

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу на тему «Теория и практика развитых нечетких алгоритмов в управлении технологическими процессами», представленную С.П. Черным 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

Все многообразие современных систем управления технологическими процессами и комплексами условно можно разделить на классические, т.е. базирующиеся на традиционных алгоритмах расчета и реализации процедур управления в аналоговом или цифровом виде, либо содержащие элементы искусственного интеллекта, использующие нейронные сети, нечеткую логику и т.п. Применение того или иного подхода чаще всего диктуется степенью формализации самого объекта регулирования. В целом качество математического описания и полнота исходной информации об объекте управления тесно связаны с иерархичностью всей структуры системы регулирования и с повышением уровня в такой структуре существенно усложняется любой формальный подход с учетом взаимодействия ряда соседних подсистем в вертикали. Для локальных систем управления, которым свойственно достаточно точное и адекватное математическое описание и находящихся, иерархически, в нижнем звене общей системы автоматизации технологического процесса реализация процедур управления стандартными средствами является приоритетной. Вместе с тем, при реализации моделей сложных объектов регулирования, характеризующихся слабоструктурированностью и существенной неполнотой информации, определение желаемых законов и процедур управления, основанных на типовых расчетах, представляется затруднительным. Одним из возможных направлений разрешения указанного противоречия является применение систем искусственного интеллекта.

Поэтому представленная диссертационная работа, посвященная исследованию подходов, позволяющих развивать интеллектуальные возможности нечетких систем управления сложными технологическими объектами и разработке для этих целей соответствующего методологического аппарата является своевременной и актуальной.

Несмотря на то, решение задач по управлению с применением методов нечеткой логики, связано с преодолением неполноты информации и формализацией процессов протекающих на объекте управления с учетом целого ряда ограничений накладываемых на интеллектуальную систему известен давно, автором ставится и успешно решается проблема по созданию развитых нечетких систем управления позволяющих учесть такие особенности технологических процессов как многокритериальность, нестационарность,

многокоординатность за счет формирования многокаскадного нечеткого логического регулятора позволяющего в своей структуре сочетать различные механизмы выводов, вложенность модулей вложенных каскадов, а также состав таких модулей.

**Степень обоснованности научных положений, выводов
и рекомендаций, сформулированных в диссертации,
их достоверность и новизна**

Новизна научных положений и полученных результатов состоит в том, что для достижения поставленных целей автором предложены новые принципы построения многокаскадных нечетких систем, позволяющие сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность интеллектуальных систем регулирования технологическими процессами, за счет сокращения объемов продукционных баз правил. Кроме того, предложенные алгоритмы многокаскадного нечеткого управления позволяют развить подходы к компенсации различного рода нелинейностей систем регулирования технологическими процессами.

К достоинствам работы следует отнести разработанную автором методологию нечеткого многокаскадного регулирования, которая позволяет реализовывать интеллектуальные системы с пространственной формой функций принадлежности, которые учитывают параметры технологического процесса имеющие косвенную связь. Кроме того, структурные и методологические решения по реализации комплексных подходов для сложных объектов регулирования обеспечивают реализацию процедур управления адаптирующихся к изменению полноты информационного обеспечения, нестационарности и недетерминированности процессов, на примере мобильной пиролизной установки.

Обоснованность основных положений диссертации в целом подтверждается корректным применением математического аппарата, теоретических положений из смежных научных дисциплин, аргументированным подходом к постановке задач и получению результатов.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается практическим использованием предложенных алгоритмов, а так же результатами прикладного исследования (приведены акты об использовании и внедрении).

Ценность для науки и техники представляет собой разработанный и сформированный новый принцип реализации управляющей части систем регулирования сложными технологическими объектами позволяющий разрешить ряд противоречий связанных с многомерностью, нестационарностью и многокритериальностью.

Оценка содержания диссертации

Расположение материала по соответствующим разделам является логичным и соответствует последовательности решаемых задач.

Во введении автор проводит аргументацию актуальности поставленной проблемы развития нечетких систем управления на основа каскадного принципа. Формулируется цель работы и выделены задачи, которые необходимо решить для ее достижения, приведены положения, выносимые на защиту, отмечена практическая ценность, указаны предприятия, на которых внедрены ее результаты диссертационной работы.

Первая глава диссертации посвящена анализу задач управления решаемых с использование нечетких систем, а также общепринятых подходов к построению нечетких систем управления, показано влияние различных компонентов структуры нечеткого регулятора на качество регулирования. Приведены типовые задачи, решаемые с использованием нечетких регуляторов, дается оценка эффективности каждого подхода, выявлены параметры объекта управления оказывающие влияние на структуру и характеристики нечеткой системы.

Во второй главе подходов предложенных автором построение нечеткого регулятора по многокаскадному принципу даже при упрощенном подходе использования функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных и относительно произвольном их распределении по диапазону регулирования соответствующей координаты технического объекта, обеспечивает получение показателей качества выходного параметра системы на уровне систем с классической структурой построения регуляторов. При этом показатели качества систем управления с нечеткими многокаскадными регуляторами по ряду характеристик заметно улучшаются.

Впервые предложено многокаскадное построение нечеткого логического регулятора реализует многовариантность технических решений формирования управляющего (корректирующего) воздействия на технологический объект. Структурные решения, связанные с сочетаниями алгоритмов нечеткого логического вывода позволяют гибко адаптировать предложенный подход под особенности решаемой задачи по управлению, придавая системе управления некоторые свойства универсальности.

Применение алгоритма Сугено во внешнем каскаде добавляет в структуру многокаскадного нечеткого регулятора ряд дополнительных каналов, что обусловлено особенностями функционирования самого алгоритма, особенно при использовании вывода нулевого порядка. Использование алгоритма Мамдани во внешнем каскаде позволяет обойтись без дополнительных структурных решений, используя в качестве входных сигналов регулятора сигналы непосредственно с объекта регулирования. Вместе с тем, при построении элементарных нечетких модулей внутреннего каскада целесообразнее применять именно Сугено из-за его простоты и минимальной нагрузки на вычислительную мощность аппаратной части системы управления технологическим процессом.

В третьей главе рассмотрены принципы реализации многокаскадного компенсирующего устройства расширяющего функциональные возможности нечеткой компенсации нелинейностей различного типа. Показано, что предложенный автором подход к построению компенсирующего устройства формирует «развитую» интеллектуальную систему, осуществляющую распознавание типа нелинейности, подбор метода компенсации или их сочетания, что в конечном итоге обеспечивает наилучшую компенсацию нелинейных свойств объекта.

Для целого класса систем управления технологическими процессами на примере следящих систем и систем позиционирования доказана эффективность использования многокаскадного построения нечеткого регулятора. Показано, что данный подход к синтезу нечеткого регулятора позволяет упростить настройку параметров регулятора, приблизить ее к безэкспертному алгоритму за счет функционального разделения задач по различным каскадам, расширяя интеллектуальные возможности самой системы управления.

Применение стандартных подходов к автоматизации процесса настройки интеллектуальных систем с применением технологии адаптивной нейронной сети показал аналогичные результаты в случае распространения ее и на процесс настройки предложенного многокаскадного нечеткого регулятора.

В четвертой главе для предложенного подхода, основанного на модульном построении нечетких многокаскадных систем управления, показаны возможности по более гибкой настройке интеллектуальных систем управления. Показано, что система управления может быть настроена на целый ряд различных критериев, например, быстродействие и точность за счет разделения внутреннего каскада на две части. При этом необходимо отметить, что такая настройка возможна даже в случае взаимного влияния элементарных модулей второго каскада друг на друга, как в случае системы подчиненного регулирования.

Дополнительно одна из частей внутреннего каскада реализует функции нелинейного элемента, что позволяет ограничивать любой заданный сигнал в системе управления технологическим процессом для повышения адекватности модели сложного объекта регулирования и качества формирования процедур управления.

Кроме того, простота расширения диапазона регулирования в многокаскадной нечеткой системе управления внедрением дополнительных простейших интеллектуальных модулей позволяет существенно расширить ее возможности в части адаптивных и робастных свойств, качества реализации процедур управления сложным технологическим объектом с точки зрения предъявляемых требований и гибкой коррекции или замены самих критериев регулирования.

В пятой главе впервые предложен алгоритм формирования нечетких логических регуляторов, который позволяет сформировать выходные функции принадлежности в многомерном пространстве. Кроме того, показаны возможности развитой интеллектуальной системы на базе теории нечетких множеств по формированию таких функций в трехмерном пространстве. При

реализации подобных модулей в гиперпространственной форме необходимо либо увеличение степени вложенности, либо внедрения в модули внутреннего каскада дополнительных выходных лингвистических переменных, что приведет к определенным сложностям в их представлении и как следствие синтезе и настройке.

Предложенный автором подход обладает рядом ограничений, основными из 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.

В шестой главе рассмотрены вопросы применения предложенной методологии реализации процедур управления, на основе многокаскадного нечеткого логического регулятора, к таким сложным объектам регулирования, как мобильные пиролизные установки, которые характеризуются высокими порядками, наличие перекрестных связей, а также наличием большого числа нелинейностей.

Гетерогенный состав модулей вложенного каскада позволяет решать задачу по управлению технологическим процессом в условиях многокритериальности. При таком подходе с произвольным набором внутренних модулей внешнее интеллектуальное переключающее устройство 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 в целом (сочетание этих законов).

Более того, наделение модулей, составляющих внутренний каскад регулятора, различными функциональными свойствами позволяет решить целый класс дополнительных различных задач, среди которых можно выделить, например, повышение быстродействия вследствие 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.

Седьмая глава посвящена реализации развитых интеллектуальных систем управления на базе предложенного подхода с применением широко используемой элементной базы. Показано, что многокаскадные нечеткие алгоритмы управления могут быть реализованы с применением простейших программируемых контроллеров, что является особенно актуальным в разрезе наложенных ограничений нетехнического характера.

Приведена структурная схема динамической системы, исследуемой с целью оценки показателей качества регулирования и особенно быстродействия многокаскадного нечеткого регулятора. Программы, реализующие развитые нечеткие алгоритмы управления с использованием Си-подобного языка высокого уровня, могут быть загружены с применением стандартных средств

как самих ПЛК, так и с использованием стандартных языков инженерных вычислений.

В заключении приводятся итоговые выводы по всему объему диссертации. Показаны направления дальнейшего развития исследований по представленной тематике.

Содержание оппонируемой диссертации соответствует специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

По материалам диссертации автором опубликовано 68 работ, в том числе 25 статей, в изданиях, рекомендованных ВАК из которых 6 категорий К1 и К2, имеется 7 свидетельств о результатах интеллектуальной деятельности. Кроме того, представлены акты об использовании и внедрении, подтверждающие *достоверность* выдвигаемых автором положений.

К недостаткам диссертационной работы, представленной Черным С.П. следует отнести следующее:

1. В теме диссертации заявлен термин «развитые алгоритмы...», но по тексту работы такой термин не используется.
2. Сокращение «алгоритмической сложности» и «информационной избыточности» в работе оценивается, в основном, на субъективном суждении автора.
3. Хотя по материалам диссертации становится понятно, каким образом автор обеспечивает вариативность сочетания алгоритмов логических выводов, однако, в целом, отсутствует методическая оценка поиска оптимального сочетания.
4. В части диссертации, посвященной системами управления электроприводами, отсутствует информация о настройке классических регуляторов, поэтому вызывают сомнение переходные процессы по скорости, приведенные автором. Например, при учете ограничения на ускорение.
5. Автор привел результаты исследования на устойчивость для различных структур, однако неясно: не возникают ли особые точки в процессе реализации вариативности алгоритма управления?

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости работы в целом, и общая оценка остается высокой.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, представленная диссертационная работа на тему «Теория и практика развитых нечетких алгоритмов в управлении технологическими процессами» может квалифицироваться как совокупность теоретических положений и практических результатов, являющихся достаточно обоснованными и способствующими существенному расширению области использования нечетких систем управления сложными объектами.

По уровню проведенных научных исследований и их актуальности, в целом оппонируемая работа может быть оценена положительно, а ее автор –

Черный Сергей Петрович, заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент, доктор технических наук, декан факультета инновационных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»


Шидловский Станислав Викторович

«24» _____ 2024 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Телефон: 8 (382-2) 529-585

Электронная почта: rector@tsu.ru

Сайт: <https://www.tsu.ru/>

