

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента, доктора технических наук, профессора  
Радионова Андрея Александровича на диссертационную работу  
Бузикаевой Алины Валерьевны «Разработка и исследование систем электропри-  
водов на базе многокаскадных нечетких регуляторов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы**

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 119 наименований, имеет 130 страниц основного текста и три приложения объемом 7 страниц, содержит 81 рисунок и 9 таблиц.

### **1. Актуальность темы**

Диссертационная работа Бузикаевой А.В. направлена на построение нечетких систем управления электротехническими комплексами на примере электроприводов постоянного и переменного тока. В работе решена актуальная задача, которая направлена на повышение интеллектуальных свойств регуляторов путем структурного объединения их в виде каскадного набора с различными комбинациями алгоритмов нечетких выводов. Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, основаны на едином подходе синтеза параметров внешнего и внутреннего каскадов двухкаскадного нечеткого логического регулятора системы электропривода.

Актуальность обусловлена необходимостью внедрения технологии многокаскадных нечетких логических регуляторов при их реализации в виде единого интеллектуального управляющего модуля для электротехнических комплексов в условиях существенного влияния негативных факторов, например, неполнота и противоречивость исходных данных, нелинейность, а также наличие взаимосвязей между координатами.

### **2. Обзор содержания работы**

Диссертация посвящена теории и практике улучшения динамических показателей систем электроприводов за счет использования нечетких многокаскадных алгоритмов управления.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность, а также определены требования к системам управления электроприводов, которые характеризуются нестационарностью и неполнотой априорной информации.

**В первой главе** представлен анализ ключевых направлений исследования в области искусственного интеллекта: генетические алгоритмы, нейронные сети и аппарат нечеткой логики. Кроме того, выявлены преимущества и недостатки каждого рассматриваемого метода интеллектуального управления в системах электроприводов постоянного и переменного тока.

Проанализированы системы регулирования электроприводами, для которых реализуется интеллектуальный подход, а также основные пути развития нечетких систем управления, ориентированных на индивидуальные качества электротехнического комплекса.

В работе автор отмечает, что применение стандартных структур нечетких систем ведет к увеличению количества входных и выходных лингвистических переменных, и, следовательно, существенному росту алгоритмической сложности из-за перехода базы знаний в гиперпространственную форму. В результате чего возникает необходимость в формировании новой методики, связанной с использованием нескольких последовательно включенных каскадов нечетких логических регуляторов.

**Во второй главе** приведен анализ стандартного подхода по решению задач управления с применением теории нечетких множеств для системы регулирования электроприводом постоянного тока. Выявлены положительные качества применения нечетких логических регуляторов в таких системах. Однако наряду с преимуществами классического метода нечеткого управления были выделены и недостатки: отсутствие возможности перенастройки законов управления в условиях существенного изменения режимов работы электропривода, увеличение количества лингвистических переменных в нечетком регуляторе, и, как следствие, возрастание объема базы знаний. В результате автор предлагает использовать двухкаскадную иерархическую структуру, внешний каскад которой является интеллектуальным переключающим устройством, а вложенный каскад состоит из набора нечетких модулей, позволяющих переключать режимы работы.

Представлено математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора, учитывающее особенности механизмов вывода внешнего каскада. В результате синтеза математической модели двухкаскадной нечеткой системы регулирования электроприводом постоянного тока с комбинациями алгоритмов вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани были получены динамические характеристики, отражающие качество переходного процесса.

Для оценки эффективности работы многокаскадной нечеткой системы регулирования было исследовано влияние нестационарности параметров тиристорного преобразователя при изменении его коэффициентов в широком диапазоне.

**Третья глава** посвящена исследованию интеллектуальной системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости. На основе классического математического описания системы двухзонного регулирования, объект управления которого характеризуется наличием существенных нелинейностей, был синтезирован многокаскадный нечеткий логический регулятор в контуре управления скоростью.

Основными целями задачи управления являются как ослабление влияния нестационарных параметров процесса на выходную величину, так и снижение неточности регулирования, обусловленной существенным количеством допущений и ограничений. Внедрение в систему электропривода многокаскадного нечеткого логического регулятора позволит за счет некоторого усложнения структурной реализации согласовать параметры нечетких регуляторов, синтезированных для работы в режимах «до номинальной скорости» и «выше номинальной скорости».

Кроме того, автор проводит исследование работоспособности системы электропривода путем анализа ее реакции на отработку управляющего сигнала сложной формы при резко переменной нагрузке на валу двигателя. Динамические характеристики двухзонной системы управления электроприводом, работающей в различных режимах, позволяют оценить основные показатели качества регулирования при функционировании двухкаскадной нечеткой системы управления с различным сочетанием алгоритмов вывода.

**В четвертой главе** представлены результаты синтеза многокаскадных нечетких систем для реализации процедур управления электроприводом переменного тока. Был осуществлен сравнительный анализ выходных динамических характеристик двухкаскадной системы регулирования с различными сочетаниями алгоритмов вывода.

Синтез многокаскадных нечетких алгоритмов по предложенной методике и исследование систем управления электроприводами переменного тока продемонстрировали, что данный подход менее чувствителен к неполноте математического описания комплекса, позволяет улучшить основные показатели качества, расширяет функциональные возможности управления электроприводами и придает свойства интеллектуальности таким системам.

Также был осуществлен анализ поведения многокаскадной нечеткой системы управления электроприводом переменного тока с различным сочетанием нечетких выводов путем подачи на вход ступенчатого сигнала сложной формы.

**В пятой главе** представлена программно-аппаратная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора для системы управления сервоприводом. В результате эксперимента были получены динамические характеристики, которые подтверждают действенность предложенной методики.

**В заключении** изложен общий вывод по диссертационной работе и представлены основные результаты исследования.

**Содержание автореферата соответствует диссертационной работе** по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определениям актуальности, научной новизны и практической значимости.

### **3. Научная новизна и основные результаты исследования**

Научная новизна работы определяется предложенным автором комплексным подходом создания многокаскадных нечетких систем управления электроприводами постоянного и переменного тока, и заключается в следующем:

1. Предложен новый подход к построению интеллектуальных регуляторов систем электроприводов постоянного и переменного тока, обеспечивающий улучшение основных показателей качества управления и базирующийся на выборе каскадности и иерархичности МНЛР с учетом особенностей технологических процессов электротехнического комплекса.

2. Разработаны модели и алгоритмы настройки МНЛР систем электроприводов, позволяющие расширить функциональные возможности нечетких систем, снизить количество входных лингвистических переменных, а также объем и размерность базы знаний.

3. Разработаны алгоритмы многокаскадного управления электроприводами постоянного и переменного тока, функционирующих в различных режимах.

4. Предложены структуры комбинированных НЛР, сочетающие в себе различные механизмы выводов и обеспечивающие улучшение требуемых показателей качества систем управления электроприводами постоянного и переменного тока.

### **4. Достоверность и обоснованность положений, результатов и выводов**

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на российский и международных конференциях и достаточно полно опубликованы соискателем в 22 работах, в том числе 2 статьи из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 6 статей, представленных в международных наукометрических базах цитирований, 4 свидетельств о регистрации ЭВМ.

Судя по приложенным к диссертации актам внедрения, результаты диссертационной работы внедрены в области управления электротехническими комплексами в промышленности, а также в учебный процесс, а именно:

- разработка элементов и алгоритмов для интеллектуальной системы управления электроприводом, позволяющие адаптировать методы принятия решений по оптимизации объектов электроснабжения (Комсомольская дистанция электроснабжения Дальневосточной дирекции по энергообеспечению ОАО «РЖД»);

- алгоритмы многокаскадного управления системами электроприводов с учетом особенностей их функционирования, а также модели комбинированных нечетких логических регуляторов, сочетающие в себе различные механизмы выводов (учебный процесс ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»).

## **5. Практическая значимость диссертационной работы**

Содержится в:

- разработке математического описания МНСУЭП, позволяющего учесть влияние внутренних и внешних факторов, оказывающих воздействие на динамические показатели систем электроприводов;

- синтезе имитационных моделей электроприводов постоянного и переменного тока с реализацией МНЛР, функционирующих на базе различных сочетаний механизмов выводов, и формируемых ими законов управления;

- разработке ИСУЭП, функционирующей в различных режимах работы, которая обеспечивает переход между зонами регулирования без снижения показателей качества.

## **6. Замечания и дискуссионные положения**

1. Требуется дополнительное пояснение как изменится структура предложенного автором многокаскадного нечеткого логического регулятора при перенастройке регулятора дополнительно и на контур скорости.

2. В тексте диссертации недостаточно описано как изменится качество основных показателей регулирования в интеллектуальной системе управления электроприводом при использовании функций принадлежности не аппроксимированного вида, а гладкой формы, например, обобщенной колоколообразной.

3. При формировании структуры МНЛР был использован нечеткий модуль с упрощенным нечетким выводом во внешнем каскаде. Чем обоснован такой выбор и почему не исследовано влияние порядка алгоритма нечеткого логического вывода Сугено на основные характеристики системы управления электроприводом.

4. В диссертации не рассмотрен вопрос проверки базы знаний МНЛР на непротиворечивость с учетом каскадности.

5. Кроме того, в диссертационной работе имеется ряд замечаний редакционного характера, в частности, структурные схемы (например, рисунок 2.1 на стр. 32) имеют подписи размером значительно меньше, чем размер основного текста (примерно в 4 раза).

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

## 7. Общее заключение по работе

Оценивая работу в целом, следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, представленная диссертация Бузикаевой А.В. на тему «Разработка и исследование систем электроприводов на базе многокаскадных нечетких регуляторов» является законченным научным исследованием на актуальную тему. Работа выполнена на высоком уровне, имеет большое практическое значение, написана технически грамотно с правильным логическим изложением материала.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует пунктам 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842), а ее автор Бузикаева Алина Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автоматика и управление»  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Московский политехнический  
университет»

Радионов Андрей Александрович

05 . 06 . 2025

ПОДПИСЬ Радионова А.А. заверяю

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ  
ПОГОРЕЛОВА А.В.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский политехнический университет»  
107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д.38  
Тел. +7 (495) 223-05-23; эл. почта: a.a.radionov@mospolytech.ru  
<https://mospolytech.ru>