. Зильберштейна, Б. Г. Ильясова, В. И. Васильева, А. П. Верёвкина, А. Г. Лютова, Р. А. Мунасыпова и др., в которых достаточно полно освещены вопросы синтеза многомерных нечётких регуляторов, но многомерные логические регуляторы с чёткими термами для управления технологическими процессами не нашли должного отражения.

Приведённые доводы позволяют считать интеллектуальное управление технологическими процессами на основе многомерных чётких логических регуляторов с

компенсацией взаимного влияния контуров регулирования – *актуальной научной задачей*, решение которой позволит улучшить параметры данного вида регуляторов, а также существенно повысить качество управления технологическими процессами и объектами, описанными вербально.

Цель диссертационной работы состоит в разработке интеллектуальной системы управления (ИСУ), использующей многомерный чёткий логический регулятор (МЛР) для улучшения параметров управления вербально описанными технологическими процессами и объектами с взаимосвязанными регулируемыми параметрами, и на этой основе позволяющей повысить качество готовой продукции, а также снизить энергозатраты.

В работе поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Разработать интеллектуальную систему управления технологическим процессом на основе многомерного чёткого логического регулятора, блок логического вывода (БЛВ) которого представлен в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил.
2. Разработать структуру системы продукционных правил МЛР, в которой, помимо регулирования значений технологических параметров, производится компенсация взаимного влияния контуров регулирования.
3. Разработать специализированный алгоритм интерпретации непрерывных физических величин эквивалентной совокупностью аргументов двузначной логики (STEP-TIME) с целью увеличения быстродействия процессов фаззификации в МЛР.
4. Разработать программное обеспечение системы автоматизированной разработки МЛР, инвариантной по отношению к языкам программирования промышленных и ПК-основанных контроллеров стандарта IEC 61131-3.
5. Разработать методику автоматизированной разработки интеллектуальной системы управления на основе МЛР и провести оценку её практической значимости для повышения показателей качества управления при автоматизации конкретных технологических процессов и производств.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертационной работе задач использовались методы теории управления, теории имитационного моделирования, элементы теории алгоритмов, двузначной логики, многомерных нечётких и дискретно-логических регуляторов.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Интеллектуальная система управления на основе многомерного чёткого логического регулятора, в котором блок логического вывода представлен в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил.
2. Структура системы продукционных правил МЛР, состоящей из регулирующей и компенсирующей составляющих, обработка которых производится в каждом цикле сканирования.

3. STEP-TIME алгоритм фаззификации непрерывных физических величин МЛР с возможностью выбора характера и порядка распределения чётких термов на универсальной числовой оси.

4. Программное обеспечение системы автоматизированной разработки МЛР, инвариантной по отношению к языкам программирования промышленных и ПК-основанных логических контроллеров, описанных в международном стандарте ИЕС 61131-3.

5. Методика автоматизированной разработки ИСУ на основе МЛР с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования, и результаты оценки её практической значимости для повышения показателей качества управления сложными технологическими объектами и процессами.

Научная новизна результатов диссертационной работы:

1. Новизна интеллектуальной системы управления на основе многомерного чёткого логического регулятора заключается в представлении блока логического вывода (БЛВ) в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил, что позволяет повысить быстродействие многомерной САР и произвести верификацию сложных логических конструкций.

2. Новизна структуры системы продукционных правил МЛР заключается в представлении системы в виде двух функциональных частей: регулирующей и компенсирующей, что позволяет уменьшить степень взаимного влияния контуров регулирования.

3. Новизна STEP-TIME алгоритма фаззификации непрерывных физических величин, в отличие от известного ANY-TIME алгоритма, заключается в отсутствии программных счётчиков и блока модификации структуры, что позволяет свести до минимума количество операций сравнения МЛР.

4. Новизна методики автоматизированной разработки интеллектуальной системы управления на основе МЛР с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования заключается в сокращении сроков её разработки и в повышении показателей качества управления.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждаются результатами математического моделирования, экспериментальных исследований и вычислительных экспериментов, основанных на методах теории имитационного моделирования, теории автоматического управления, теории системного анализа, нечёткой и двузначной логик.

Практическая ценность результатов диссертационной работы:

1. STEP-TIME алгоритм позволяет многократно повысить быстродействие процедуры фаззификации многомерного чёткого логического регулятора в зависимости от количества термов, описывающих непрерывные физические величины.

2. По сравнению с интеллектуальными системами управления на основе многомерных дискретно-логических регуляторов (ДЛР) количество операций сравнения в ИСУ с МЛР снижено в среднем на 95 %.

3. Разработано программное обеспечение системы автоматизированной разработки многомерных чётких логических регуляторов "САР МЛР" (свидетельство № 2009614305 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам о государственной регистрации программы для ЭВМ от 17.08.2009), которое позволяет реализовать и анализировать законченный программный код МЛР в формате языков программирования ПК-основанных и промышленных контроллеров, определённых международным стандартом IEC 61131-3.

4. На базе шаблонов многомерных чётких логических регуляторов разработана клиент-серверная CASE-система для автоматизации процессов обучения, тестирования и аттестации в образовательных учреждениях и на предприятиях (свидетельства №№ 2009611933, 2009611934 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) о государственной регистрации программы для ЭВМ от 15.04.2009).

5. Использование МЛР в системе управления дистилляционной колонны № 4 цеха "АД-1" ОАО "Сода" позволило снизить перерегулирование в среднем на 53 % и повысить точность регулирования основных технологических параметров (pH жидкости на выходе из смесителя, концентрации NH_3 и температуры газа из конденсатора дистилляции) на $(40 \div 45)$ %.

Реализация результатов диссертационной работы. Результаты диссертационной работы внедрены в:

- систему управления паровым котлом ТЭЦ в городе Стерлитамаке (Республика Башкортостан, Россия), что позволило снизить степень взаимного влияния контуров регулирования технологических параметров и повысить точность регулирования в среднем на 48,5 %;

- процесс обучения, тестирования и аттестации по учебной дисциплине "Интегрированные системы проектирования и управления" в филиале ГОУ ВПО "Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ)" в городе Стерлитамаке (Республика Башкортостан, Россия).

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

- 1-й и 2-й Всероссийской научно-технической конференции "Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий" (Уфа, 2007, 2009);

- 4-й Всероссийской зимней школе-семинаре аспирантов "Актуальные проблемы науки и техники" (Уфа, 2009);

– научно-практической конференции "Научоёмкие технологии в машиностроении" (Ишимбай, 2009);

– 9-й и 11-й Международной конференции CSIT (Computer Science and Information Technologies) (Красноусольск, 2007, Греция, 2009).

Публикации. В рамках диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ: 8 научных статей, из них 2 – в рецензируемых журналах из списка ВАК; 2 – в виде тезисов докладов в сборниках материалов конференций; 3 свидетельства Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 160 страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы, заключение, 75 рисунков, 4 таблицы, библиографический список из 111 наименований на 11 страницах и 2 приложения на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведены результаты, имеющие научную новизну и практическую ценность, сведения о внедрении результатов, апробация работы и публикации, представлено содержание диссертационной работы.

В первой главе произведён анализ ИСУ на основе существующих типов нечётких и дискретно-логических регуляторов с целью установления их достоинств и недостатков, из которых наиболее существенными являются:

– высокая сложность реализации системы продукционных правил для многомерных нечётких регуляторов, которая напрямую зависит от количества термов, используемых для представления входных и выходных переменных;

– завышенное время сканирования системы продукционных правил, вызванное необходимостью обработки в каждом цикле сканирования всех правил системы.

Установлено, что для реализации многомерного чёткого логического регулятора с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования и минимизированным временем отклика, за основу целесообразно взять многомерный пропорциональный дискретно-логический регулятор без автономного сравнивающего устройства.

Произведён анализ ведущих современных систем программирования промышленных и ПК-основанных логических контроллеров (TRACE MODE SOFTOLOGIC, SIMATIC STEP 7, RSLogix 500 и др.) с целью установления степени их готовности к полноценной программной реализации структуры многомерных логических регуляторов с чёткими термами.

Проведённый анализ показал, что для эффективной программной реализации многомерного логического регулятора с переменными в виде совокупности аргумен-

тов двузначной логики необходимо разработать специализированную систему автоматизированной разработки.

Определены основные принципы построения универсальной системы автоматизированной разработки многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности чётких термов и минимизированным временем отклика.

Во второй главе рассматривается способ интерпретации непрерывных физических величин в виде эквивалентной совокупности чётких термов (рисунок 1), новизна которого заключается в возможности выбора характера и порядка распределения чётких термов на универсальной числовой оси, что позволяет расширить функции и область применения МЛР.

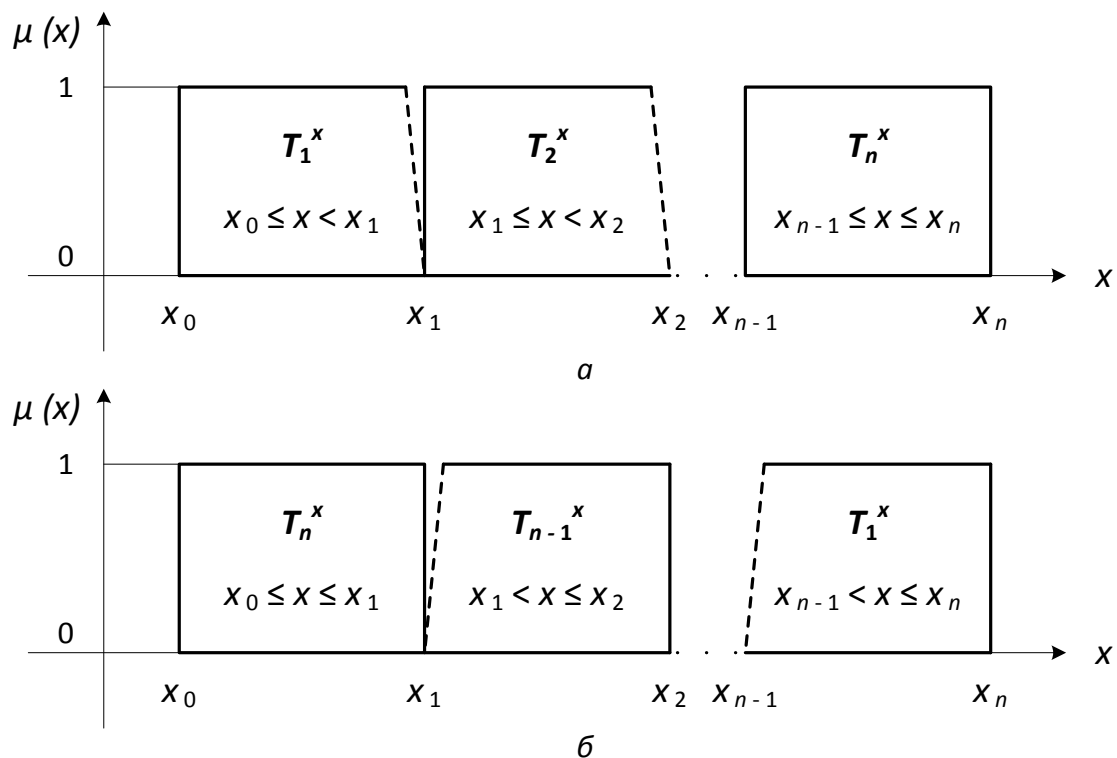


Рисунок 1 – Способ интерпретации физической величины x с прямым (а) и обратным (б) характером и порядком распределения чётких термов T

Предложена концепция построения ИСУ на основе МЛР, в котором блок логического вывода представлен в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил (рисунок 2), что позволяет в каждом цикле сканирования МЛР не обрабатывать систему продукционных правил целиком, а определить только истинное правило, antecedent которого равен логической единице. Данное утверждение опирается на тот факт, что любая непрерывная физическая величина в каждый момент времени t может иметь одно и только одно чёткое значение, находящееся внутри отрезка универсальной числовой оси, покрываемого соответствующим чётким термом, значение которого в рассматриваемый момент времени равно логической единице.

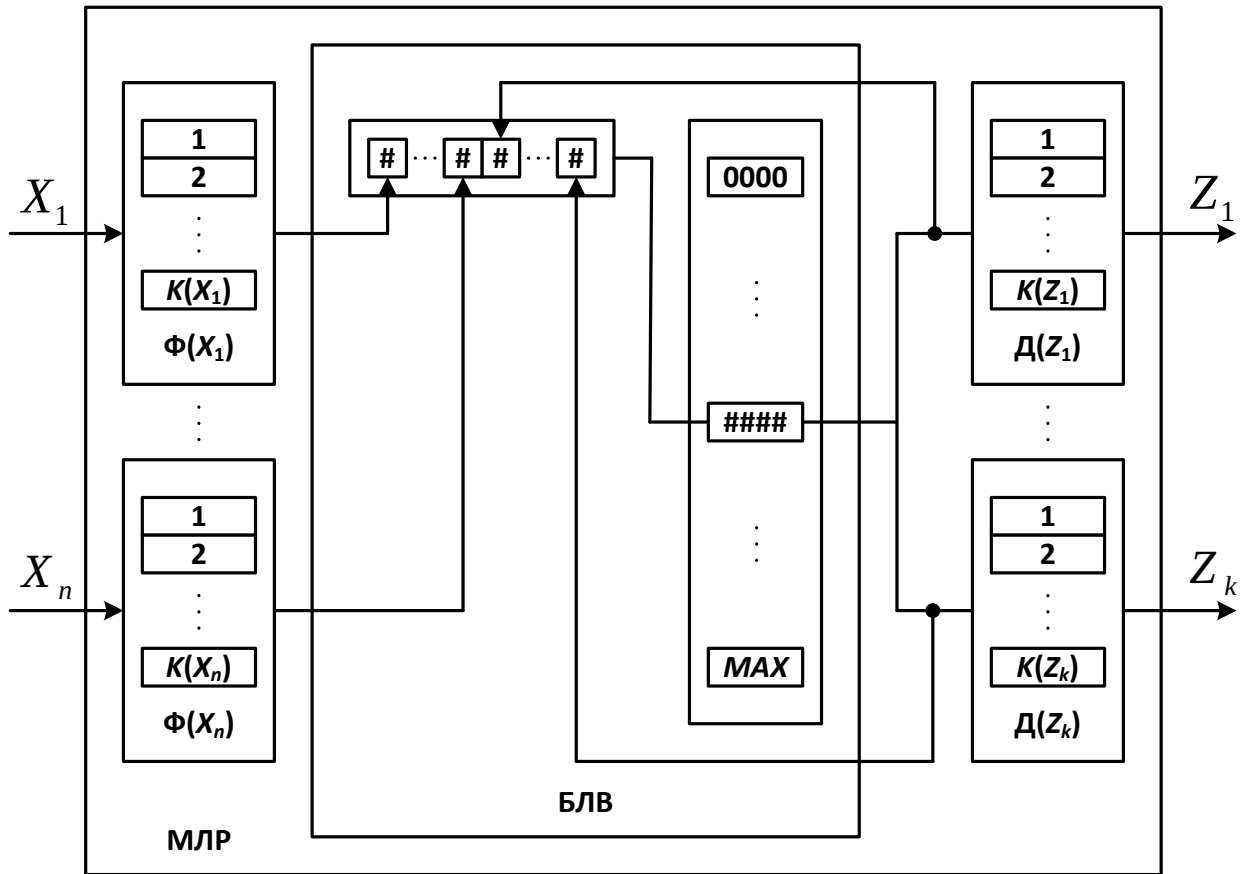


Рисунок 2 – Структурная схема МЛР: Φ – фаззификатор, D – дефаззификатор, БЛВ – блок логического вывода

Получены аналитические выражения для расчёта основных параметров МЛР:

1) Количество продукционных правил R МЛР:

$$R = R_X \cdot R_Z + 1; \quad (1)$$

$$R_X = K(X_1) \cdot K(X_2) \cdot \dots \cdot K(X_n); \quad (2)$$

$$R_Z = K(Z_1) \cdot K(Z_2) \cdot \dots \cdot K(Z_k), \quad (3)$$

где R_X и R_Z – количество продукционных правил МЛР, образованных n -входными и k -выходными переменными X и Z соответственно; $K(X_1), \dots, K(X_n)$ и $K(Z_1), \dots, K(Z_k)$ – количество чётких термов переменных $X_1, \dots, X_n$ и $Z_1, \dots, Z_k$ МЛР соответственно.

2) Процент сокращения суммарного числа продукционных правил ΔR МЛР:

$$\Delta R = \left(1 - \frac{\prod_{i=1}^n K(X_i) \cdot \prod_{j=1}^k K(Z_j) + 1}{\prod_{i=1}^n (K(X_i) + 1) \cdot \prod_{j=1}^k (K(Z_j) + 1)} \right) \cdot 100\%. \quad (4)$$

3) Количество операций сравнения L МЛР:

$$L = \sum_{i=1}^n (K(X_i) + 1) + \sum_{j=1}^k (K(Z_j) + 1). \quad (5)$$

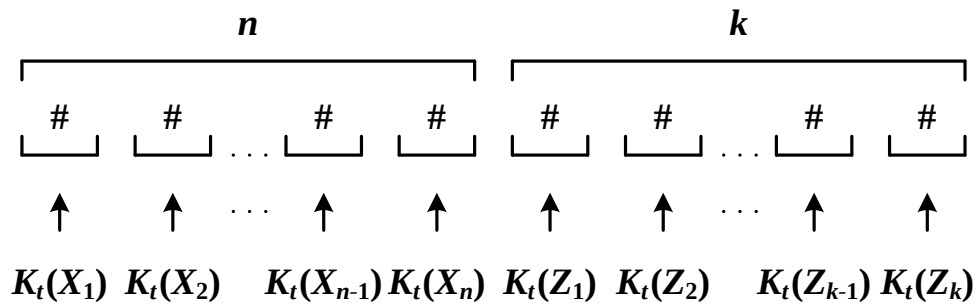


Рисунок 3 – Схема формирования идентификационного номера продукционного правила МЛР в момент времени t

В схеме формирования идентификационного номера продукционного правила МЛР (рисунок 3) $K_t(X_1), K_t(X_2), \dots, K_t(X_n)$ и $K_t(Z_1), K_t(Z_2), \dots, K_t(Z_k)$ – порядковые номера чётких термов, значение которых равно логической единице в момент времени t , переменных $X_1, X_2, \dots, X_n$ и $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$ МЛР соответственно.

Разработана структура системы продукционных правил многомерного чёткого логического регулятора, состоящей из регулирующей и компенсирующей составляющих (РСПП и КСПП соответственно), обработка которых производится в каждом цикле сканирования. На рисунке 4 представлена структурная схема ИСУ на основе МЛР с КСПП, где $Z(t)$, $Z(t)$ и $U(t)$ – векторы задающих, регулируемых и регулирующих параметров соответственно; X_B и Y_B – дискретные входные и выходные сигналы многомерного объекта управления (МОУ) соответственно; T_{3Z} и U_T – векторы термов задающих, регулируемых и регулирующих параметров соответственно.

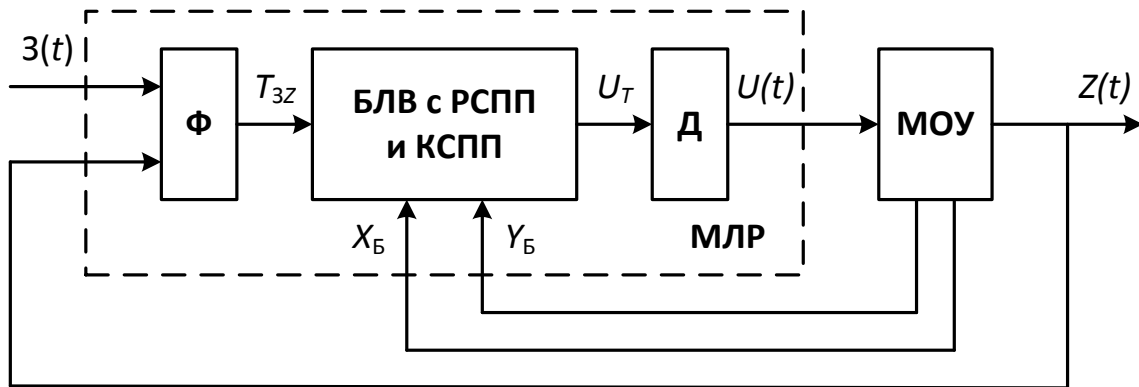


Рисунок 4 – Структурная схема ИСУ на основе МЛР с КСПП

Компенсирующая система продукционных правил позволяет решить основную проблему синтеза МЛР, т.е. предназначена для исключения в установившемся режиме взаимного влияния контуров регулирования.

Источником информации при разработке системы продукционных правил многомерного чёткого логического регулятора являются экспериментально снятые зависимости задающего и регулируемого параметров в автономном (U_{ai}) и многосвязном (U_{mi}) режимах его работы.

В связи с тем, что в составе условной части продукционных правил МЛР имеется возможность использовать термы, как входных, так и выходных переменных регулятора, информацию для разработки компенсирующей системы продукционных правил предлагается получать из 2 или более (при необходимости) экспериментов при работе МЛР с реальным объектом управления.

$$U_{pi} = U_{mi} + U_{ai}. \quad (6)$$

Функция U_{ki} является зеркальным отображением экспериментально полученной функции U_{pi} относительно оси абсцисс (рисунок 5). Очевидно, что при точном отображении функция U_{ki} полностью компенсирует влияние $(n-i)$ -контуров на i -й контур регулирования МЛР.

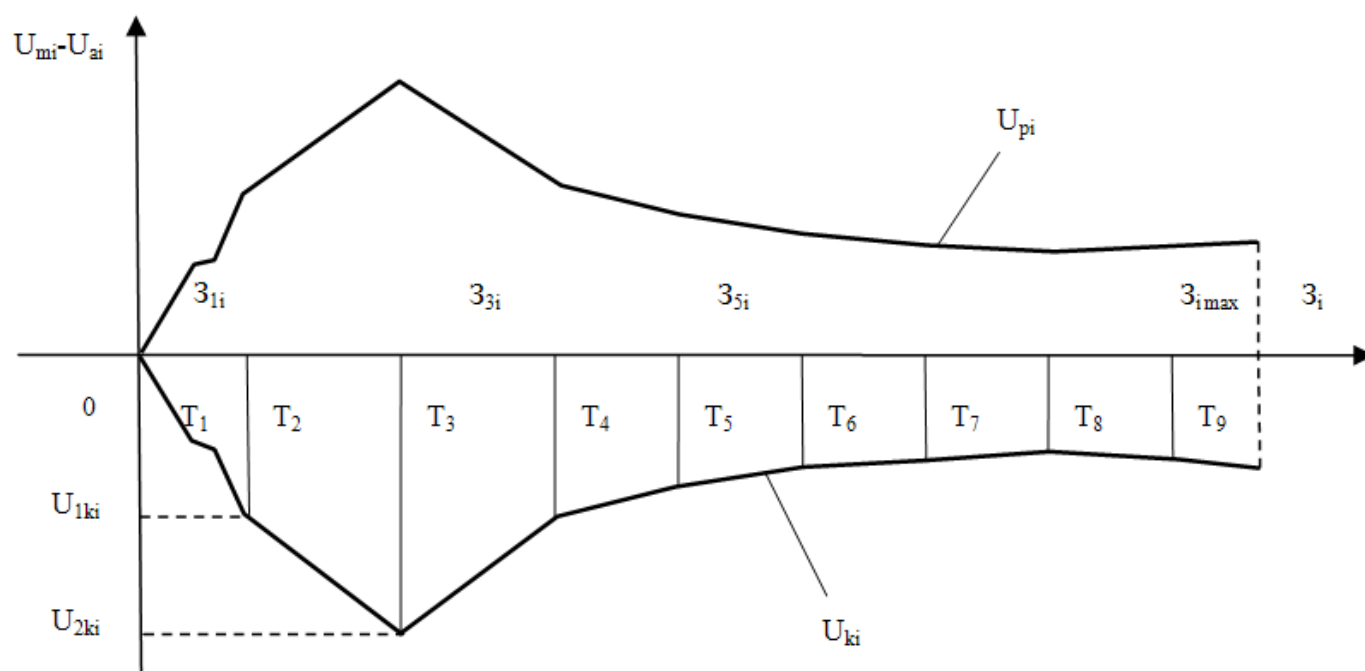


Рисунок 5 – Графики разностной функции U_{pi} и функции компенсации U_{ki} влияния $(n-i)$ контуров на i -ый контур регулирования МЛР

Предложен STEP-TIME алгоритм интерпретации непрерывных физических величин в виде эквивалентной совокупности аргументов двужначной логики, новизна которого, в отличие от известного ANY-TIME алгоритма, заключается в двукратном сокращении суммарного числа операций сравнения, необходимых для фаззификации физических величин. Отсутствие в алгоритме программных счётчиков позволяет минимизировать количество внутренних переменных регулятора и снизить нагрузку на его вычислительный процессор. Увеличение быстродействия процедуры фаззификации ΔF МЛР при использовании STEP-TIME алгоритма фаззификации для непрерывной физической величины x в момент времени t определяется по формуле (7).

$$\Delta F = \left(1 - \frac{K_t(x) + 1}{K(x) + 1} \right) \cdot 100\%. \quad (7)$$

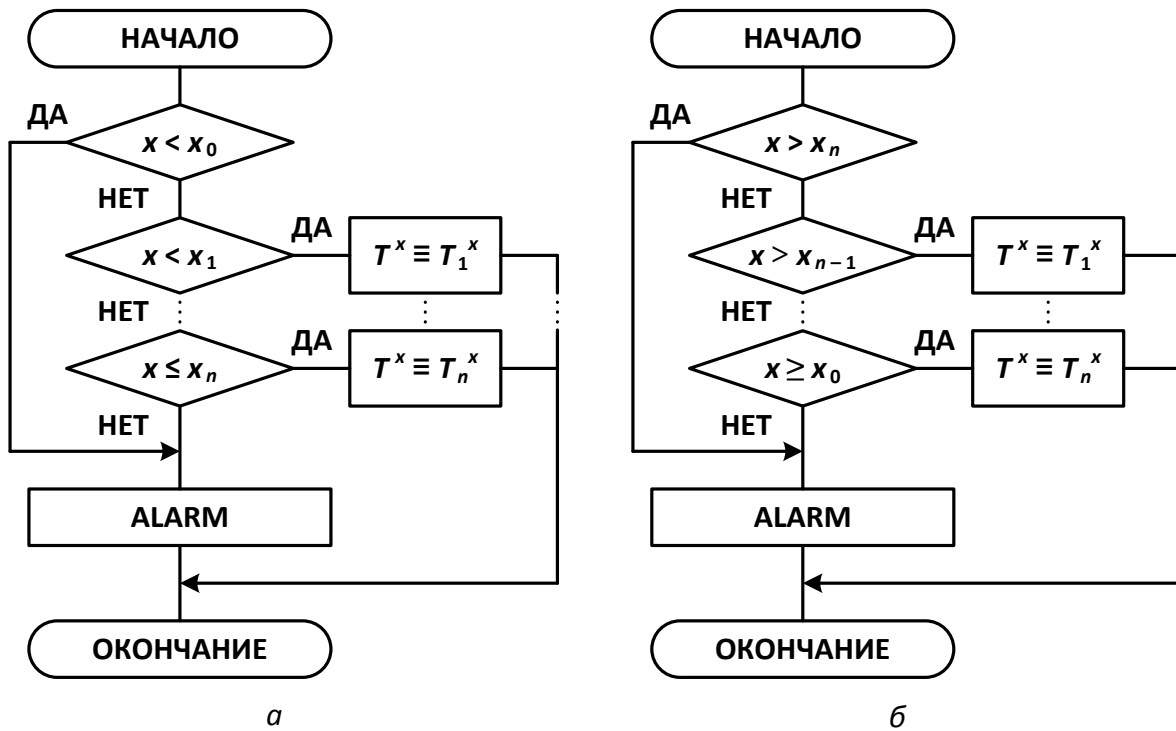


Рисунок 6 – Блок-схема STEP-TIME алгоритма фаззификации непрерывной физической величины x с прямым (а) и обратным (б) характером и порядком распределения чётких термов T^x

Произведён вычислительный эксперимент, и количественная оценка минимизации времени отклика МЛР. Показано, что средний процент увеличения быстродействия многомерной ИСУ при использовании МЛР будет варьироваться в диапазоне $(35 \div 65) \%$ в зависимости от суммарного числа чётких термов непрерывных физических величин K . Количество операций сравнения в МЛР на 95 % ниже, чем в многомерном дискретно-логическом регуляторе (рисунок 7).

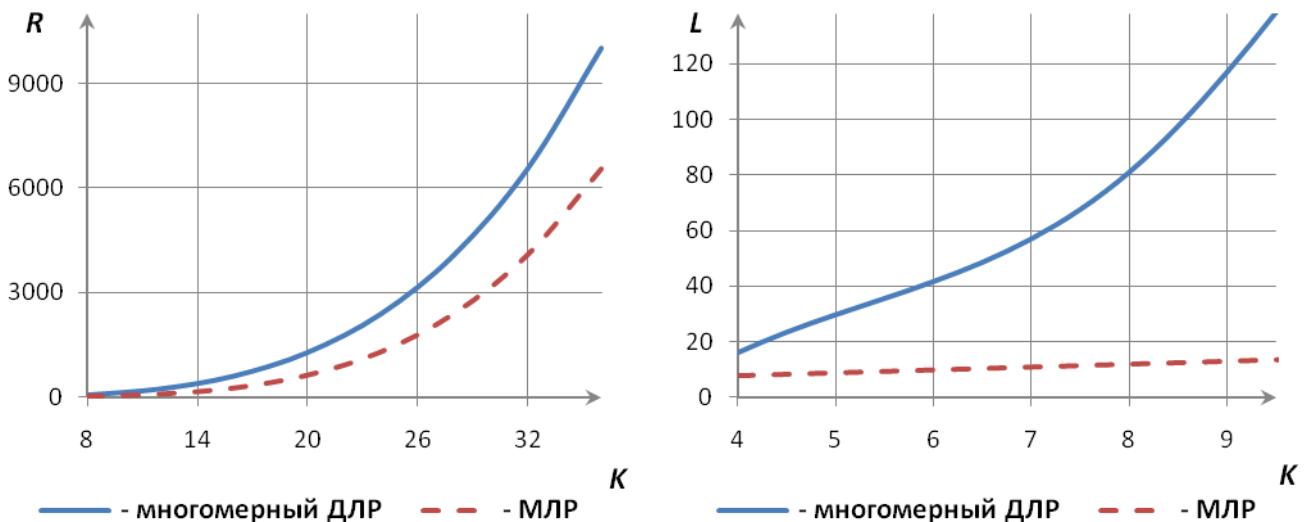


Рисунок 7 – Графики количественной оценки минимизации времени отклика МЛР по результатам вычислительного эксперимента

В третьей главе рассматриваются варианты программной реализации функциональных блоков (фаззификаторов и дефаззификаторов) МЛР, STEP-TIME алгоритма фаззификации на языках программирования стандарта IEC 61131-3 в инструментальной среде разработки TRACE MODE 6.0 и SIMATIC STEP 7.

Разработан алгоритм работы МЛР (рисунок 8), в котором блок логического вывода представлен в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил.

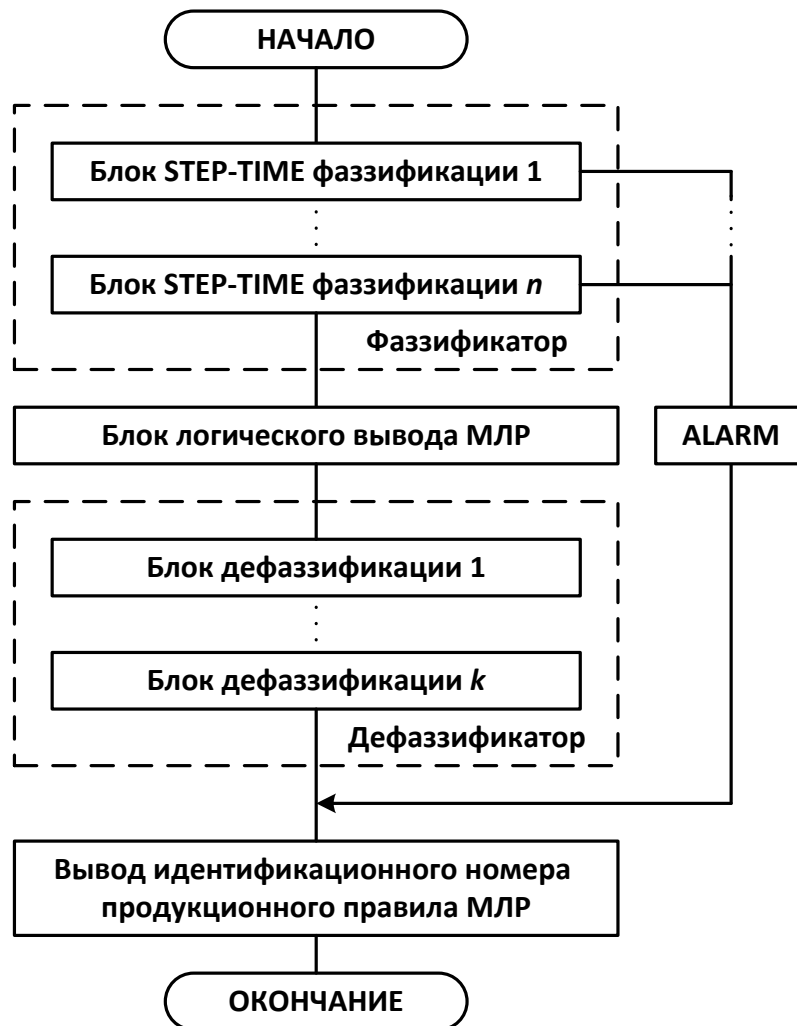


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритма работы МЛР

Получены аналитические выражения для расчёта максимального (8) и текущего минимизированного (9) идентификационного номера продукционного правила МЛР, antecedent которого равен логической единице в момент времени t .

$$N_m^{\max} = R - 1; \quad (8)$$

$$N_m = (K_t(P_1) - 1) \cdot K(P_2) \cdot \dots \cdot K(P_N) + \dots + (K_t(P_{N-1}) - 1) \cdot K(P_N) + K_t(P_N), \quad (9)$$

где вектор P описывает совокупность n -входных и k -выходных переменных X и Z МЛР соответственно; $K_t(P_N)$ – номер терма переменной P_N , значение которого равно логической единице в момент времени t ; $K(P_N)$ – количество чётких термов переменной P_N .

Предложена концепция семантического анализа структуры программного кода многомерного чёткого логического регулятора, состоящая из шести положений, которые предусматривают полноценную проверку системы управляющих воздействий на предмет наличия повторяющихся, противоречащих и дополняющих друг друга продукционных правил.

Разработано программное обеспечение универсальной системы автоматизированной разработки многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности аргументов двужначной логики и компенсацией взаимного влияния контуров регулирования "САР МЛР", разработанной в инструментальной среде объектно-ориентированного языка программирования Borland Delphi.

В "САР МЛР" интегрирован специализированный графический язык программирования STEP-GRAPH, предназначенный для редактирования системы продукционных правил МЛР. Принцип работы со STEP-GRAPH основан на создании продукционных правил, путём выделения необходимых областей на отрезках универсальной числовой оси, образованных чёткими термами переменных МЛР.

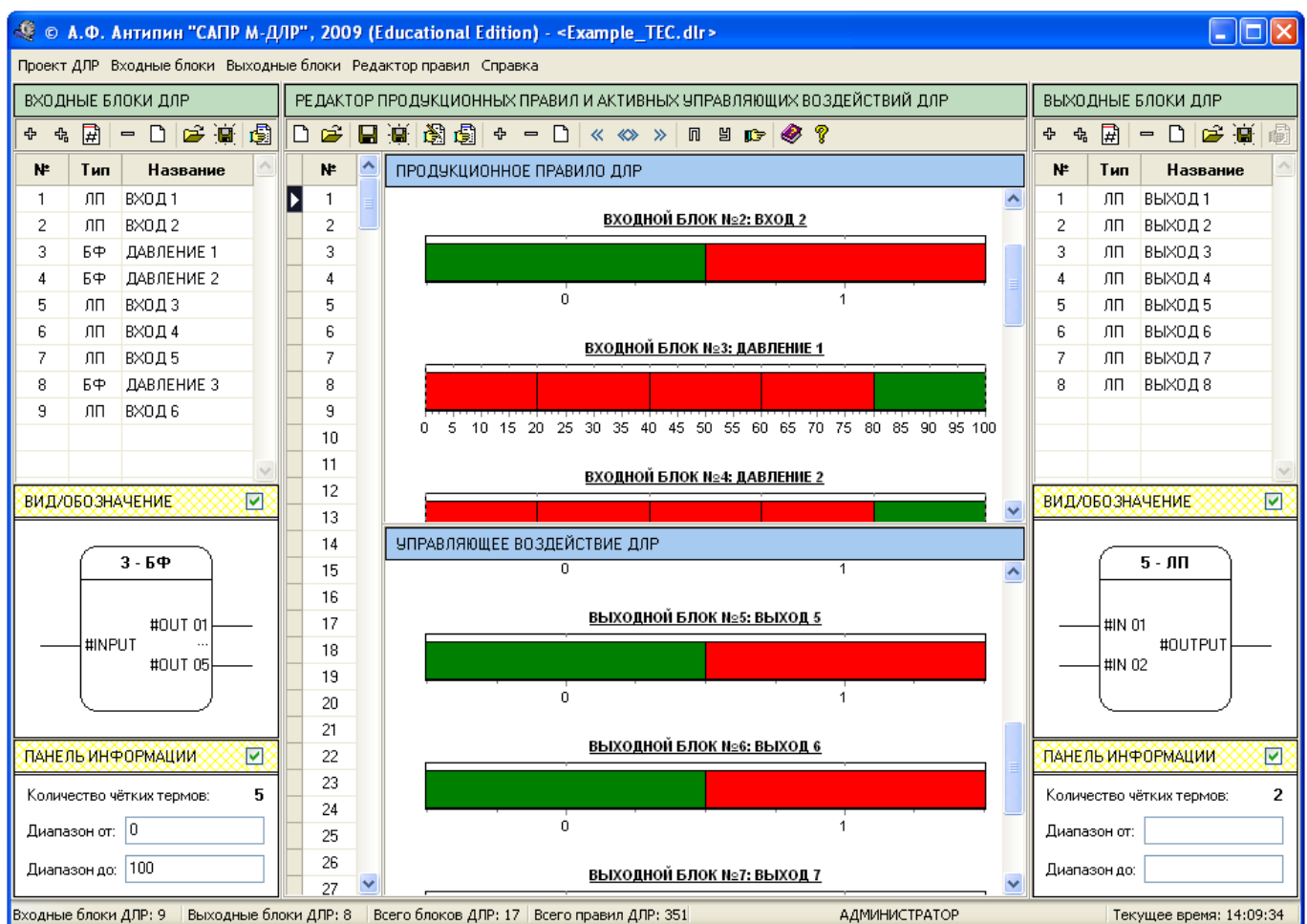


Рисунок 9 – Внешний вид основного окна "САР МЛР"

Результатом работы "САР МЛР" является законченный программный код многомерного чёткого логического регулятора в формате языков программирования про-

мышленных и ПК-основанных логических контроллеров, описанных в международном стандарте ИЕС 61131-3.

Составлено техническое руководство для системы автоматизированной разработки многомерных чётких логических регуляторов "САР МЛР", в котором подробно описаны основные функциональные возможности системы, интерфейс, структурная схема главного меню, а также принцип работы с её редакторами (системы фаззификаторов и дефаззификаторов, системы продукционных правил и др.).

В четвёртой главе рассматривается методика автоматизированной разработки интеллектуальных систем управления на основе многомерных чётких логических регуляторов со STEP-TIME алгоритмом фаззификации непрерывных физических величин и компенсацией взаимного влияния контуров регулирования.

Показаны следующие примеры реализации многомерных ИСУ с использованием многомерных чётких логических регуляторов, созданных в системе автоматизированной разработки "САР МЛР":

- интеллектуальной системы управления фильтрующей горизонтальной центрифугой с ножевой выгрузкой осадка типа ФГН-2001;

- системы тестирования на базе шаблонов многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности чётких термов и минимизированным временем отклика в клиент-серверной CASE-системе, предназначенной для автоматизации процессов обучения, тестирования и аттестации. На разработанное программное обеспечение получены свидетельства Роспатента №№ 2009611933, 2009611934 о государственной регистрации программы для ЭВМ от 15.04.2009;

- интеллектуальной системы управления элементом дистилляции с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования.

Необходимость логического управления элементами дистилляции обусловлена высокой сложностью технологического процесса регенерации аммиака (налипание и образование наростов продукта на стенках трубопроводов, пульсации показаний расходомеров при измерении расхода многофазной среды, инерционность исполнительных механизмов и др.), что затрудняет использование и подбор коэффициентов ПИД-регуляторов.

На основе МЛР с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования реализовано логическое управление дистилляционной колонной, которая состоит из следующих основных элементов: дистиллера, теплообменника и конденсатора дистилляции. Главными показателями оптимального режима работы элемента дистилляции являются заданное содержание CaO в жидкости из дистиллера, которое зависит от значения pH жидкости на выходе из смесителя, и концентрация NH_3 .

На рисунке 11 представлены временные зависимости значений pH жидкости на выходе из смесителя, составленные на основе n ежечасных показаний приборов, в ИСУ элементом дистилляции без МЛР и с использованием МЛР с КСПП.

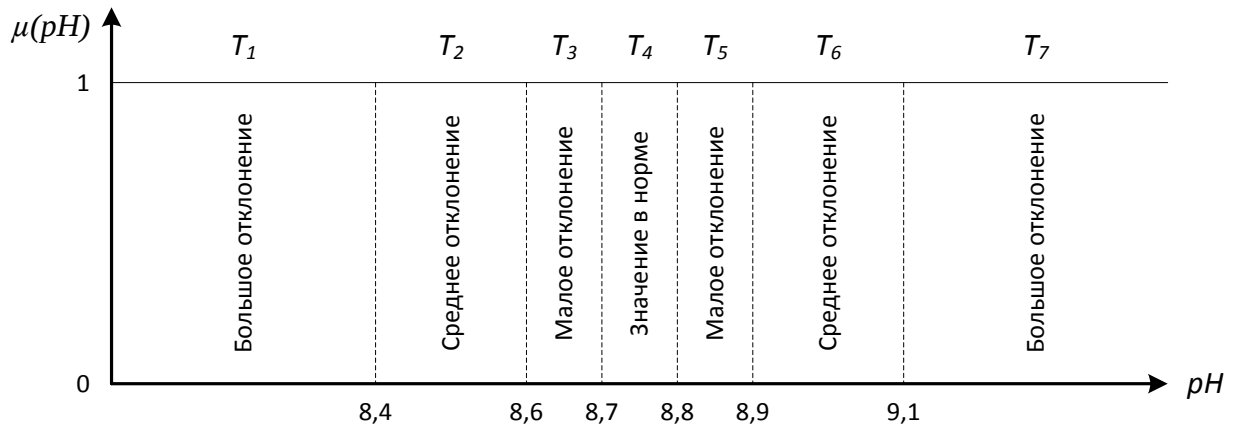


Рисунок 10 – Интерпретация параметра pH совокупностью чётких термов

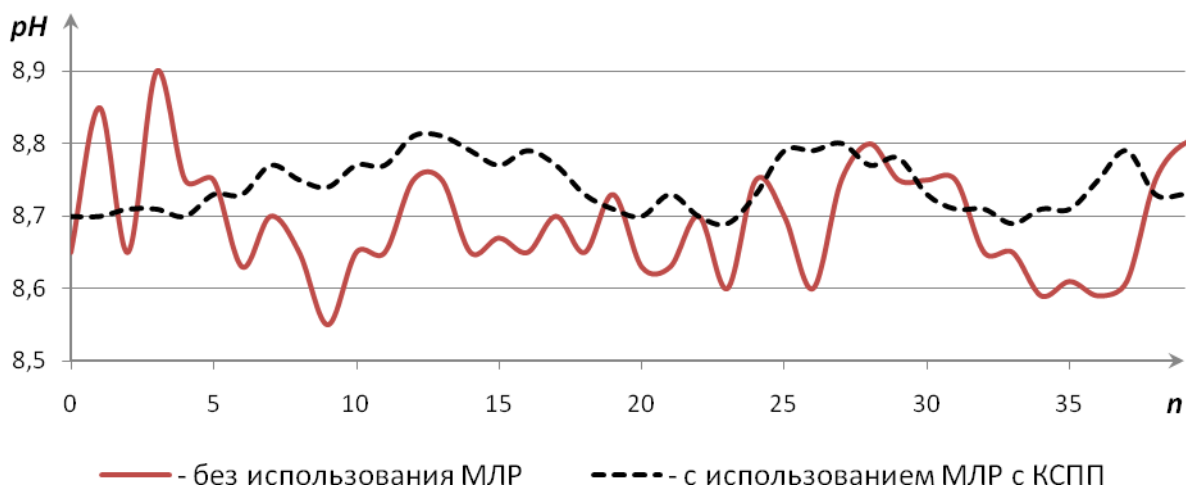


Рисунок 11 – Изменение параметра pH в течение заданного периода времени

Использование МЛР в составе ИСУ дистилляционной колонны № 4 цеха "АД-1" ОАО "Сода" позволило снизить перерегулирование в среднем на 53 % и повысить точность регулирования основных технологических параметров (pH , NH_3 и температуры газа из конденсатора дистилляции) на (40 ÷ 45) %.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОоды И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана интеллектуальная система управления на основе многомерного чёткого логического регулятора с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования, в котором блок логического вывода представлен в виде системы управляющих воздействий с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил, что позволяет повысить быстродействие многомерной ИСУ и произвести верификацию сложных логических конструкций. Показано, что количество продукционных правил в МЛР на (35 ÷ 65) % ниже, чем в многомерном ДЛР.

2. Разработана структура системы продукционных правил многомерного чёткого логического регулятора, в которой, помимо регулирования значений технологиче-

ских параметров, производится компенсация взаимного влияния контуров регулирования.

3. Предложен STEP-TIME алгоритм фаззификации непрерывных физических величин, обеспечивающий многократное сокращение числа операций сравнения МЛР. Разработан алгоритм работы многомерного чёткого логического регулятора. Показано, что количество операций сравнения в МЛР на 95 % ниже, чем в многомерном ДЛР.

4. Разработано программное обеспечение системы автоматизированной разработки МЛР, инвариантной по отношению к языкам программирования промышленных и ПК-основанных контроллеров, описанных в стандарте ИЕС 61131-3, что позволяет реализовать и анализировать законченный программный код МЛР.

5. Составлена методика автоматизированной разработки интеллектуальной системы управления на основе многомерного чёткого логического регулятора и проведена оценка её практической значимости для повышения показателей качества регулирования на паровом котле Стерлитамакской ТЭЦ и дистилляционной колонне № 4 цеха "АД-1" ОАО "Сода" (г. Стерлитамак). Использование МЛР привело к снижению перерегулирования и к повышению точности регулирования основных технологических параметров на 48,5 % (паровой котёл ТЭЦ) и (40 ÷ 45) % (дистилляционная колонна ОАО "Сода").

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Многомерный дискретно-логический регулятор расхода воздуха парового котла с минимизацией времени отклика / Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин // Вестник УГАТУ. Серия "Управление, вычислительная техника и информатика". 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 83–87.

2. Сравнительный анализ быстродействия дискретно-логического регулятора / А. Ф. Антипин // Программные продукты и системы. 2010. № 1 (89). С. 75–77.

В прочих изданиях

3. Программная реализация фаззификатора логического регулятора с чёткими термами лингвистических переменных в системе Siemens SIMATIC STEP 7 / А. Ф. Антипин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий : сб. науч. тр. всерос. науч.-техн. конф. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2007. Т. 2. С. 3–10.

4. Основные принципы построения универсальной системы программирования логического регулятора на основе чётких термов / А. Ф. Антипин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий : сб. науч. тр. всерос. науч.-техн. конф. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2007. Т. 2. С. 10–12.

5. Программная реализация дефаззификатора логического регулятора с чёткими термами лингвистических переменных в системе Siemens SIMATIC STEP 7 / А. Ф. Антипин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий : сб. науч. тр. всерос. науч.-техн. конф. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2007. Т. 2. С. 12–19.

6. Алгоритм фаззификации физических величин на основе чётких множеств / А. И. Каяшев, Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин // Компьютерные науки и информационные технологии : тр. 9-й межд. конф. Уфа : УГАТУ, 2007. Т. 2. С. 82–83 (Статья на англ. яз.).

7. Концепция увеличения быстродействия процесса регулирования, основанного на системе типовых продукционных правил / А. Ф. Антипин // Актуальные проблемы в науке и технике : сб. тр. 4-й всерос. зимней шк.-семинара аспирантов и молодых учёных. Уфа : Диалог, 2009. Т. 1. С. 33–37.

8. Метод минимизации времени отклика дискретно-логического регулятора / А. Ф. Антипин // Научно-технические технологии в машиностроении : матер. науч.-практ. конф. Уфа : УГАТУ, 2009. С. 34–35.

9. Основы автоматизированного проектирования многомерных логических регуляторов / А. И. Каяшев, Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин // Компьютерные науки и информационные технологии : тр. 11-й межд. конф. Уфа : УГАТУ, 2009. Т. 1. С. 60–62 (Статья на англ. яз.).

10. Семантический анализ алгоритмов управления процессами на базе дискретно-логического регулятора / А. Ф. Антипин, Е. А. Муравьёва // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий : сб. науч. тр. 2-й всерос. науч.-техн. конф. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2009. Т. 2. С. 161–163.

11. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009611933. Клиент CASE-системы для автоматизации процесса обучения, тестирования и аттестации в образовательных учреждениях и на предприятиях на базе дискретно-логического регулятора / Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин (RU). М. : Роспатент, 15.04.2009.

12. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009611934. Сервер CASE-системы для автоматизации процесса обучения, тестирования и аттестации в образовательных учреждениях и на предприятиях на базе дискретно-логического регулятора / Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин (RU). М. : Роспатент, 15.04.2009.

13. Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009614305. Система автоматизированного проектирования многомерных логических регуляторов / А. И. Каяшев, Е. А. Муравьёва, А. Ф. Антипин (RU). М. : Роспатент, 17.08.2009.

АНТИПИН Андрей Фёдорович

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ ЧЁТКИХ
ЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 24.05.2010 г. Формат 60×84 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 _____ экз. Заказ № _____ .

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12