

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

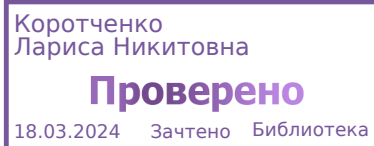
Павлов Вячеслав Вячеславович

**Разработка интеллектуальной системы
управления водогрейным котлом**

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Кандидат технических наук,
доцент кафедры Черный Сергей
Петрович

Рецензент

Кандидат технических наук,
главный инженер, ООО «Одиссей-ДВ»
Бакаев Виктор Викторович

Защита состоится « 15 » марта 2024 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 11 марта 2024 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

С развитием технологий автоматизации во многих отраслях промышленности производится замена устаревших систем управления новым современным оборудованием. В качестве объекта для разработки формализованной модели и новой системы управления был выбран водогрейный котел ДКВР. Особенностью данного объекта является его перевод из парового в водогрейный режим.

В настоящее время котлы являются высокоавтоматизированными установками. Автоматизация котлов - одно из основных направлений повышения их коэффициента полезного действия, снижения удельного расхода топлива, обеспечения безаварийности работы. Однако эффективность работы котлов определяется не только объемом автоматизации, но и в значительной степени оптимальной настройки автоматических регуляторов.

Основное достоинство систем с применением мягких вычислений – возможность для сложных и трудно формализуемых объектов управления сформировать на логической основе необходимые алгоритмы управления. Такой подход позволяет повысить качество автоматизированного технологического процесса большого числа производственных систем, к которым также можно отнести различные тепловые системы химического и фармацевтического производства, системы газо- и теплоснабжения, электромеханические системы и другие.

Одним из видов систем управления являются так называемые следящие системы. Следящая система представляет собой динамическую систему, предназначенную для обеспечения изменения регулируемой величины в соответствии с изменением сигнала на ее входе.

Существуют различные факторы влияющие на точность следящих приводов это и влияния внешних возмущений, и изменения коэффициентов усиления, и наличие шумов и нелинейностей в каналах управления.

Бороться с такими факторами позволяют введение всевозможных компенсационных составляющих сигналов ошибки и сигналов возмущения, как в прямом канале, так и в канале обратной связи, увеличение количества контуров, а также в ряде случаев, в зависимости от требований предъявляемых поведению следящих систем в динамике, применением другого класса следящих систем (непрерывные, импульсные, релейные, цифровые, нейронные сети), кроме того, возможно использование аппарата нечеткой логики.

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы управления водогрейным котлом.

Основные задачи магистерской диссертации заключаются в реализации моделей нечетких модулей с различными алгоритмами вывода для системы управления водогрейным котлом.

Характеристика объекта и предмета исследования. Объектом исследования является нечеткий логический регулятор, реализующий процедуру управления водогрейным котлом. Предметом исследования представляются процедуры и законы управления, реализуемые такой интеллектуальной системой.

Характеристика методологического аппарата. При исследовании используются элементы интегрального и дифференциального исчисления, основные положения теории автоматического регулирования, а также теория мягких вычислений.

Научную новизну в данной работе можно определить как расширение возможностей типовых процедур управления, реализуемых при помощи аппарата нечеткой логики для повышения интеллектуальных свойств систем управления водогрейным котлом. Практическая значимость подтверждается участием в конференциях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе рассмотрены существующие системы управления технологическим процессом, представлены ключевые понятия теории нечетких множеств, синтеза нечеткого регулятора и нечеткая продукционная база знаний. Выполнен анализ существующих аналогов систем управления технологическим процессом.

Во второй главе рассмотрены технические и конструктивные характеристики водогрейного котла. Проведены поверочные тепловые и гидравлические расчеты на максимальной, минимальной и средней нагрузках работы котла для оценки возможности работы котла в водогрейном режиме и его тепловой эффективности. Также проведены расчеты на прочность всех элементов котла и определены минимально допустимые толщины стенок барабанов, днищ, коллекторов и труб котла на расчетном давлении. Произведен анализ режимов работы котельной и конструктивных характеристик для реализации максимальной эффективности и долговечности работы водогрейного котла. Сделан вывод об эффективности эксплуатации парового котла ДКВР-6,5/13, переведенного в водогрейный режим по представленной схеме. Определено, что использование котла в данном режиме позволяет надежно эксплуатировать котел при увеличенной на 40% тепловой мощности с максимальным для такого типа котлов КПД на уровне 82,5% в зависимости от нагрузки.

В третьей главе проведен анализ интеллектуальной системы управления теплотехнической установки. Автоматические системы регулирования топлива (АСР) предназначены для обеспечения потребителя требуемым количеством пара заданного качества (давления). Динамические характеристики элементов АСР зависят от вида сжигаемого топлива и состояния поверхностей нагрева. Расчетный метод определения

динамических характеристик. При аналитических расчетах динамических характеристик каждый из регулируемых участков представляют последовательным соединением звеньев с сосредоточенными параметрами.

Рассмотрено введение нечеткого управления на отдельных АСР, что позволяет избежать ручной подстройки, нечеткая логика моделирует процесс ассоциативного мышления человека, а в данном случае оператора, осуществляющего ручное управление. Кроме этого, основанное на мягких вычислениях управление косвенным образом учитывает неточности и допущения в математическом описании модели объекта управления, которые неизбежны при проектировании классической АСР.

Представленные особенности нечеткого управления позволяют создавать более робастные и более эффективные АСР для рассматриваемого класса объектов управления. АСР топлива должна выполнять функции компенсации внутренних и внешних возмущений с помощью одного управляющего воздействия - расхода топлива. Определено, что АСР топлива должна обеспечить:

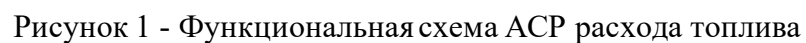
- устойчивую работу автоматических регуляторов (отсутствие автоколебаний) и ограниченную частоту их включения, которая при постоянной нагрузке не должна превышать шести включений в минуту;

- поддержание в регулирующем режиме работы котла давления пара перед турбиной или в главной паровой магистрали с отклонением не более $\pm 2\%$ номинального;

- поддержание в базовом режиме работы котла расхода пара с него с отклонением не более $\pm 3\%$ заданного;

- протекание переходных процессов, вызываемых скачкообразным изменением заданного значения нагрузки на 10% (при исходной номинальной нагрузке), с интегральными квадратичными оценками: 1000 $(\%)^2$ -с для регулирующего и 1200 $(\%)^2$ -с для базового режимов работы котла.

Рассмотрена функциональная схема АСР расхода топлива.



Динамическая модель типовой АСР расхода топлива реализована в виде звеньев структурной схемы, передаточные функции которых получены экспериментальным путем. При моделировании нечеткой модели АСР расхода топлива применим комбинированный подход. Была произведена замена в структуре АСР регулятор на систему, основанную на мягких вычислениях, а внутренний контур оставлен без изменений.



Рассматриваемая система имеет большую структурную сложность, применим для данной САР нечеткое регулирование, реализованное по алгоритму Сугено и Мамдани.

Содержание нечеткой базы правил и распределение функций принадлежности нечеткого регулятора для системы интеллектуальной управления с алгоритмом вывода Сугено приведены ниже:

1. If (input1 is m) and (input2 is n) then (output1 is z),
2. If (input1 is z) and (input2 is z) then (output1 is z),
3. If (input1 is n) and (input2 is p) then (output1 is z),
4. If (input1 is z) and (input2 is p) then (output1 is z),
5. If (input1 is n) and (input2 is n) then (output1 is z).

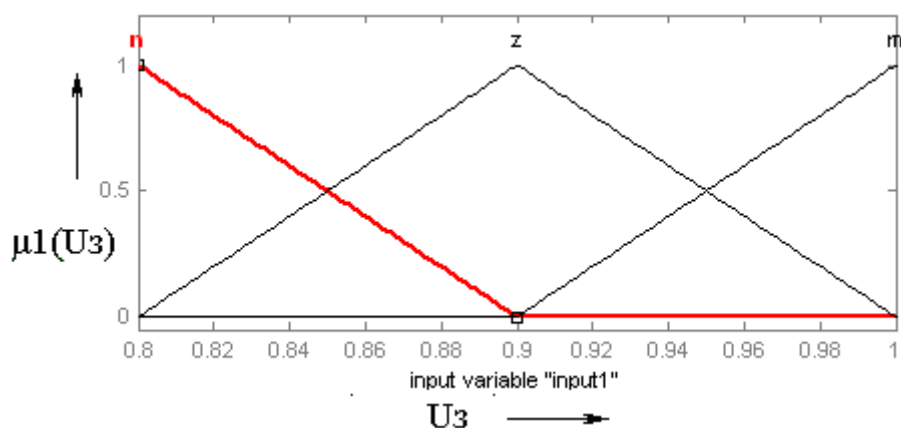


Рисунок 3 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (input1)

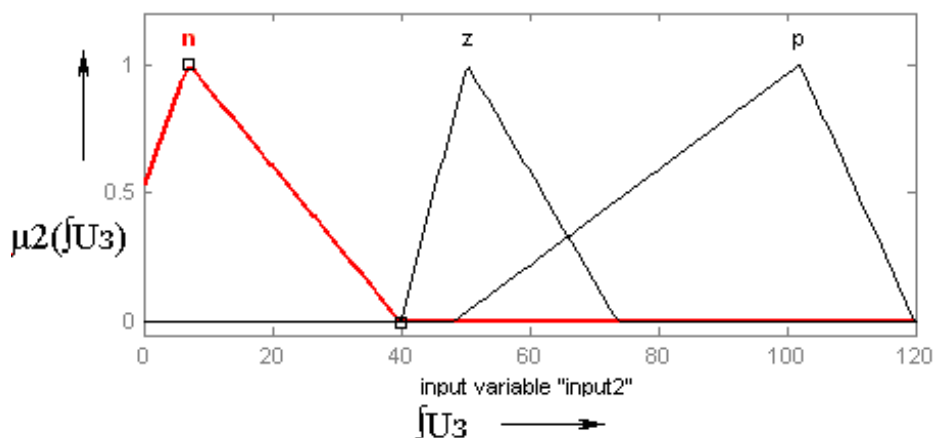


Рисунок 4 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (input2)

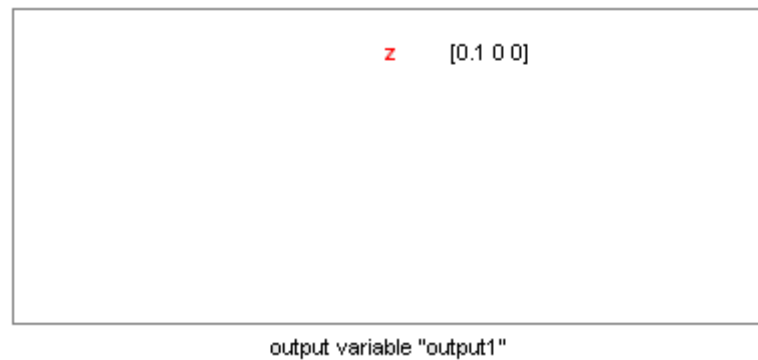


Рисунок 5 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (output1)

Нечеткий регулятор имеет два входа оценивающие ошибку сигнала и интеграл от ошибки сигнала. ФП нечетких регуляторов являются треугольными, Z и S функциями. На выходе нечеткого регулятора формируется одна функция принадлежности в виде константы. Для выработки более точного сигнала управления необходимо использовать алгоритм логического вывода – Сугено первого порядка. База знаний состоит из 5 правил и представляет собой правила типа: «Если - то». Нечеткая база правил, необходима для выработки управляющих сигналов.

Ниже приведено содержание нечеткой базы правил и распределение функций принадлежности нечеткого регулятора для системы интеллектуальной управления с алгоритмом вывода Мамдани:

1. If (input1 is b) and (input2 is m) then (output1 is b),
2. If (input1 is z) and (input2 is z) then (output1 is m),
3. If (input1 is m) and (input2 is m) then (output1 is m),
4. If (input1 is m) and (input2 is z) then (output1 is z).

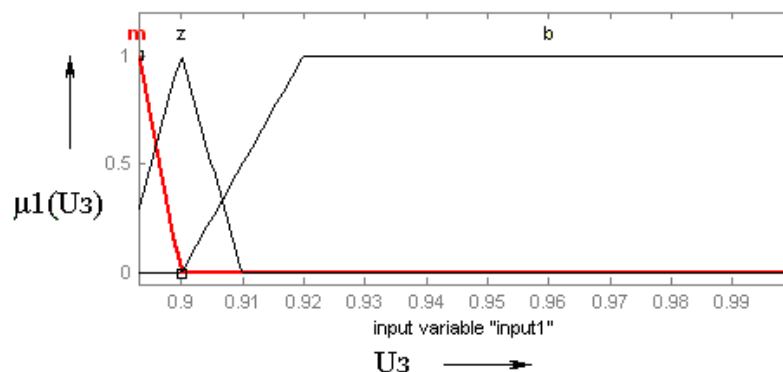


Рисунок 6 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (input1)

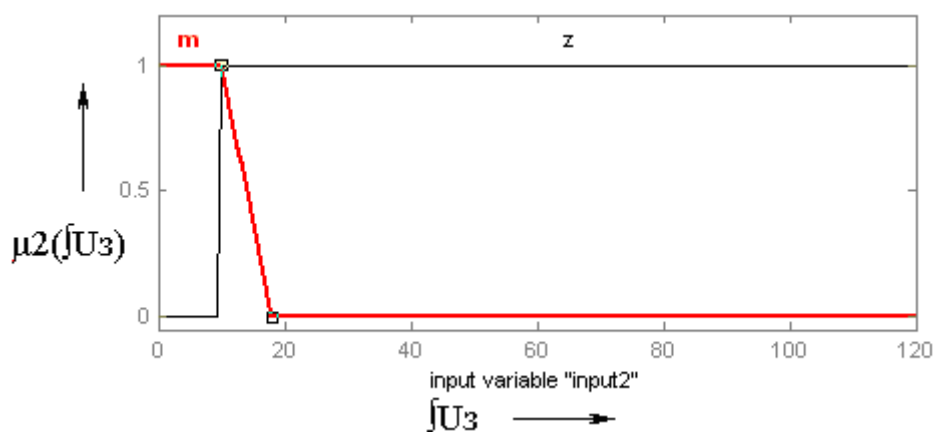


Рисунок 7 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (input2)

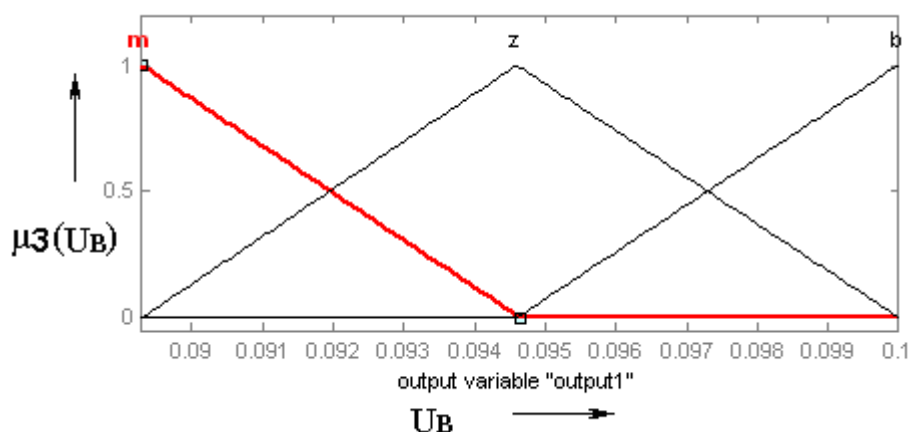
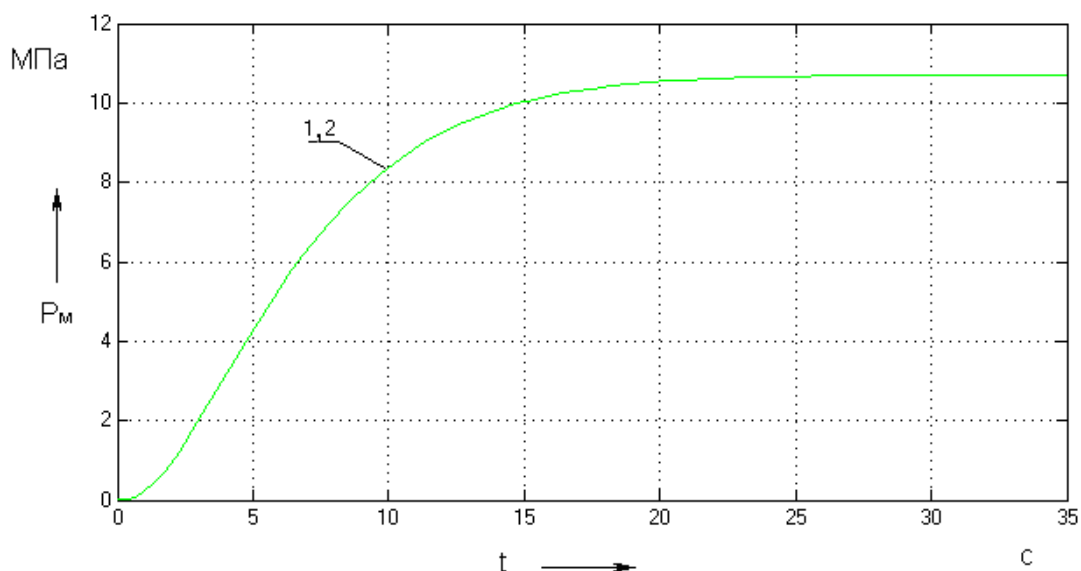


Рисунок 8 - Распределение функций принадлежности нечеткого регулятора (output1)

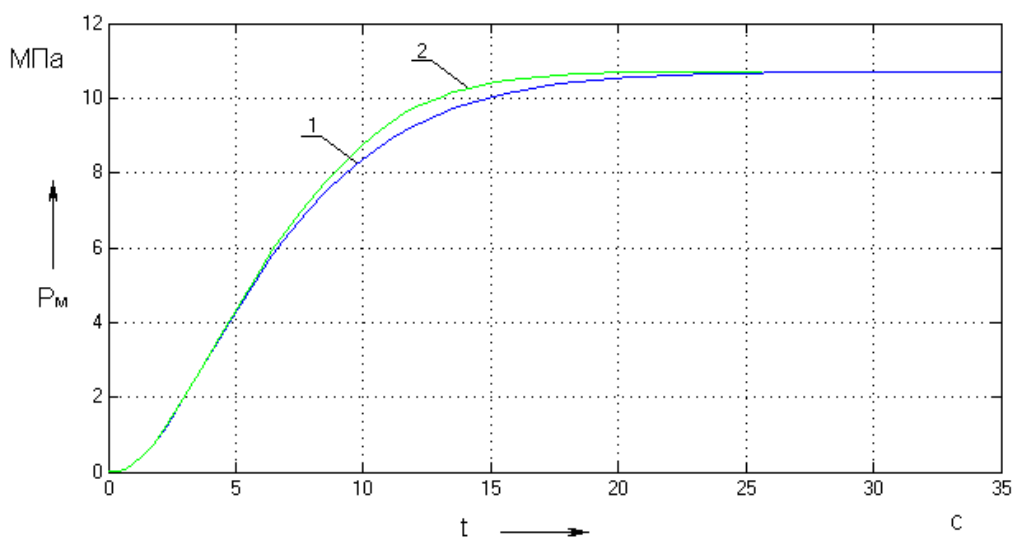
Так же как и в случае с регулятором Сугено нечеткий регулятор с нечетким логическим выводом по Мамдани имеет два входа оценивающие ошибку сигнала и интеграл от ошибки сигнала. Входные и выходные ФП имеют треугольную форму. Данный подход позволяет вырабатывать более точный сигнал управления. База правил представляет собой набор из 4 правил продукционного типа. В представленных случаях были выбраны НЛР с функцией принадлежности расположенной в нулевой зоне, что позволяет не только повысить быстродействие системы, но и сократить количество правил БЗ. Обе нечеткие БЗ выполняют требования о полноте и непротиворечивости.

В результате синтеза интеллектуальной системы управления паровым котлом были получены динамические характеристики, приведенные на рисунках 9 и 10:



1- система с классическим регулятором; 2 – система с нечётким логическим регулятором с выводом по Сугено.

Рисунок 9 - Графики переходных процессов с классическим регулятором и нечётким логическим регулятором с выводом по Сугено



1 - система с классическим регулятором; 2 – система с нечётким логическим регулятором с выводом по Мамдани.

Рисунок 10 – Графики переходных процессов с классическим регулятором и нечётким логическим регулятором с выводом по Мамдани

Алгоритм Сугено с вычислительной точки зрения реализуется значительно проще, чем алгоритм Мамдани, а время счета для него меньше, чем для алгоритма Мамдани. В данном случае график переходного процесса алгоритма Сугено повторяет график переходного процесса с классическим

регулятором, что в свою очередь говорит о необходимости дополнительной настройки баз знаний.

Задача синтеза должна сводиться к отысканию такого вида и формы ФП (функции принадлежности), которые при вышеприведенных допущениях на основании принятого алгоритма нечеткого вывода обеспечивали бы требуемый вид управляющего воздействия.

Применяя графо-аналитический безэкспертный метод построения ФП, получим необходимое их распределение в заданном диапазоне управления (рисунок 11).

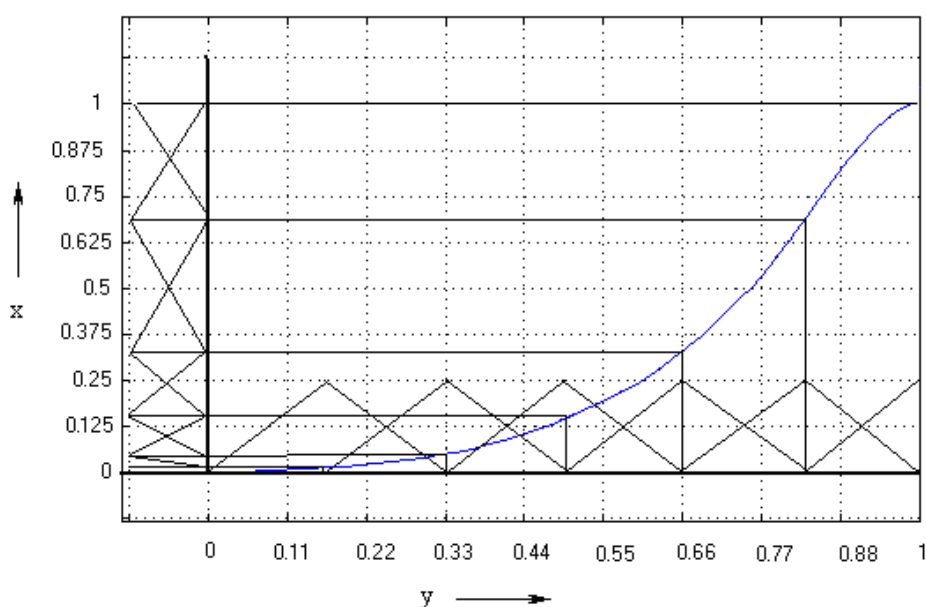


Рисунок 11 – Распределение функций принадлежности

Такой вид ФП, при котором производится их концентрация в около нулевой зоне, позволяет повысить динамику и точность системы управления, а также сократить объем БЗ НЛР и повысить некоторые робастные свойства систем основанных на мягких вычислениях.

Приведем интегральные кривые изменения времени отработки возмущающих воздействий при различных соотношениях постоянной времени $T_{p\text{мв}}$ для исходной системы и системы с нечетким регулятором, полученные по результатам моделирования.

Таблица 1.1 - Классическая система

Рассогласование (%)	-15	-10	-5	0	5	10	15
Относительное время отработки	10,78	10,98	11,29	11,44	11,75	11,96	12,47

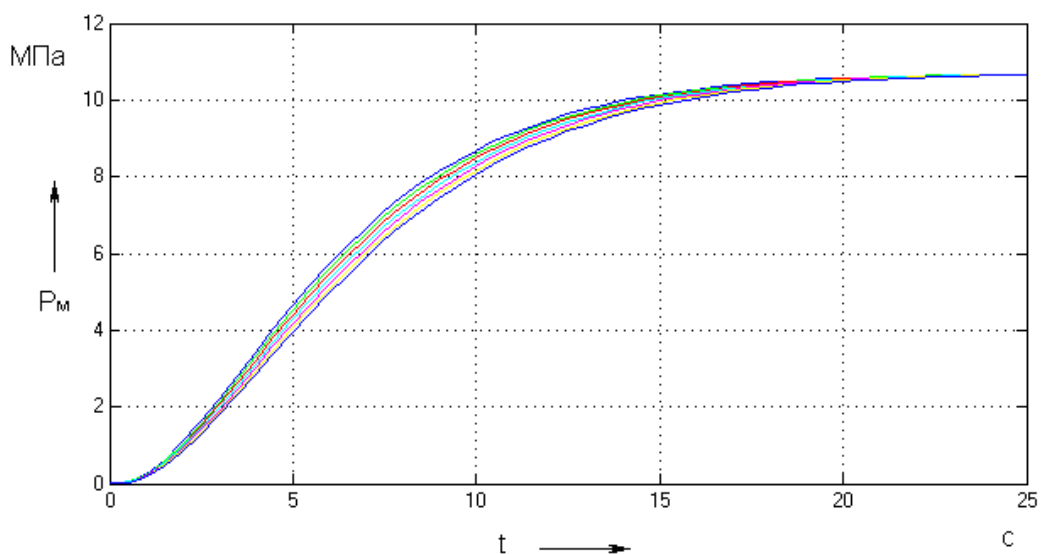


Рисунок 12 – Графики переходных процессов

Таблица 1.2 – Интеллектуальная система

Рассогласование (%)	-15	-10	-5	0	5	10	15
Относительное время отработки системы управления алгоритмом вывода Сугено	10,37	10,58	10,82	11,03	11,21	11,47	11,63
Относительное время отработки системы управления алгоритмом вывода Мамдани	9,88	10,06	10,27	10,46	10,63	10,81	11,03

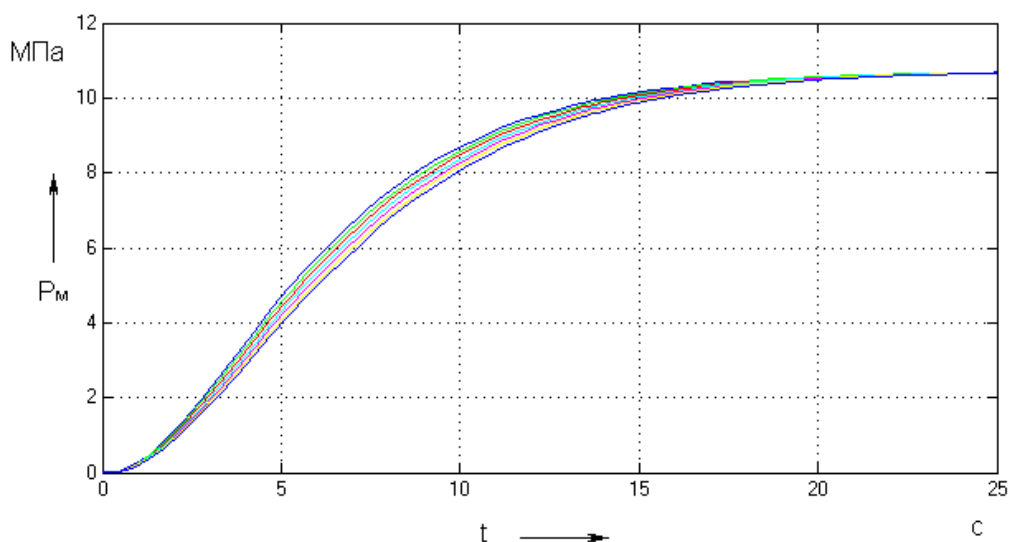


Рисунок 13 – Графики переходных процессов для СУ с алгоритмом Сугено

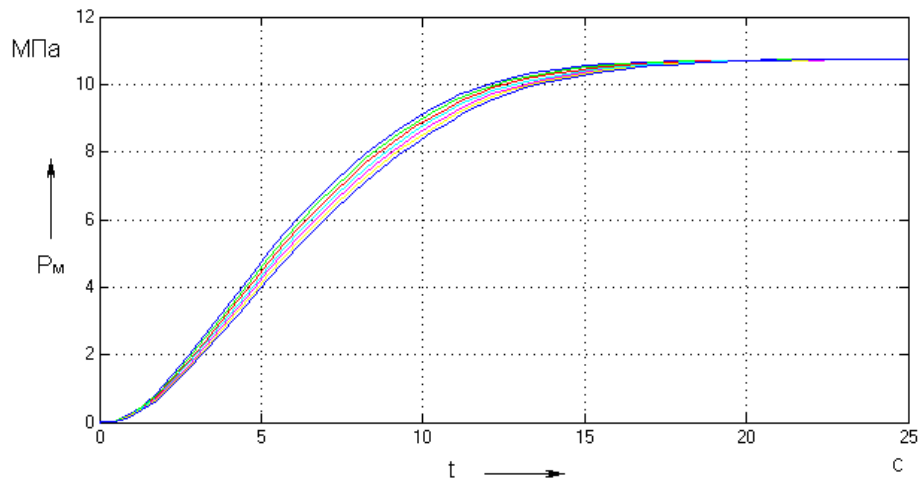


Рисунок 14 – Графики переходных процессов для СУ с алгоритмом Мамдани

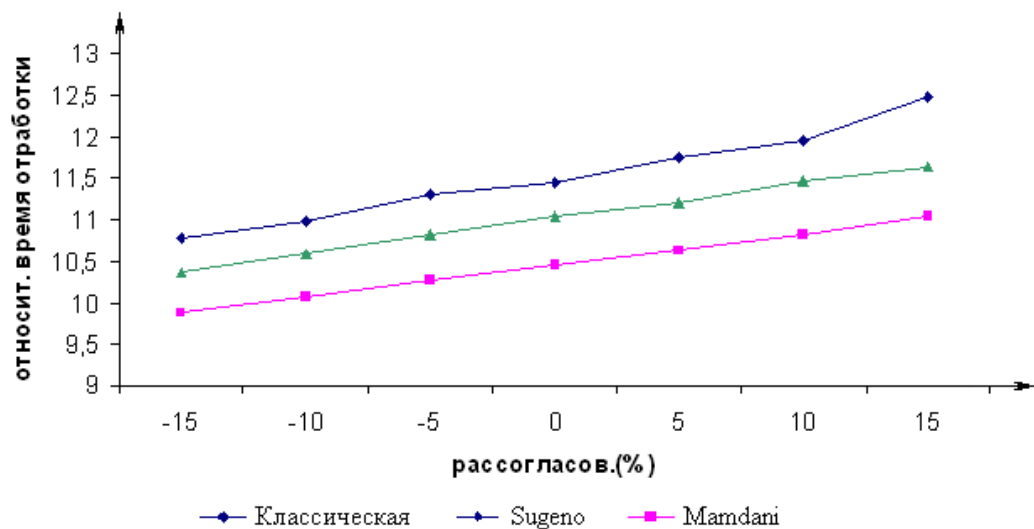


Рисунок 15 – Интегральные кривые изменения времени отработки возмущающих воздействий

Алгоритм Сугено наиболее подходит для использования сложных нестационарных технических систем, тогда как алгоритм Мамдани является наиболее общим, чем объясняется и его применение, как в экспертных системах, так и в любых СУ вообще.

Можно сказать, что нечеткая логика является одним из наиболее перспективных направлений современной теории управления. Выпускаются специальные нечеткие контроллеры и микрочипы, работа которых основана

на теории нечёткой логики. Разработано множество программных пакетов, позволяющих реализовывать нечеткие алгоритмы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Выполнен анализ существующих систем управления технологическими процессами и предложена модернизация системы управления котлоагрегатом.

2 Разработано нечеткое управление для автоматической системы регулирования топлива.

3 Представлен сравнительный анализ интеллектуальных систем управления подачи топлива с применением алгоритмов нечеткого логического вывода по Сугено, Мамдани и классическим регулятором.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1 Бузикаева А.В., Павлов В.В., Зенченко А.С. Интеллектуальная система управления водогрейным котлом ДКВР/ В сборнике: Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 12-14.

2 Бузикаева А.В., Зенченко А.С., Павлов В.В. Реализация процедур управления в системе с двухзонным регулированием на основе интеллектуального подхода / В сборнике: Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 9-11.