Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

Сотников Илья Андреевич

Моделирование многокаскадных нечетких регуляторов с дополнительной вложенностью

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2023

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

Научный руководитель	Кандидат технических наук, доцент кафедры Черный Сергей Петрович
Рецензент	Заведующий кафедрой «Системы электроснабжения» ДВГУПС Игнатенко Иван Владимирович

Защита состоится «30» июня 2023 года в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 21 июня 2023 г.

Секретарь ГЭК А. В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

На сегодняшний день, эффективное управление сложными объектами и процессами остается одной из актуальных проблем современной науки и техники. С развитием технологий и промышленности возникает потребность в разработке гибких и адаптивных систем управления, способных обеспечить оптимальные результаты, энергоэффективность и экологическую безопасность.

Одним из примеров сложных технологических систем могут быть пиролизные установки мобильного типа, используемые для переработки различных видов отходов. Они требуют эффективного управления, учитывая нелинейность, нестационарность и неопределенность процессов, а также оптимальную настройку параметров регуляторов для достижения требуемых результатов и экономической эффективности.

В связи с этим, разработка нечетких многокаскадных регуляторов с дополнительной вложенностью становится важным направлением исследований в области управления сложными системами. Такие регуляторы предлагают новые возможности для улучшения точности, стабильности и адаптивности управления, адаптируя свои параметры в реальном времени при изменении условий работы объекта управления или окружающей среды.

В данном контексте, исследование и разработка нечеткого многокаскадного регулятора с дополнительной вложенностью для управления пиролизной установкой мобильного типа обретает особую актуальность. Такой регулятор, синтезированный по предложенному методу, обладает робастными и адаптивными свойствами, что позволяет оптимизировать переходные процессы пиролиза даже при изменении параметров объекта регулирования или окружающей среды. Таким образом, исследование в данной области вносит значимый вклад в развитие теории и практики управления сложными техническими системами, а также способствует повышению эффективности и экологической безопасности процесса пиролиза.

Цель работы

Основной целью работы является разработка моделей нечетких регуляторов, которые будут способны обеспечивать оптимальное управление пиролизной установкой мобильного типа. Результаты работы могут быть использованы в различных областях, связанных с управлением технологическими процессами, а также в научных исследованиях, направленных на разработку новых методов управления нечеткими системами.

Для достижения поставленных целей, связанных с разработкой нечеткого многокаскадного регулятора с дополнительной вложенностью, необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести моделирование упрощенной математической модели пиролизной установки с пассивным способом регулирования с учетом ряда упрощающих допущений.
2. Разработать и синтезировать математическую модель нечеткого многокаскадного регулятора с дополнительной вложенностью на основе методов нечеткой логики и теории управления.
3. Провести анализ эффективности разработанного регулятора на основе результатов моделирования процесса пиролиза. Провести сравнительный анализ с классическими подходами к управлению сложными техническими объектами, а также с различными структурами нечетких регуляторов.

Методы исследований

Для достижения поставленных целей и решения поставленных задач в работе используются следующие методы исследования:

1. Математическое моделирование: производится моделирование математической модели пиролизной установки мобильного типа с учетом упрощающих допущений. На основе результатов моделирования определяются входные параметры регулятора.
2. Нечеткая логика и теория управления: применяются основные принципы нечеткой логики и теории управления для разработки и синтеза

нечеткого многокаскадного регулятора с дополнительной вложенностью. В рамках этих методов для нечеткого регулятора определяются: алгоритмы логического вывода, функции принадлежности, нечеткая продукционная база знаний.

3. Анализ результатов: разработанный нечеткий многокаскадный регулятор с дополнительной вложенностью подвергается анализу на основе результатов математического моделирования нечеткой системы управления пиролизной установкой. Это позволяет оценить эффективность, стабильность и робастность регулятора, а также провести сравнение с другими подходами к управлению и различными нечеткими регуляторами.

К защите представляются следующие основные положения

1. Предложенный и синтезированный нечеткий многокаскадный регулятор с дополнительной вложенностью для управления пиролизной установкой мобильного типа.
2. Результаты исследования эффективности разработанного регулятора, с использованием численных экспериментов и моделирования упрощенной математической модели пиролизной установки.
3. Результаты сравнения разработанного нечеткого многокаскадного регулятора с другими подходами и методами управления пиролизными установками. Показано преимущество и эффективность предложенного регулятора в сравнении с традиционной системой управления и другими нечеткими регуляторами.

Научная новизна

Предложен и синтезирован нечеткий многокаскадный регулятор с дополнительной вложенностью для управления пиролизной установкой мобильного типа. Такая структура регулятора, основанная на нечеткой логике, позволяет повысить качество управления и обеспечить стабильное протекание процесса пиролиза. Добавление вложенных каскадов улучшает адаптивность и

робастность регулятора, позволяя эффективно управлять процессом пиролиза при изменении параметров объекта управления или окружающей среды.

Исследование разработанного регулятора на основе результатов математического моделирование пиролизной установки. Проведение моделирования нечеткой системы управления позволяет оценить эффективность регулятора, его стабильность и робастность в условиях изменения параметров объекта управления.

Практическая ценность и реализация

Разработанный регулятор позволяет повысить качество управления пиролизной установкой. Благодаря использованию нечеткой логики и многокаскадной структуры, регулятор способен обеспечить равномерное распределение теплового поля внутри установки, что приводит к улучшению стабильности и эффективности процесса пиролиза.

Наличие адаптивных и робастных свойств позволяет эффективно управлять пиролизной установкой при изменении параметров объекта регулирования или окружающей среды. Это особенно важно в случае неопределенности или вариаций в характеристиках сырья, температуре окружающей среды и других факторах, которые могут влиять на работу установки. Адаптивность регулятора позволяет автоматически реагировать на такие изменения и поддерживать стабильность и качество процесса пиролиза.

Публикации

По теме диссертации опубликовано две статьи в материалах научно-технических конференций.

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 44 наименований. Работа изложена на 90 страницах и содержит 41 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во ведении обосновывается актуальность темы и формируется цель диссертационной работы.

В первой главе описан процесс пиролиза в углевыжигательных установкам и рассмотрены различные виды конструкций пиролизных печей.

Во второй главе проведен анализ существующих подходов к реализации процедур управления сложными техническими объектами. Рассмотрены как классическая теория управления, так и теория нечетких множеств.

В третьей главе проведено моделирование системы управления с применением классических подходов.

Приведена модель мобильной углевыжигательной установки с пассивным способом регулирования, полученная с учетом ряда существенных упрощающих допущений (рисунок 1).

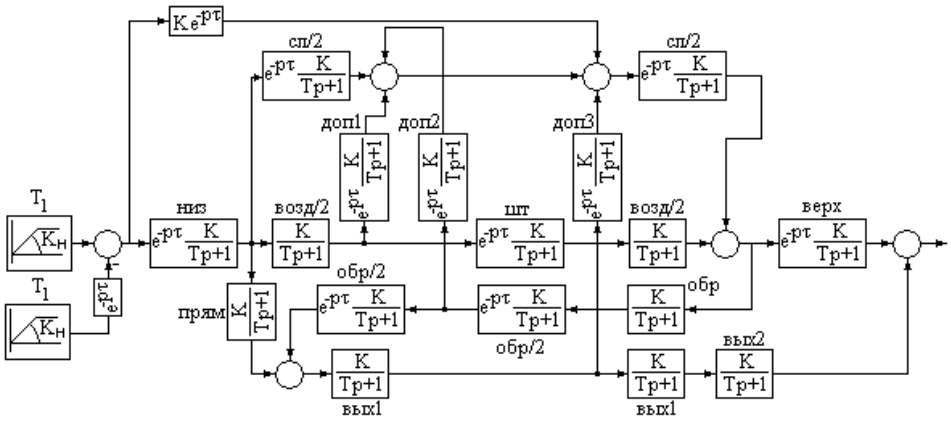


Рисунок 1 – Структурная схема пиролизной установки с пассивным способом регулирования

В четвертой главе разработаны различные интеллектуальные системы управления пиролизной установкой начиная от простейших нечетких регуляторов заканчивая многокаскадными нечеткими регуляторами с дополнительной вложенностью. Также представлены результаты моделирования каждой из систем.

Синтезирована многокаскадная нечеткая система управления с дополнительной вложенностью (рисунок 2).

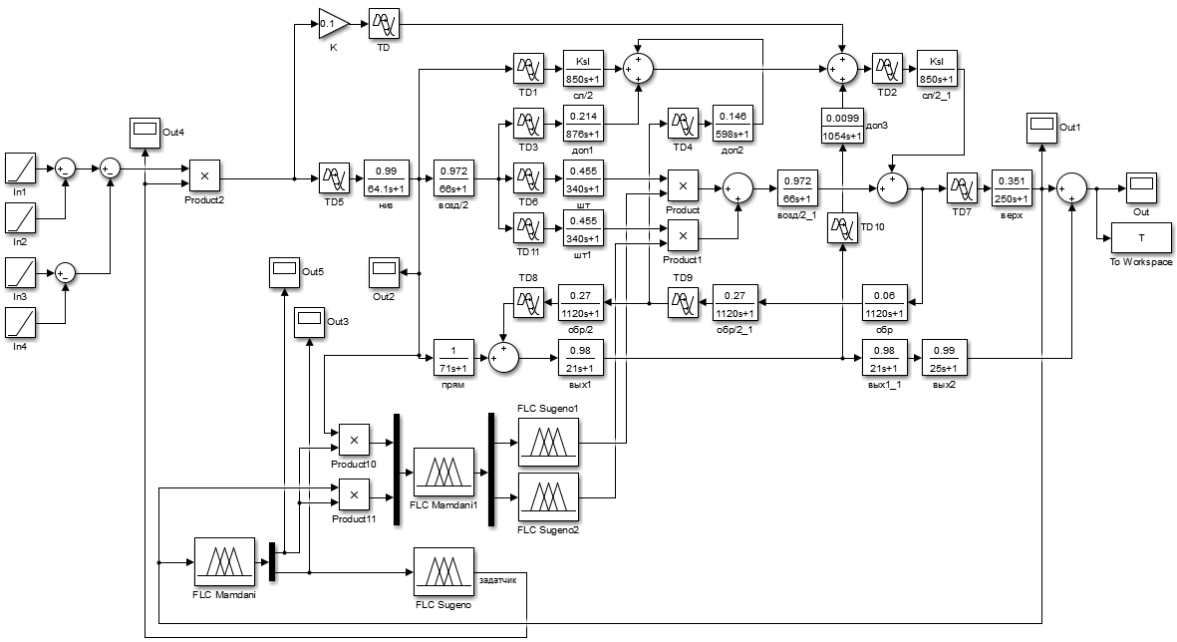
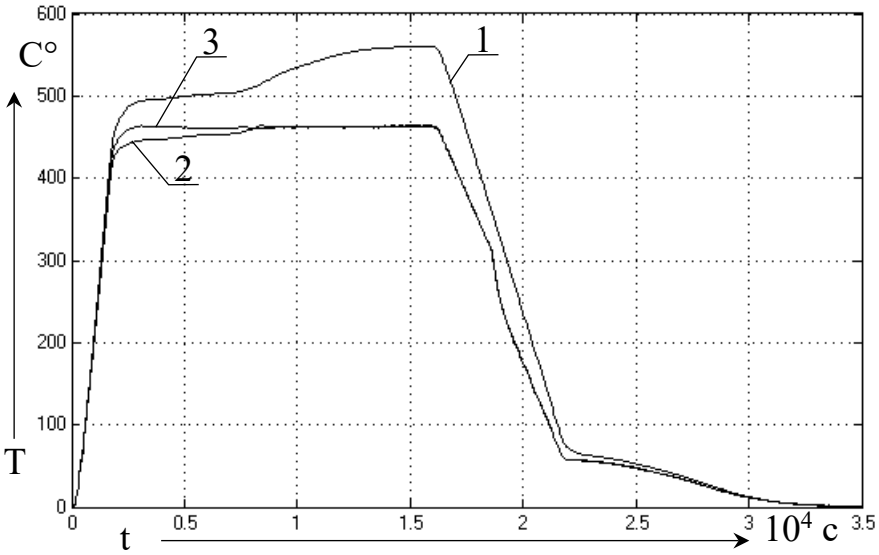


Рисунок 2 – Структурная схема многокаскадной интеллектуальной системы с дополнительной вложенностью для управления пиролизной установкой с раздельным регулированием шторами

За интеллектуальное переключение в системе управления отвечает регулятор во внешнем каскаде FLC Mamdani (*pechka_fis_m_2out_2*). Основной задачей данной структуры является интеллектуальная оценка и выбор соответствующих нечетких регуляторов второго каскада, которые настроены на различные диапазоны управления. Такой подход позволяет эффективно реагировать на изменения температуры и выбирать оптимальные регуляторы для достижения требуемой стабильности и эффективности процесса управления пиролизной установкой.

Для сравнения полученных динамических характеристик с графиком температуры классической системы пассивного регулирования и нечеткой двухкаскадной системы управления с раздельным регулированием теплоизолирующими шторами и регуляцией задатчика температуры пода печи, проведем моделирование многокаскадной нечеткой системы с дополнительной вложенностью для управления пиролизной установкой в среде Simulink (рисунок 3).



1 – классическая система; 2 – двухкаскадная нечеткая система управления с раздельным управлением шторами; 3 – многокаскадная нечеткая система управления с дополнительной вложенностью

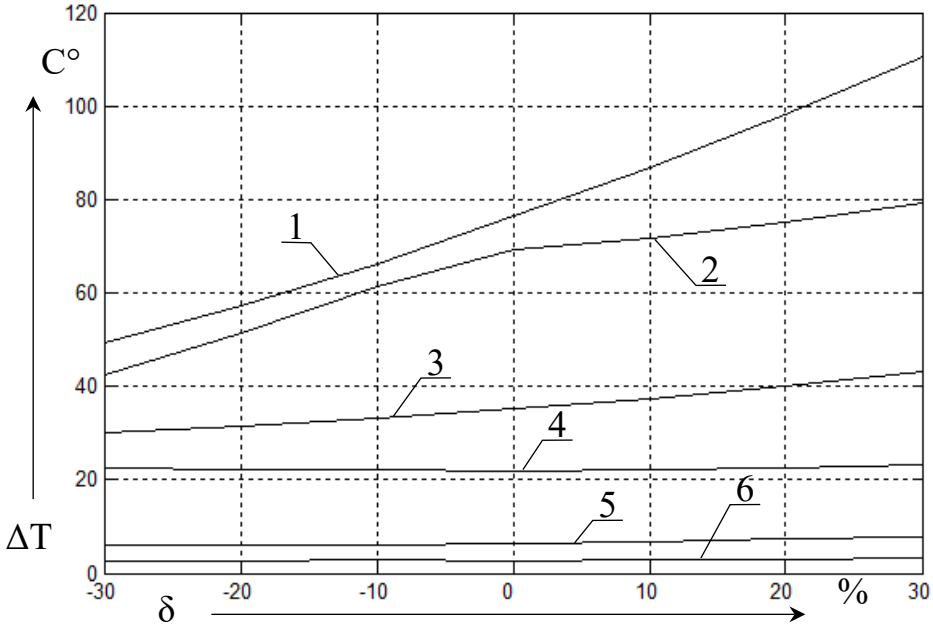
Рисунок 3 – Динамические характеристики процесса пиролиза классической системы и нечетких систем управления с двумя технологическими шторами

Из рисунка 3, можно определить значение температуры рассогласования ΔT теплового поля в процессе пиролиза. В классической системе такое рассогласование составляет $\Delta T_{\text{кл}} = 76$ C°. При сравнении результатов с двухкаскадной системой управления, где использовалось раздельное управление шторами и задатчиком температуры, можно заметить, что рассогласование составило $\Delta T_{\text{днлр}} = 22$ C°. Однако благодаря добавлению дополнительной вложенности во внутренний каскад нечеткого двухкаскадного регулятора, удалось значительно уменьшить рассогласование теплового поля до значения: $\Delta T_{\text{мнлр}} = 6.5$ C°.

В пятой главе проведено исследование динамических характеристик классической и интеллектуальных систем управления. Получены и проанализированы семейства характеристик процесса пиролиза, кроме того, проведен анализ зависимости температурного рассогласования теплового поля относительно изменения нестационарного эквивалентного коэффициента.

Для наглядной сравнительной оценки эффективности применения многокаскадных нечетких регуляторов в системе управления процессом углевыжигания, на рисунке 4 приведены зависимости температурного

рассогласования ΔT теплового поля в начале и конце процесса пиролиза относительно изменения нестационарного эквивалентного коэффициента звена $W_{сл/2}$ в диапазоне от –30% до +30%.



1 – классическая система; 2 – система с одним нечетким регулятором; 3 – нечеткая система управления с раздельным регулирование шторами; 4 – двухкаскадная нечеткая система управления; 5 – нечеткая система с интеллектуальным переключателем, использующим алгоритм вывода Мамдани; 6 – нечеткая система с интеллектуальным переключателем, использующим алгоритм вывода Сугено

Рисунок 4 – График зависимости температурного рассогласования в процессе пиролиза от изменения нестационарного коэффициента

По наклону характеристики на рисунке 4, можно сделать выводы о поведении системы управления при воздействии на нее некоторых возмущающих воздействий. Наблюдаемая тенденция указывает на способность системы с одним нечетким регулятором эффективно справляться с влиянием нестационарного коэффициента только при его увеличении.

Системы с многокаскадными нечеткими регуляторами, обладающими дополнительной вложенностью, проявляют наименьший разброс значений температурного рассогласования по сравнению с другими системами.

Кроме того, стоит отметить адаптивные свойства системы с раздельным регулированием шторами на базе одного нечеткого регулятора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены проблемы управления пиролизной установкой мобильного типа. Целью работы было разработать эффективную систему управления, которая позволила бы обеспечить оптимальный режим работы установки и повысить ее эффективность.

Для достижения этой цели были использованы методы нечеткой логики и теории управления. Были разработаны математические модели нечетких логических регуляторов, в том числе многокаскадные нечеткие регуляторы с дополнительной вложенностью, учитывающие особенности объекта управления и его динамики. Также проведены эксперименты для оценки эффективности разработанных методов и моделей.

В ходе работы было выявлено, что разработанный нечеткий многокаскадный логический регулятор с дополнительной вложенностью, синтезированный по предложенному методу, обладает робастными и адаптивными свойствами. Это означает, что регулятор демонстрирует стабильное и эффективное управление пиролизной установкой даже при изменении нестационарных параметров объекта регулирования или окружающей среды.

Робастность регулятора позволяет ему поддерживать устойчивость и надежность управления в условиях влияния возможных внутренних возмущающих воздействий. Это особенно важно для пиролизных установок, так как они часто работают в переменных условиях, где значения параметров могут изменяться со временем или в зависимости от особенностей материалов, подвергаемых переработке.

Результаты исследования показали, что применение многокаскадных нечетких регуляторов с дополнительной вложенностью позволяет достичь более высокого качества управления пиролизной установкой мобильного типа. Эти регуляторы обеспечивают более точную настройку параметров, учитывая нелинейность и нестационарность объекта управления.

Разработанные методы и модели нечетких регуляторов могут быть применены не только в управлении пиролизными установками, но и в других

областях, где требуется эффективное управление сложными технологическими процессами.

В будущем можно продолжить исследование в направлении оптимизации и адаптации разработанных методов и моделей для других объектов управления и усложненных условий работы. Также возможно углубление в анализ и сравнение различных подходов к управлению нечеткими системами с дополнительной вложенностью. Все это позволит расширить применение нечетких регуляторов и улучшить управление в различных областях промышленности и технологий.

По теме диссертации в материалах научно-технических конференций опубликованы следующие работы:

1. Черный, С. П. Моделирование развитой нечеткой системы управления мобильной установкой пиролиза древесины / С. П. Черный, И. А. Сотников // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05-11 декабря 2022 г. / редкол. : С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – Ч. 1. – С. 130-134.

2. Черный, С. П. Влияние количества нечетких регуляторов во внутреннем каскаде на основные характеристики системы управления / С. П. Черный, И. А. Сотников // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы в VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10-14 апреля 2023 г. / редкол. : А. В. Ахметова (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – Ч. 2. – С. 77-79.

3. Черный, С. П. Моделирование развитой нечеткой системы управления многосвязным объектом в условиях многокритериальности / С. П. Черный, К. А. Емельянов, Н. Н. Духнов, И. А. Сотников, Годяев А. И. // Ученые записки КнАГУ «Науки о природе и технике». – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ» 2023. – № 2(67).