Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

Енин Эмиль Демьянович

# Моделирование интеллектуальных систем управления электроприводами при изменении порядка алгоритма Сугено

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2021

Коротченко
Лариса Никитовна
Проверено
05.07.2021 Зачтено Библиотека

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

| | |
|---|---|
| Научный руководитель | кандидат технических наук, заведующий кафедрой Черный Сергей Петрович |
| Рецензент | Роман Николаевич Круговой |

Защита состоится «24» июня 2021 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан __ июня 2021 г.

Секретарь ГЭК А. В. Бузикаева

**Актуальность:**

В последнее время отмечают быстро растущий интерес к нечеткому управлению, а также повсеместное внедрение нечетких систем управления. Это в значительной степени обусловлено многочисленными успешными приложениями, которыми обладает нечеткое управление. Применение нечетких систем постоянно расширяется и имеет множество внедрений в различных областях науки и техники – от бытовых пылесосов, холодильных установок, видеокамер и стиральных машин до средств наведения ракет ПВО, управления боевыми вертолетами и самолетами, управления метрополитеном, а также сложным химическим производством. Практический опыт разработки систем на нечетких множествах свидетельствует, что сроки и стоимость их проектирования значительно ниже, чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом обеспечиваются требуемые показатели качества.

Теория нечетких систем управления – единственная, которая математически оперирует со смысловым содержанием слов человека, дает возможность наилучшим образом структурировать всё то, что разделено не очень точными границами (восприятие чего-либо людьми, мысль, язык), позволяет создать аппарат, способный моделировать рассуждения человека, объяснять приемы принятия решений в ходе рассмотрения различных прикладных задач.

Системы с нечетким регулированием позволяют решить все перечисленные проблемы благодаря тому, что в описание нечеткого регулятора вносятся экспертные оценки оператора и работа происходит не с количественными, а с качественными оценками величин.

**Цель работы:** провести сравнительный анализ различных систем управления, а именно классической системы управления, системы управления с нечетким логическим регулятором и системы управления с нечетким контроллером. Также применить интеллектуальные принципы

управления основанные на теории мягких вычислений для регулирования сложных, многосвязных объектов (ВИП), с учетом условий их функционирования. При этом система управления должна обеспечить максимальное быстродействие и снижение величины перерегулирования с целью предотвращения эффекта пробуксовки.

Достижение указанных целей обеспечивается постановкой и решением следующих основных задач:

- математическое описание нечетких регуляторов;
- описание объекта управления (технологического процессса);
- разработка математической модели вентильно-индукторного электропривода;
- синтез нечетких логических регуляторов системы управления электроприводом с использованием различных алгоритмов нечеткого логического вывода и вариантов структурных решений;
- анализ классической системы управленияи системы управления настроенной с использованием интеллектуальных подходов при различных структурных решениях.

Решение поставленных задач и достижение цели диссертационного исследования позволяет перейти к исследованию и разработки интеллектуальной системы управления.

**Научная новизна.** система управления с нечеткими логическими регуляторами и система с нечетким контроллером вентильно-индукторного электропривода, основанных на алгоритме нечеткого логического вывода Сугено (первого, второго, третьего и шестого порядка).

**Апробация работы**. Основные положения работы были представлены на научной конференции «Молодеж и наука», Комсомольск-на-амуре, 25 марта 2020 г..

По теме диссертационного исследования опубликована статья

**Содержание диссертации**

**Во введении** произведен краткий обзор исследуемой тематики, обозначена актуальность проблемы исследования.

**В первом разделе** представлены основные положения теории мягких вычислений.

Мощь и интуитивная простота нечеткой логики, как методологии разрешения проблем, гарантирует ее успешное использование во встроенных системах контроля и анализа информации. При этом происходит подключение человеческой интуиции и опыта оператора.

В отличие от традиционной математики, требующей на каждом шаге моделирования точных и однозначных формулировок закономерностей, нечеткая логика предлагает совершенно иной уровень мышления, благодаря которому процесс моделирования происходит на уровне абстракции, при котором постулируется лишь минимальный набор закономерностей.

Нечеткие числа, получаемые в результате “не вполне точных измерений”, во многом аналогичны распределениям теории вероятностей, но свободны от присущих последним недостатков: малое количество пригодных к анализу функций распределения, необходимость их принудительной нормализации, соблюдение требований аддитивности, трудность обоснования адекватности математической абстракции для описания поведения фактических величин. В пределе, при возрастании точности, нечеткая логика приходит к стандартной, Булевой. По сравнению с вероятностным методом, нечеткий метод позволяет резко сократить объем производимых вычислений, что, в свою очередь, приводит к увеличению быстродействия нечетких систем.

**Второй раздел** посвящен описанию объекта управления (технологического процесса). Выбор пал на вентильно-индукторный привод шахтного электровоза на основе вентильно-индукторного двигателя. Одно из основных достоинств вентильно-индукторного двигателя с независимым

возбуждением – это секционированная статорная обмотка, которая существенно расширяет область применения данных электроприводов. Секционирование статорной обмотки двигателя существенно повышает надежность электропривода, так как при выходе из строя одного силового канала остальные остаются в рабочем состоянии.

Наряду с совершенствованием методик проектирования вентильно-индукторного электропривода алгоритм управления является решающим фактором обеспечения его высоких технико-экономических показателей и улучшения потребительских свойств, именно поэтому в данной работе рассматривается использование нечетких алгоритмов управления.

**В третьем разделе** проведена разработка математической модели вентильно-индукторного электропривода шахтного электровоза.

Первым делом было проведено математическое описание вентильно-индукторного двигателя с независимым возбуждением для системы векторного управления в осях d-q. Особенность векторного управления заключается в преобразовании и управлении синусоидальными мгновенными значениями токов и напряжений статора, а так же поддержание величины потока двигателя во вращающихся координатах d-q, жестко связанных с ротором, вращающимся синхронно с полем машины.

Был проведён расчет коэффициентов передачи цепи обратных связей, расчет регуляторов, регулятора тока. В ходе чего была спроектирована структурная схема вентильно-индукторного электропривода шахтного электровоза в осях d-q. А также составлены графики переходных процессов системы.

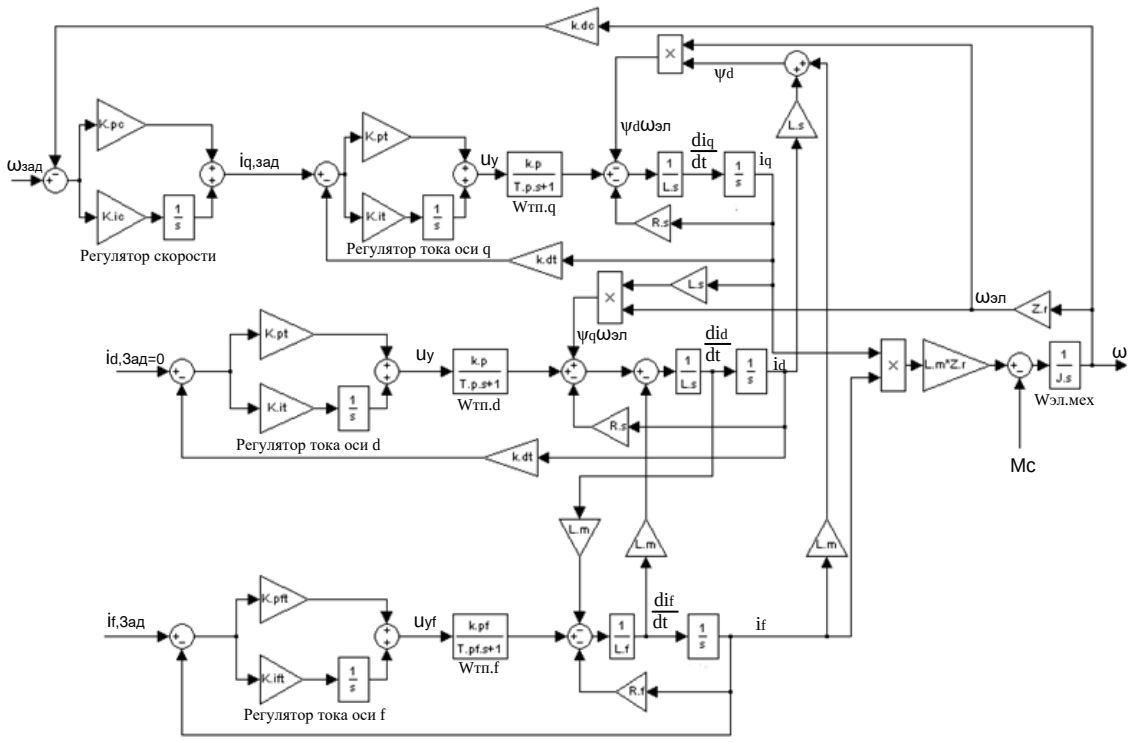


Рисунок 1.13 – Структурная схема вентильно-индукторного электропривода шахтного электровоза в осях d-q

В результате моделирования, ток статора оси «q» в переходном режиме достигает максимального значения, ограничивается и далее снижается до нуля в установившемся режиме. Продольная составляющая тока статора равна нулю в установившемся режиме, а в переходных режимах достаточно мала. Анализируя результат моделирования, система с вентильно-индукторным двигателем устойчива. Перерегулирование в системе отсутствует. Время переходного процесса составляет tпп = 1,65 секунды. В установившемся режиме, переходной процесс по скорости выходит на значение ω = 314 с-1, следовательно, расчет системы подчиненного регулирования вентильно-индукторного электропривода выполнен, верно.

**В четвертом разделе** был проведен синтез нечетких логических регуляторов системы управления электроприводом шахтного электровоза с использованием различных алгоритмов нечеткого логического вывода и представлены варианты структурных решений.

Синтез интеллектуальной системы управления вентильно-индукторного электропривода шахтного электровоза проведен в два этапа. В первом этапе, рассмотрел настройку нечетких логических регуляторов для каждой оси, то есть осуществил замену классических регуляторов контуров тока и скорости на нечеткие регуляторы, алгоритм нечеткого логического вывода Сугено (третьего порядка). Во втором этапе, реализовал нечеткий контроллер управления по всем трем осям. Нечеткий контроллер стал иметь 6 входов и 3 выхода, каждый выход отвечает за определенную ось двигателя, алгоритм нечеткого логического вывода Сугено (шестого порядка). Метод Сугено очень эффективен в вычислительном отношении, очень хорошо работает с линейными методами, а также хорошо подходит для математического анализа.

Было проведено моделирование, которое наглядно показало правомерность применения нечетких логических регуляторов. Полученная система обладает лучшими показателями качества, чем система с классическими ПИ-регуляторами. Длительность переходного процесса уменьшилась в 5 раз. Использование методов нечеткого управления позволило получить качественный переходной процесс без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для классического метода управления.

Далее, было проведено моделирование с применения нечеткого контроллера. И полученная система стала обладать ещё более лучшими показателями качества, по сравнению с системой на нечетких логических регуляторах в каждой оси двигателя и с системой на классических ПИ-регуляторах. Длительность переходного процесса уменьшилась в 2 раза при применении нечеткого контроллера управления и небольшого изменения параметров настройки. Использование нечеткого контроллера управления позволило получить еще более качественный переходной процесс с

наименьшими затратами по сравнению с системой управления на нечетких логических регуляторах.

**В пятом разделе** был проведён анализ классической системы управления и системы управления настроенной с использованием интеллектуальных подходов при различных структурных решениях.

Были рассмотрены динамические характеристики системы вентильно-индукторного электропривода с различными системами управления. По результатам моделирования можно судить о заметном улучшении динамики системы. Анализируя результат моделирования, система вентильно-индукторного двигателя с различными способами управления устойчива. Перерегулирование в системе отсутствует. Переходной процесс классической системы управления вентильно-индукторного электропривода является более затянутым и составляет tпп = 1,65 секунды. Быстродействие системы с нечетким контроллером в 2 раза выше системы с нечеткими логическими регуляторами и в 11 раз выше чем у системы с классическими ПИ-регуляторами.

Результаты моделирования, наглядно показывают правомерность применения нечеткого контроллера для управления вентильно-индукторным электроприводом. Полученная система обладает лучшими показателями как техническими, так и технико-экономическими, чем система с классическими ПИ-регуляторами. Длительность переходного процесса уменьшилась в 11 раз, тем самым мы добились более жесткого переходного процесса по скорости. Одна из целей работы достигнута. Использование методов нечеткого управления позволило получить качественный переходной процесс без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для классического метода управления.

Таким образом, можно сделать вывод, что нечеткие системы управления, построенные по алгоритмам, представленным в работе, при их качественной и точной настройке позволяют значительно улучшить качество

переходных процессов в системе с вентильно-индукторным двигателем. Тем самым становиться, возможным решение главных поставленных проблем при модернизации шахтного электровоза с вентильно-индукторным электроприводом с независимым возбуждением. Система с нечетким управлением выполняет наложенные на неё требования:

## Выводы

В процессе выполнения работы была реализована система управления с нечеткими логическими регуляторами и система с нечетким контроллером вентильно-индукторного электропривода, основанных на алгоритме нечеткого логического вывода Сугено (первого, второго, третьего и шестого порядка).

Нечеткое управление способно придавать нелинейным системам свойство робастности, т.е. пониженной чувствительности к изменениям параметров системы, а также приводит к существенному увеличению ее быстродействия, не снижая динамическую точность. В тех областях применения, где возможны и нечеткое и традиционное управление, предпочтение, естественно, отдаётся тому способу, который даёт лучший результат по требуемым показателям качества.

Результаты моделирования подтвердили эффективности применения нечетких систем управления в вентильно-индукторном электроприводе и шахтном электровозе в целом:

классическая система может быть точно представлена нечеткой системой, посредством выбора соответствующих функции принадлежности;

простота и логическое понимание процесса управления;

облегчение процесса синтеза и полная универсальность рассчитанных регуляторов и контроллера;

улучшение динамики объекта;

наличие у нечеткой системы управления с нечетким контроллером Сугено высоких адаптивных свойств, что делает возможным использования таких систем в условиях изменений параметров объекта.

## Основные публикации по теме диссертации

1 Енин Э.Д. Особенности моделирования нечетких систем управления с комбинированным внутренним каскадом/ Э.Д. Енин, С.П. Черный, А.К. Тимофеев, М.И. Шстаков, А.В. Бузикова // Ученные записки Комсомольского – на – Амуре государственного технического университета. – 2020. - № 1 – 1 (41). – С. 73-82.

2 Моделирование интеллектуальных систем управления электроприводами при изменении порядка алгоритма Сугено / Э.Д. Енин, С.П. Черный, // материалы научной конференции «Молодёжь и наука», Комсомольск-на-амуре, 25 марта 2020 г.- 2с.