

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Черного Сергея Петровича «Теория и практика развитых нечетких алгоритмов в управлении технологическими процессами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Черного С.П. направлена на исследование научной проблемы интеллектуального управления производственными процессами на основе теории нечетких систем. Принятый автором принцип многокаскадности, не получивший к настоящему времени завершеного теоретического оформления, дополнен новыми подходами, позволившими учесть гомогенность и гетерогенность структур, предложить гибридные алгоритмы нечеткого логического вывода при вариативности вложенных интеллектуальных модулей. Представляют интерес результаты формализованного описания предлагаемых структур управления, позволившие обобщить различные подходы в единую методологическую концепцию.

Приведенные в диссертации результаты, являющиеся самостоятельным завершенным исследованием, расширяют горизонт теории управления сложными объектами, обладающими признаками неопределенности и неполноты информации по основным параметрам, требующими решения многокритериальных задач управления реального времени. Они позволяют строить структуры управления, в том числе, на основе пространственных функций принадлежности в рамках единого формализованного описания, чем существенно упрощаются прикладные задачи реализации автоматизированных систем управления сложными технологическими процессами. В связи с изложенным, считаю, что тема диссертации является актуальной.

Краткий обзор содержания работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации изложен на 318 страницах (без приложений) и содержит 235 рисунков, 4 таблиц и список литературы из 356 наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна, обобщены основные положения выносимые на защиту, отражены теоретическая и практическая значимость результатов проведенного исследования.

В главе 1 представлен анализ теоретических и практических направлений исследований области управления технологическими процессами с применением аппарата теории нечетких множеств, показаны основные задачи вызывающие интерес у исследователей в этой области, а также обозначены проблемы, решение которых на данный момент является затруднительным.

Проанализированы технологические процессы, для которых реализуется интеллектуальный подход в управлении, показаны возможности повышения интеллектуальности таких систем. Многомерность и взаимосвязанность регулируемых переменных определила научный поиск в пространстве мягких вычислений, что позволило в дальнейшем найти фундаментальные решения адаптивности и робастности систем управления, подпадающих в заявленную область исследования.

Не вызывает возражений сделанный работе вывод о том, что на текущий момент простейшие нечеткие регуляторы не способны удовлетворять задачам, связанным с управлением по сложным законам, которые не являются непрерывными и монотонными и обладают разрывами. Системы управления, основанные на классических регуляторах не обладают достаточной гибкостью и адаптивностью для применения их при управлении в условиях неполноты, а зачастую и противоречивости исходной и поступающей информации. Выявлены возможности для расширения основных свойств нечетких логических регуляторов, которые позволяют упростить процесс их настройки и интеграции в сложные технологические процессы, а также повысить их способности по адаптации. Сформулирована новая методика по внедрению модульного подхода при реализации нечетких систем с развитой структурой.

В главе 2 представлено математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора, учитывающее особенности алгоритмов вывода, применяемых во внешнем каскаде. На основании математической модели определены особенности построения структур развитых нечетких логических регуляторов и выделена специфика их функционирования. Полу-

чены в виде функциональных схем взаимосвязи компонентов и модулей для различных алгоритмов выводов для различных многокаскадных систем управления технологическими процессами. Даны структурные решения методологии моделирования многокаскадных нечетких логических регуляторов для различных вариаций алгоритмов выводов. Показаны и проанализированы особенности таких сочетаний как Мамдани-Мамдани, Мамдани-Сугено и Сугено-Мамдани.

Автор предложил научно обоснованную методику синтеза систем управления технологическими процессами для целого ряда прикладных задач. Для оценки эффективности предложенной методики выделены и исследованы основные направления по повышению интеллектуальных возможностей нечетких систем управления, которые представлены в виде комплекса графиков.

В главе 3 представлены результаты синтеза многокаскадных нечетких систем для реализации процедур управления при решении задач регулирования приводом постоянного тока в рамках следящей системы при трансформации законов регулирования, а также формировании и классификации этих законов при компенсации произвольного вида нелинейностей.

Предложенный подход позволяет комплексно снять проблему расширения задачи компенсации искусственных и естественных нелинейностей, при этом на внешний каскад возлагаются функции классификации нелинейности и выбора способа компенсации, а элементы внутреннего каскада непосредственно реализуют классические способы, в зависимости от вида статической характеристики нелинейного элемента.

Реализация законов управления технологическим процессом с использованием интеллектуального подхода, основанного на теории нечетких множеств, зачастую ограничивается применением одного модуля, организованного на единственном алгоритме вывода. Типичным объектом управления для такого рода систем являются модели электроприводов постоянного тока. Нечеткий регулятор в таких системах, как правило, моделирует ПИ- или ПИД-закон управления с учетом ряда дополнительных информационных каналов. В целом реализация систем управления, содержащих элементы нечеткой логики, позволяет сформировать различные сложные законы регулирования, при этом существенно увеличивая алгоритмическую сложность основных блоков самого нечеткого регулятора. Ограничивающими

факторами при этом будут как количество лингвистических переменных на входах и выходах, объем базы знаний, так и сложность при выборе алгоритма вывода и формы функций принадлежности

Реализация нечеткого регулятора по каскадному принципу дает возможность модулю внешнего каскада интеллектуально совмещать различные настройки системы управления, например, совмещая симметричный и модульный оптимумы, т.е. позволяет решать многокритериальную задачу регулирования сложного технологического объекта.

В главе 4 приведена иллюстрация применения предложенного подхода, основанного на принципах модульности и каскадности, для построения развитых нечетких систем управления технологическими процессами с учетом возможного набора критериев действующих на объект регулирования. Показано, что система управления может быть настроена на целый ряд различных критериев, например быстродействие и точность, за счет разделения внутреннего каскада на две части. Такая настройка развитой нечеткой системы управления возможна для случаев взаимного влияния элементарных модулей вложенного каскада, аналогично системам подчиненно регулирования.

Далее показано, каким образом такая система управления может быть перестроена для случая, когда одна из частей внутреннего каскада реализует функции нелинейного элемента, что позволяет ограничивать любой заданный сигнал в системе управления технологическим процессом, с целью повышения адекватности модели сложного объекта регулирования и качества формирования процедур управления.

Рассмотрены возможности расширения диапазона регулирования в многокаскадной нечеткой системе управления внедрением дополнительных простейших интеллектуальных модулей, что позволяет повысить ее свойства адаптивности и робастности, а также качество реализации процедур управления сложным технологическим объектом с точки зрения предъявляемых требований и гибкой коррекции или изменению самих критериев регулирования.

В главе 5 рассматривается алгоритм формирования нечетких логических регуляторов, который позволяет сформировать выходные функции принадлежности в многомерном пространстве. При реализации подобных модулей в гиперпространственной форме связано с необходимостью либо

увеличения степени вложенности, либо внедрения в модули внутреннего каскада дополнительных выходных лингвистических переменных.

Представлено математическое описание предложенного подхода по формированию функций принадлежности пространственного вида на основе методики многокаскадного нечеткого управления. Определено, что предложенный подход обладает некоторыми ограничениями, основными среди которых являются: алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани для всех вложенных модулей, подобие реализации их блоков дефаззификации, особенно в части типа и распределения выходных функций принадлежности, а также однотипность построения базы нечетких продукционных правил вложенных модулей.

Показано, что реализация моделей многокаскадных нечетких систем с помощью предложенной методики для формирования интеллектуальных регуляторов с пространственной формой функций принадлежности позволяет применять стандартное программное обеспечение и общепринятые языки инженерных вычислений.

В главе 6 рассмотрены особенности реализации предлагаемого подхода для случая использования гетерогенного состава модулей вложенного каскада, что позволяет решать задачу по управлению технологическим процессом в условиях многокритериальности. При произвольном наборе внутренних модулей нечеткий регулятор, выполняющий функции переключающего устройства, решает не только задачу по выбору необходимого модуля в рамках реализации сложного закона управления, но и необходимого сочетания этих законов управления с учетом взаимодействия и взаимного влияния критериев формирующих требуемое положение системы.

Применение модулей внутреннего каскада регулятора с различными функциональными свойствами позволяет решать целый класс дополнительных различных задач, среди которых можно выделить, повышение быстродействия, на основе, применения набора стандартных настроек, реализацию законов управления при формировании частей внутреннего каскада на различные критерии, интеграция ряда уже существующих локальных систем, как классических, так и нечетких в одну развитую интеллектуальную систему.

В главе 7 рассмотрены возможности применения продолженного подхода для формирования процедур управления электроприводом постоянного тока и пиролизной установкой мобильного типа.

Результаты представленных экспериментов подтверждают предлагаемые теоретические подходы. Показано, что многокаскадные нечеткие алгоритмы управления могут быть реализованы с применением простейших программируемых контроллеров, что является особенно актуальным в разрезе наложенных ограничений нетехнического характера. Предложено программное обеспечение, реализующее развитые нечеткие алгоритмы управления для стандартных программируемых логических контроллеров.

В заключении изложены общий вывод по диссертационной работе, представлены основные результаты исследования, а также перспективы дальнейшего развития тематики.

В приложении приведены: листинг программного обеспечения, реализующего многокаскадную нечеткую систему управления сложным технологическим процессом при различных механизмах вывода во внешнем каскаде; текст программного модуля с развитой нечеткой системой управления электроприводом постоянного тока; документы, подтверждающие внедрение и использование результатов диссертационной работы.

Научная новизна и основные результаты исследования

Научная новизна работы заключается в создании нового подхода к разработке и формализации развитых нечетких систем управления технологическими процессами, которая включает в себя математическое описание многокаскадных нечетких регуляторов с реализацией на их основе функций принадлежности пространственной формы, а также алгоритмы, модели, структурные решения, методики и комплекс решений, определяющих в целом научные основы построения развитых интеллектуальных систем управления. При этом в диссертации, в частности, получены следующие результаты, характеризующиеся новизной:

1. предложены новые принципы построения многокаскадных нечетких систем, позволяющие существенно повысить универсальность интеллектуального регулятора, расширить его адаптивные свойства и значительно упростить процессы настройки;

2. доказано, что предложенные алгоритмы многокаскадного нечеткого управления позволяют сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность интеллектуальных систем регулирования технологическими процессами;

3. показаны возможности структурной и функциональной реализации нечетких систем управления, характеризующихся пространственной формой реализации функций принадлежности;

4. разработаны модели и рекомендации по настройке основных блоков развитых нечетких систем с учетом вложенности, гетерогенности и вариации сочетания различных алгоритмов нечетких логических выводов;

5. представлены структурные и методологические решения по реализации комплексных подходов для сложных объектов управления, обеспечивающих реализацию процедур управления адаптирующихся к изменению полноты информационного обеспечения, нестационарности и недетерминированности;

6. развиты подходы к компенсации различного рода нелинейностей систем регулирования технологическими процессами на основе принципов многокаскадного нечеткого управления.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертации автором результаты и выводы являются обоснованными и достоверными, что подтверждается:

- корректным использованием математического аппарата, аналитическим и имитационным моделированием, сопоставлением частных результатов математического моделирования с имеющимися результатами в данной области;
- совпадением результатов математического моделирования и натуральных экспериментов;
- обсуждением результатов диссертации на международных и отечественных конференциях, научных семинарах, выставках и результатами их практической апробации;

- результатами внедрения разработанных алгоритмов управления экспериментальных исследований в промышленности и учреждениях отраслевой системы подготовки кадров.

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на российский и международных конгрессах, конференциях, выставках, научных семинарах и достаточно полно опубликованы соискателем в 68 работах, в том числе: 25 работах, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ (6 работ – категорийности К1 и К2), 15 работах в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science; 2 монографиях, 7 зарегистрированных охранных документах на результаты интеллектуальной деятельности.

Значимость полученных автором результатов диссертации для развития соответствующей отрасли науки

Теоретическая значимость диссертации состоит в проработке и систематизации результатов предыдущих исследований, их дополнении и комплексировании с вновь разработанными методами, моделями, алгоритмами и методиками в составе единой методологии синтеза многокаскадных нечетких регулятором сложными технологическими процессами.

Практическая значимость диссертационной работы заключается:

- в разработке методики настройки многокаскадных нечетких регуляторов для систем управления технологическими процессами, учитывающей, как особенности математического описания систем, так и наличие неоднозначных функциональных связей между координатами системы;

- в программно-аппаратной реализации многокаскадного нечеткого логического регулятора на основе промышленного программируемого контроллера для управления процессом стабилизации скорости электропривода.

- в рекомендациях по совершенствованию нечеткой системы управления процессом пиролиза в мобильной углевыжигательной установке.

Результаты диссертационной работы внедрены в промышленности: 1. ПАО «Амурсталь» - алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальной системы управления комплексом ультразвуковых газокислородных горелок, а также формализация процессов фильтрации сигналов

управления пропорциональным регулятором для электрода клапана в дуговой сталеплавильной печи с применением нечеткого регулирования;

2. Филиал Публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация» – Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина - разработка элементов и алгоритмов для интеллектуальной системы управления электроприводом;

3. Амурское ЛПУМГ ООО «Газпром Трансгаз Томск» - анализ возможностей применения и формализация развитых нечетких алгоритмов управления при аппаратной реализации нечеткого логического контроллера и синтез энергоэффективного последовательного управления электроприводом.

В учебном процессе ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Соответствующие акты внедрения прилагаются.

Замечания по диссертационной работе

По диссертации С.П. Черного имеется несколько замечаний.

1. Диапазоны изменения нестационарных параметров объекта регулирования в диссертационной работе в явном виде не указаны.

2. Не показано влияние увеличения количества звеньев, за счет внедрения многокаскадности в канал регулирования на вопросы устойчивости системы управления.

3. В работе представлен синтез нечеткого логического регулятора с одним вложенным каскадом и не проведена оценка влияния более глубокой вложенности на основные показатели качества.

4. Для развитой нечеткой системы, в случае повышения вложенности возможно ли использовать принцип комбинированного соединения элементов внутренних каскадов.

5. Не показано, как скажется на устойчивости системы внедрение в структуру многокаскадного нечеткого логического регулятора нелинейных звеньев типа «произведение».

В целом, указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационного исследования, а также не ставят под сомнение достоверность и обоснованность полученных автором результатов.

Выводы

Диссертационная работа Черного С. П. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой автором решена научно-техническая проблема синтеза развитых интеллектуальных систем управления на базе теории нечетких множеств с применением каскадного подхода, учитывающего различные сочетания алгоритмов выводов, а также гомогенную и гетерогенную структуру внутренних наполняющих модулей. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание.

Диссертационная работа «Теория и практика развитых нечетких алгоритмов в управлении технологическими процессами» отвечает требованиям п. п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Черный Сергей Петрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент, доктор технических наук профессор, профессор кафедры «Робототехники и автоматизации производственных систем» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)


Белов Михаил Петрович

« 8 » мая 2024 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Почтовый адрес: 197022, , г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, литера Ф.

Телефон: 8(812) 234-66-71;

Электронная почта: info@etu.ru

Сайт: <https://etu.ru/>



ЗАВЕРЯЮ:
И. В. СОКОЛОВА
2024