

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

На правах рукописи



Бузикаева Алина Валерьевна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ
МНОГОКАСКАДНЫХ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ НА ПРИМЕРЕ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент,
Черный Сергей Петрович

Комсомольск-на-Амуре – 2024

Оглавление

Введение.....	4
1 Анализ альтернативных подходов к реализации систем управления технологическими процессами	10
1.1 Обзор классических подходов к реализации систем управления электроприводами	10
1.2 Анализ интеллектуальных подходов к реализации процедур управления... ..	17
Выводы по первой главе	29
2 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом постоянного тока	30
2.1 Синтез классической системы управления электроприводом постоянного тока.....	30
2.2 Моделирование стандартной нечеткой системы автоматического регулирования с механизмом вывода Мамдани	32
2.3 Моделирование стандартной нечеткой системы автоматического регулирования с механизмом вывода Сугено	38
2.4 Математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора	41
2.5 Синтез двухкаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом постоянного тока с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани	48
2.6 Синтез многокаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани.....	51
2.7 Исследование влияния элементов каскада на формирование итогового закона управления	57
Выводы по второй главе	63
3 Моделирование многокаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом переменного тока	64

3.1 Моделирование двухкаскадного нечеткого логического регулятора с комбинацией механизмов выводов Сугено-Мамдани.....	70
3.2 Моделирование двухкаскадного нечеткого логического регулятора с альтернативной комбинацией механизмов выводов	73
3.3 Формирование процедур управления элементами вложенного каскада	80
Выводы по третьей главе.....	85
4 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы автоматического управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости при различных режимах работы.....	86
4.1 Синтез стандартной системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости.....	86
4.2 Моделирование многокаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани	90
4.3 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией механизмов нечетких выводов Мамдани-Мамдани	99
4.4 Анализ реакции системы на отработку задающего сигнала сложной формы	101
Выводы по четвертой главе.....	109
Заключение	110
Список литературы	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ В	131

Введение

Актуальность. Интеллектуализация систем автоматического управления технологическими объектами является актуальной проблемой в настоящее время. Общепринятые подходы построения систем управления, базирующихся на нечеткой логике, предоставляют желаемые результаты, когда необходима реализация классических законов управления, например, пропорционально-интегрального или пропорционально-интегрально-дифференциального. Для слабоструктурированных технологических объектов необходима реализация сложных законов регулирования, которые характеризуются набором различных функциональных зависимостей. Формирование процедур управления такими сложными технологическими объектами может быть успешно реализовано на основе теории искусственных нейронных сетей, однако, наряду с обширным спектром их возможностей, существует ряд сопутствующих проблем. Одной из возможных альтернатив, позволяющих улучшить показатели качества технологических процессов, является применение стандартных алгоритмов нечеткого регулирования, преимущество которых обосновано и доказано для решения целого ряда задач по управлению. Вместе с тем формализация таких объектов управления приведет к существенному усложнению настройки и возрастанию количества основных параметров нечетких логических регуляторов (НЛР). Чаще всего такая ситуация приводит к увеличению объема базы знаний и перехода ее в гиперпространственное состояние, а также к значительному росту числа функций принадлежности в диапазоне управления и увеличению перечня лингвистических переменных, характеризующих состояние объекта. Возможным вариантом ослабления влияния вышеперечисленных негативных факторов является применение многокаскадных нечетких систем управления (МНСУ). Наиболее приемлемыми объектами с точки зрения реализации предложенного подхода являются системы управления электроприводами постоянного и переменного тока, в математическом описании которых учтены специфические свойства. Целесообразность внедрения технологии многокаскадных нечетких

логических регуляторов (МНЛР) при их реализации в виде единого интеллектуального управляющего модуля для сложных систем автоматизации позволит реализовывать подобную методику управления для целого класса таких объектов в условиях существенного влияния негативных факторов (неполнота и противоречивость исходных данных, нелинейность и наличие взаимосвязей между координатами).

Диссертационное исследование выполнено на основе работ как российских, так и зарубежных ученых, которые посвящены вопросам в области управления технологическими процессами с применением теории нечетких множеств: Поспелов Д.А., Власов К.П., Круглов В.И., Терехов В.А., Zadeh L.A., Mamdani E.A., Sugeno M., Takagi T. Но, несмотря на обширные исследования, многие вопросы, которые связаны с особенностями функционирования объекта управления, неполнотой информационной составляющей, увеличением алгоритмической сложности объекта регулирования, а также алгоритмами повышения интеллектуальных возможностей и упрощения реализации стандартными средствами, остаются открытыми.

Цель диссертации. Разработка подхода, позволяющего синтезировать МНСУ сложными технологическими объектами и обеспечивающего достижение желаемых показателей качества при учете существенных ограничений и неполноты информации. В рамках работы реализация подхода рассматривается на примере системы управления электроприводами постоянного и переменного тока.

Задачи диссертации.

1. Разработка математического описания МНСУ с учетом различных возмущающих факторов внутреннего и внешнего характера, обусловленных нестационарностью объекта управления.

2. Синтез и исследование различных моделей МНСУ и формируемых ими сложных законов управления с учетом существенных нелинейностей в различных режимах работы объекта регулирования.

3. Реализация методики, позволяющей моделировать МНСУ в зависимости

от особенностей функционирования объекта регулирования, а также с учетом различной наполняемости внутренней структуры МНЛР.

Научная новизна:

- предложен новый подход построения МНЛР, обеспечивающий улучшение основных показателей качества управления технологическим процессом;

- разработаны модели и алгоритмы настройки МНЛР, позволяющие расширить функциональные возможности таких систем и снизить количество входных лингвистических переменных, а также объем и размерность базы знаний;

- разработаны алгоритмы многокаскадного управления технологическими объектами с учетом особенностей их функционирования;

- предложены структуры комбинированных НЛР, сочетающие в себе различные механизмы выводов и обеспечивающие улучшение требуемых показателей качества переходного процесса.

Объектом исследования является МНЛР с сочетанием различных механизмов вывода, реализующий процедуры управления технологическими объектами на примере электроприводов постоянного и переменного тока с учетом их специфических свойств.

Предметом исследования являются процедуры и законы управления, реализуемые интеллектуальной системой автоматического регулирования.

Методы исследования: элементы теории интегрального и дифференциального исчисления, методы математического и имитационного моделирования, основные положения классической теории автоматического регулирования и теории нечетких множеств.

Предполагаемое внедрение: предложенная методика многокаскадного нечеткого управления может быть распространена на различные объекты промышленности, энергетики и транспорта, например, системы электроснабжения железных дорог, что подкреплено актами внедрения. Кроме того результаты работы в виде полученных алгоритмов многокаскадного

управления технологическими объектами и модели комбинированных нечетких регуляторов применяются при проведении научно-исследовательских работ, а также в учебном процессе кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственного университета».

Положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель МНСУ, позволяющая учесть влияния сочетания алгоритмов нечетких выводов на качество основных показателей регулирования.

2. Имитационные модели МНСУ и формируемые ими сложные законы управления, учитывающие существенные нелинейности в различных режимах работы объекта регулирования.

3. Алгоритмы управления, позволяющие реализовать методики моделирования МНСУ в зависимости от особенностей функционирования объекта регулирования и учета различной наполняемости внутренней структуры МНЛР.

Практическая значимость работы:

- разработка математического описания сложной МНСУ, учитывающей внутренние и внешние факторы;

- реализация различных моделей электроприводов постоянного и переменного тока при многокаскадных принципах регулирования и формируемых ими сложных законов управления;

- разработка интеллектуальной системы двухзонного регулирования, обеспечивающего автоматический переход между зонами без потери показателей качества управления.

Соответствие паспорту специальности. Тематика исследования, проводимого в рамках диссертационной работы, соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.3.3: 4. теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами;

5. научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами; 6. научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.

Достоверность результатов и апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

– международная научно-практическая конференция «Производственные технологии будущего: от создания к внедрению» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2017, 2021, 2023, 2024 гг.);

– всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Научно-техническое творчество аспирантов и студентов» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2018 г.);

– XIII международная научно-техническая конференция «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (г. Вологда, 2018 г.);

– II всероссийская научно-практическая конференция «Электропривод на транспорте и в промышленности» (г. Хабаровск, 2018, 2023 гг.);

– International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies «FarEastCon» (г. Владивосток, 2018, 2019, 2020 гг.);

– International Ural Conference on Electrical Power Engineering «UralCon» (г. Челябинск, 2019 г.);

– XLV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» (г. Москва, 2019, 2020, 2021 гг.);

– II всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.);

– всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, посвященная 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО «Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива» (г. Хабаровск, 2020 г.);

– XXIII краевой конкурс молодых ученых «Молодые ученые - Хабаровскому краю» (г. Хабаровск, 2021 г.);

– II международная научно-практической конференции молодых учёных «Трансформация информационно-коммуникативной среды общества в условиях вызовов современности» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2023 г.).

Материалы диссертационной работы были выполнены в рамках НИР №ВН010/2021 «Разработка принципов построения интеллектуальных систем управления сложными техническими объектами на основе критериев энергоэффективности».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 20 научных работах, в том числе 7 статей из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 6 статей, представленных в международных наукометрических базах цитирований, 4 свидетельств о регистрации ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Основная часть работы содержит 124 страницы, 9 таблиц и 60 рисунков. Список литературы включает в себя 119 наименований.

1 Анализ альтернативных подходов к реализации систем управления технологическими процессами

1.1 Обзор классических подходов к реализации систем управления электроприводами

В настоящее время большинство технологических процессов оснащено электрическими приводами, на которые возлагается задача осуществления сложных перемещений рабочих органов механизма. В процессе реализации этих перемещений возникает необходимость разгона, торможения, реверса электропривода, а также поддержания постоянства регулируемой величины, изменяя ее по определенном закону. Особенности реализации необходимого закона управления далее будут рассмотрены в диссертационной работе на таких объектах регулирования, как электроприводы постоянного и переменного тока, а также системы с двухзонным регулированием.

Электрические приводы постоянного тока представляют собой наиболее распространенный тип электромеханических систем. Актуальность применения такого объекта регулирования обусловлена простотой механизмов управления и надежностью работы, особенно в случаях, требующих высокого крутящего момента на низких скоростях. Основной принцип работы электрических приводов постоянного тока заключается во взаимодействии магнитных полей внутри двигателя, генерирующих силу, которая преобразуется во вращательное движение. Регулирование скорости в приводах постоянного тока осуществляется путем изменения напряжения на якоре или тока возбуждения, что, в свою очередь, влияет на скорость и крутящий момент двигателя.

Принцип управления электроприводами постоянного тока основан на регулировании скорости, крутящего момента и положения двигателя, адаптируясь к изменениям нагрузки и обеспечивая стабильную работу. Основные методы управления приводами постоянного тока сводятся к регулированию напряжения питания якоря для управления скоростью двигателя (широко используется в тех случаях, где не требуется высокая точность) и регулированию тока в обмотке возбуждения для управления скоростью

двигателя (применяется для получения широкого диапазона скоростей и более точного управления, но может быть более сложным в реализации) [1, 2].

Приводы переменного тока, особенно те, в которых используются асинхронные и синхронные двигатели, отличаются повышенной эффективностью, сокращением затрат на техническое обслуживание и лучшей интеграцией в современные электрические сети. Электроприводы переменного тока работают по принципу преобразования электрической энергии из сети в механическую энергию, используя переменный ток для питания электродвигателя. Главной особенностью электроприводов переменного тока является их способность регулировать не только скорость, но и крутящий момент двигателя переменного тока за счет изменения частоты и напряжения, подаваемых на двигатель. Это достигается за счет использования сложных электронных устройств и алгоритмов управления, которые модулируют подачу питания в режиме реального времени.

Управление приводами переменного тока осуществляется сложнее, чем электроприводами постоянного тока ввиду динамической природы переменного тока и реакции двигателя на него. С целью регулировки угловой скорости вращения ротора, а также крутящего момента на валу двигателя, применяют либо скалярное, либо векторное управление электроприводом.

При скалярном методе управления осуществляется поддержание постоянного соотношения напряжения и частоты (V/f) для управления скоростью двигателя. Несмотря на простоту реализации, такой метод обеспечивает ограниченный контроль над крутящим моментом двигателя и не подходит в тех моментах, где требуется необходимость точного контроля скорости или крутящего момента. Векторное управление обеспечивает независимое управление скоростью и моментом двигателя путем динамической регулировки величины и фазы напряжения, подаваемого на двигатель, что позволяет обеспечить заданные показатели качества. Прямое управление моментом - технология, позволяющая напрямую управлять моментом и потоком двигателя без использования модулятора, обеспечивая тем самым быструю

реакцию на изменения нагрузки двигателя. Каждый из методов управления обладает своими преимуществами и выбирается в зависимости от конкретных требований, предъявляемых к электроприводам (необходимость в точности, эффективности или простоте).

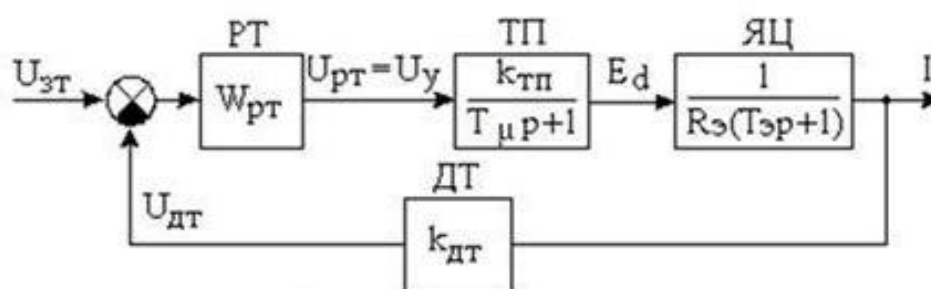
Электрические приводы постоянного тока с двухзонным регулированием скорости в настоящее время применимы для большого количества технологических механизмов, например, концевые моталки, прокатные станы, металлорежущие станки и т.п. Специфика двухзонного регулирования заключается в возможности плавного переключения между двумя различными зонами управления – одна из которых функционирует на низких скоростях с высоким крутящим моментом, а другая предназначена для работы на высоких скоростях с малым моментом сопротивления на валу. Такая возможность переключения обеспечивает оптимальную эффективность и производительность электропривода независимо от нагрузки или скоростных условий. В низкоскоростной зоне часто используются методы управления, аналогичные тем, что применяются в приводах постоянного тока, с упором на управление крутящим моментом, в то время как в высокоскоростной зоне используются технологии приводов переменного тока с упором на эффективное управление скоростью.

На сегодняшний день двухзонные системы регулирования находят свое применение в различных областях промышленности:

- промышленная автоматизация: обеспечение точного управления оборудованием, работающим на различных скоростях и при различных нагрузках, например, конвейерами, подъемниками и роботизированными манипуляторами;
- системы возобновляемой энергетики: оптимизация работы ветряных турбин и других преобразователей возобновляемой энергии, которые работают в широком диапазоне условий окружающей среды;

– электромобили: повышение производительности в широком диапазоне условий движения от старт-стопного движения до скоростных магистралей [3,4].

Расчет регуляторов в системах управления электроприводами постоянного и переменного тока осуществляется на основе классических методов подчиненного регулирования. Некоторым рядом особенностей при настройке обладают регуляторы систем управления с двухзонным регулированием.



РТ – регулятор тока якоря; ТП – тиристорный преобразователь якоря; ДТ – датчик тока якоря; ЯЦ – якорная цепь двигателя
Рисунок 1.1 - Структурная схема контура тока

Рисунок 1.1 иллюстрирует структурную схему внутреннего контура тока с передаточной функцией

$$W_{РТ} = \frac{R_э T_э}{2T_μ k_{ТП} k_{ДТ}} \cdot \frac{T_э p + 1}{T_э p},$$

где $R_э$ – полное сопротивление якорной цепи;

$T_э$ – электромагнитная постоянная времени двигателя;

$T_μ$ – постоянная времени преобразователя якоря;

$k_{ТП}$ – коэффициент усиления тиристорного преобразователя якоря;

$k_{ДТ}$ – коэффициент датчика тока якоря.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 1.2.



PC – регулятор скорости; M – электромагнитный вращающий момент двигателя;
M_с – статический момент нагрузки;
Рисунок 1.2 – Структурная схема контура скорости

Передаточная функция регулятора скорости имеет следующий вид:

$$W_{рс} = \frac{C T_M k_{дт}}{4 T_\mu R_\Sigma k_{дс}} \cdot \frac{8 T_\mu p + 1}{8 T_\mu p},$$

где C – конструктивный коэффициент двигателя;

R_Σ – полное сопротивление якорной цепи;

T_μ – постоянная времени преобразователя якоря;

T_M – электромеханическая постоянная времени двигателя;

$k_{дс}$ – коэффициент передачи датчика скорости;

$k_{дт}$ – коэффициент датчика тока якоря.

Синтез регулятора скорости производился в соответствии с симметричным оптимумом. В двухзонном автоматизированном электроприводе при уменьшении потока уменьшается коэффициент в объекте регулирования контура скорости (за счет ослабления поля двигателя). Если контур скорости был оптимизирован на модульный оптимум, то эти изменения вызывают уменьшение частоты среза и уменьшение быстродействия, т.е. контур становится более демпфированным. При существующем уменьшении поля может произойти даже потеря работоспособности контура. Для того чтобы коэффициент в контуре скорости оставался неизменным при любом значении поля двигателя, на выходе регулятора скорости устанавливают делительное устройство, как показано на рисунке 1.3.

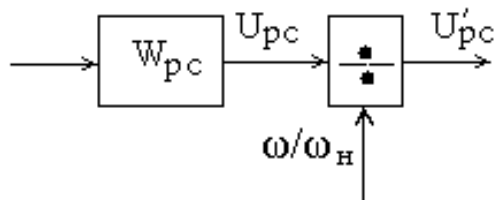
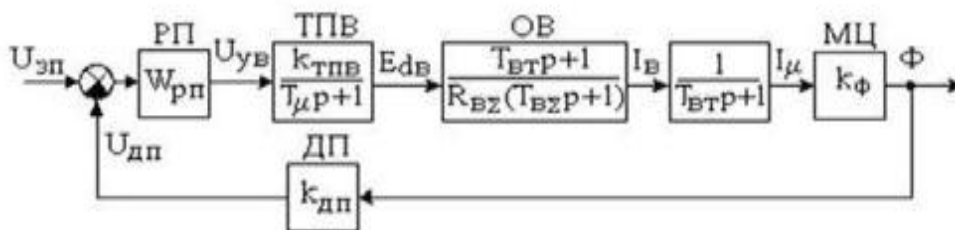


Рисунок 1.3 - Делительное устройство на выходе регулятора скорости

На рисунке 1.4 приведена структурная схема регулятора потока. Оптимизация производится на модульный оптимум, полагая наличие датчика потока.



РП – регулятор потока возбуждения; ТПВ – тиристорный преобразователь возбуждения; ОВ – обмотка возбуждения; МЦ – магнитная цепь; ДП – датчик потока

Рисунок 1.4 – Структурная схема контура потока
Передаточная функция регулятора потока представлена в виде

$$W_{рп} = \frac{R_{в\Sigma}}{2T_{\mu}k_{тпв}k_{\phi}k_{дп}p} \cdot \frac{T_{в\Sigma}p+1}{T_{в\Sigma}p},$$

где $R_{в\Sigma}$ – полное сопротивление цепи возбуждения;

$T_{в\Sigma}$ – суммарная постоянная времени обмотки возбуждения, $T_{в\Sigma} = T_{в} + T_{вт}$;

$T_{в}$ – постоянная времени обмотки возбуждения;

$T_{вт}$ – постоянная времени вихревых токов;

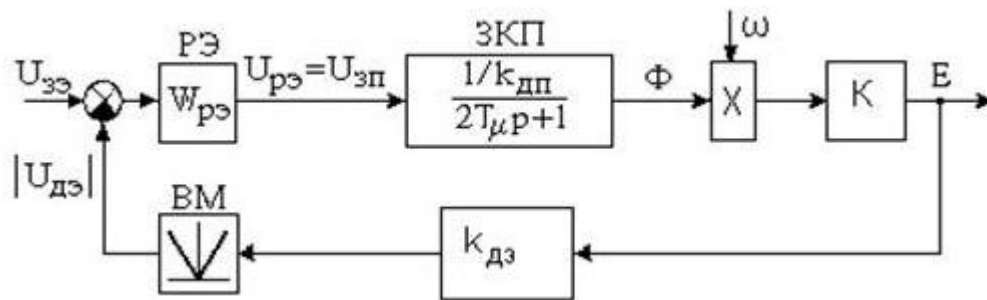
T_{μ} – постоянная времени преобразователя якоря;

k_{ϕ} – динамический коэффициент, связывающий изменение магнитного потока и тока возбуждения;

$k_{тпв}$ – коэффициент усиления преобразователя возбуждения;

$k_{дп}$ – коэффициент передачи датчика потока.

Структурная схема контура ЭДС представлена на рисунке 1.5.



РЭ – регулятор ЭДС; ВМ – выявитель модуля;
 Рисунок 1.5 – Структурная схема контура ЭДС

Ниже приведена передаточная функция, описывающая регулятор ЭДС:

$$W_{рэ} = \frac{k_{дп}}{2T_{\muв}K\omega_n k_{дэ}p},$$

где $T_{\muв}$ – постоянная времени преобразователя возбуждения;

K – коэффициент пропорциональности магнитного потока;

ω_n – номинальная скорость;

$k_{дэ}$ – коэффициент передачи датчика ЭДС;

$k_{дп}$ – коэффициент передачи датчика потока.

Оптимальная настройка контура ЭДС будет выполняться только в одной расчетной точке, т.е. при скорости, при которой была проведена оптимизация. Для сохранения коэффициента усиления в контуре ЭДС неизменным при изменении скорости, на выходе регулятора ЭДС добавлено делительное устройство, как показано на рисунке 1.6.

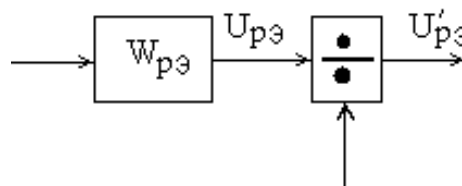


Рисунок 1.6 - Делительное устройство на выходе регулятора ЭДС

Одной из основных проблем при реализации систем с двухзонным регулированием скорости является наличие существенного количества нелинейностей в каналах управления. Устранить негативное влияние нелинейностей на основные параметры объекта регулирования технологическим процессом на основе классических методов представляется достаточно

сложным, поэтому применение методов интеллектуального управления является актуальным [5].

1.2 Анализ интеллектуальных подходов к реализации процедур управления

Современные системы автоматического управления представляют собой сложные комплексы взаимодействующих технических устройств и элементов, работа которых основана на различных физических принципах. Различно также их конструктивное выполнение и технические характеристики. Несмотря на многообразие отдельных систем автоматического регулирования и входящих в них элементов, последние могут быть сведены к нескольким основным типам, различающимся по их назначению и взаимодействию в системе управления.

В связи с предъявлением все более высоких требований к процессам управления в различных областях техники проблема идентификации становится исключительно важной. Нельзя обеспечить качественное управление системой, если неизвестна с достаточной точностью ее математическая модель и не оговорена система ограничений. Методика поиска процедуры управления объектом, когда и сам объект, и критерий управления им уже описаны в точных терминах, устарела и не является актуальной. С течением времени объекты управления развивались, стали более сложными, из-за чего типовые наработанные приемы стали неприменимы к нетрадиционным объектам управления.

Решение многих сложных научных и технических задач значительно упрощается при моделировании. Ключевым моментом при изучении малоформализованных и слабоструктурированных объектов и систем в современной теории автоматического управления является задача синтеза математического описания моделей и алгоритмов регулирования в условиях неполноты и противоречивости априорной информации о таких объектах.

Одна из основных тенденций развития искусственного интеллекта заключается в интеллектуализации методов управления, а в частности, законов

регулирования сложными техническими объектами. К сложным системам управления предъявляются требования, отличные от классического математического подхода. К ним же применяются свойства, которые определяются динамичностью системы управления, отсутствием формализуемой цели существования объекта, отсутствием желаемых характеристик и оптимальности, неполнотой информации об объекте управления. Поэтому возникает проблема с идентификацией и математическим описанием таких систем.

Одним из ведущих направлений, которому посвящено достаточное большое количество исследований в последние годы, является развитие интеллектуальных систем, функционирующих на базе теории нечетких множеств. Реализация процедур управления для сложных технологических процессов затруднена по целому ряду причин, основными из которых являются особенности существования и функционирования технологического объекта, его многокоординатность, многокритериальность, а также неполнота информационной составляющей, которая связана не только с математическим описанием, но и с особенностями внутренних взаимосвязей между координат объекта. Кроме того, необходимо отметить, что наличие нелинейностей естественного и искусственного вида заставляет трансформировать реализуемый закон управления для достижения необходимых или желаемых характеристик объекта с учетом технических требований [6].

Нечеткое управление не требует знания точной модели объекта, оно организует приближенную стратегию управления, моделируя способ мышления человека. Оно выражает в простых лингвистических терминах любой необходимый для задачи управления алгоритм, линейный или нелинейный, который должен быть предварительно составлен экспертом. НЛР являются экспертными регуляторами, и алгоритмы их синтеза трудно формализовать для сложных объектов управления, обладающих свойствами уникальности.

Исследование направлено на создание рекомендаций и формирование теоретической базы для универсальных подходов по реализации сложных

законов управления для целого класса объектов регулирования, учитывающих все особенности их функционирования, взаимосвязи между координатами и сочетания алгоритмов нечеткого логического вывода. Процесс реализации поставленных задач сводится к решению проблем, которые связаны с информационной избыточностью лингвистических переменных, алгоритмической сложностью продукционной базы знаний, распределением нечетких термов в блоке фаззификации, а также изменением количества элементов внутреннего каскада интеллектуального модуля при автоматическом регулировании сложными системами управления. Внедрение многокаскадности НЛР в интеллектуальные системы управления, где внешний каскад нечеткого модуля рассматривается в роли экспертной системы, управляющей регуляторами вложенного каскада, позволяет снизить информационную нагрузку продукционной базы знаний, количество лингвистических переменных, а также сократить алгоритмическую сложность в блоках фаззификации и дефаззификации.

Интеллектуальная система, имеющая в своем составе двухкаскадный набор НЛР, формирует альтернативные варианты построения функций принадлежности. Приведенные вариации сигналов не ограничивают возможности регулятора, он остается восприимчивым к изменениям внешних факторов вплоть до установленных крайних точек диапазонов регулирования. Такой подход к реализации нечетких систем позволяет существенно повысить универсальность интеллектуального регулятора, расширить его адаптивные свойства и значительно упростить процессы настройки и перенастройки, а также сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность таких регуляторов при реализации виде единого модуля.

Целью диссертационного исследования является разработка подхода, позволяющего синтезировать МНСУ сложными технологическими объектами при наличии существенных противоречащих ограничений и неполноты информации, а также выработка рекомендаций, позволяющих осуществлять перенастройку таких систем с учетом изменения требований к реализации

процедур и стратегий управления. Внедрение технологии многокаскадного нечеткого управления позволяет организовывать процесс управления целым классом объектов, что в конечном результате приводит к формированию экспертной системы.

Большинство существующих современных объектов управления характеризуются неполнотой информации и существенной сложностью математического описания, а также большим количеством допущений и ограничивающих факторов. В целом, функционирование таких сложных объектов управления характеризуется существенной нелинейностью и условиями ограниченностью математического описания, как в части системы дифференциальных уравнений, так и в части ограничений, накладываемых на систему в целом. Преодоление этих недостатков с применением типичных нечетких подходов сопряжено с трудностями, связанными как с алгоритмической сложностью базы знаний, информационной избыточностью используемых лингвистических переменных, так и существенным количеством нечетких термов в заданном диапазоне регулирования.

При реализации общепринятых процедур управления, основанных на мягких вычислениях, возникают сложности с реализацией адаптивных свойств таких систем. Сочетание различных алгоритмов нечеткого логического вывода позволяет решать многокритериальные и многофакторные задачи интеллектуального управления. При этом различное сочетание нечетких выводов усиливает различные свойства таких систем, например, робастность, многозадачность, совокупное управление в областях больших и малых сигналов и т.д.

Алгоритмы и процедуры, применяемые в МНЛР, могут быть использованы в качестве модулей прогнозирования в развитых объектах автоматизации, например, в системах управления электроприводами с двузонным регулированием, а также аналогичных технологических процессах, применяемых в электроэнергетике, робототехнике и на транспорте.

Для устранения всех недостатков моделирования существуют современные подходы. Основной тенденцией развития методов управления является их интеллектуализация. Основными направлениями исследований в области искусственного интеллекта являются [7, 8]:

- искусственные нейронные сети,
- системы с нечеткой логикой,
- генетические алгоритмы и эволюционное программирование.

Существует множество различных систем, функционирование которых осуществляется с применением целого ряда методик, использующих в своей основе элементы искусственного интеллекта. К таким системам относятся и системы, базирующиеся на теории нечетких множеств. Эти подходы находят свое применение там, где традиционные методы малоэффективны или в результате неприемлемы из-за отсутствия полного и точного понимания о функционировании и целях существования таких объектов регулирования. Использование так называемых нечетких систем управления, в основе работы которых лежит технология применения мягких вычислений, является в настоящее время актуальным способом реализации процедур управления и имеет широкие перспективы развития в будущем. Качественное управление системой автоматического регулирования осуществляется только при условиях точного математического описания модели и при наличии достоверной системы ограничений.

Реализация и моделирование нечетких систем автоматического регулирования подразумевает использование в своей структуре НЛР. Типичными объектами управления для такого рода систем являются модели электроприводов постоянного и переменного тока. НЛР в таких системах, как правило, моделирует пропорционально-интегральный или пропорционально-интегрально-дифференцирующий закон управления с учетом ряда дополнительных информационных каналов. При этом в традиционном классическом понимании синтез таких интеллектуальных систем сводится к настройке блоков фаззификации и дефаззификации, а также составлению набора

нечетких продукционных правил. Методики и алгоритмы синтеза параметров этих блоков достаточно широко освещены в технической литературе. Такой подход в построении нечетких систем управления успешно реализуем, если объект регулирования характеризуется невысокой степенью неполноты информации и для определения процедур управления им достаточно использовать один параметр, представленный в нечетком виде.

Попытки реализации нечетких систем управления технологическими объектами, важнейшей особенностью которых является наличие внутренней взаимосвязи между несколькими параметрами и описание такой взаимосвязи, представляется весьма сложной аналитической задачей. В результате чего возникает необходимость поиска новых подходов, связанных с расширением информационных и интеллектуальных возможностей систем управления, реализованных на аппарате мягких вычислений. На сегодняшний день можно выделить три возможных пути повышения интеллектуальных и информативных свойств систем автоматического управления, использующих в своей структуре НЛР. К ним относятся прямое увеличение количества входных параметров нечеткого модуля, использование НЛР с пространственными функциями принадлежности и реализация многокаскадной структуры НЛР.

Прямое увеличение количества входных параметров нечеткого модуля обуславливает повышение информационной составляющей, но зачастую приводит к существенному росту алгоритмической сложности НЛР при распределении функций принадлежности в заданных диапазонах управления, а также к значительному росту количества продукционных правил. Кроме того, реализация этого подхода для сложного объекта регулирования, который характеризуется неполнотой информации о внутренних связях между целым рядом координат, наталкивается на трудности, связанными с выборкой экспертов.

Реализация нечетких систем с пространственными функциями принадлежности устраняет целый ряд недостатков, связанных с количеством координат объекта и взаимосвязями между ними. Однако возникают

значительные сложности при реализации блоков фазификации и дефазификации с учетом необходимости выбора разрезающих плоскостей, достаточной дискретизации таких функций принадлежности и распространения представленных функций принадлежности в объеме регулирования

Функционально структура НЛР с пространственными функциями принадлежности может быть реализована с применением технологии многокаскадной системы. Для реализации такого подхода на регуляторы во внешнем и внутреннем каскадах необходимо наложить ряд дополнительных требований. Второй каскад может быть представлен набором подобных НЛР, основное отличие которых состоит в необходимом смещении нечетких переменных относительно друг друга. Задача формирования пространственных функций принадлежности, а именно смещения этих регуляторов по временной оси, моделируется в первом каскаде [9-16].

Введение многокаскадности позволяет повысить интеллектуальность системы и расширить диапазон применения нечетких систем автоматического регулирования. Структура МНЛР включает в себя два каскада простейших нечетких модулей с различными комбинациями механизмов выводов. При этом первый (внешний) каскад содержит набор элементарных НЛР, настроенных на выработку управляющих воздействий в определенной зоне итогового нечеткого множества принятия решений. Выбор количества таких регуляторов определяется диапазоном изменения входного сигнала и требованиями по точности регулирования. Второй (внешний) каскад реализуется в виде одного интеллектуального переключающего устройства, функциями которого являются решение задач классификации и экстраполяции, а также непосредственный выбор необходимого нечеткого модуля из внутреннего каскада.

Различия в структурах МНЛР обусловлены сочетаниями алгоритмов нечеткого вывода в каскадах интеллектуального регулятора. Для реализации прогнозирующих модулей или при необходимости использования нечеткие результаты вывода в расширенном формате целесообразно использование НЛР с механизмами нечеткого логического вывода Мамдани-Мамдани. В случае

применения механизма нечеткого логического вывода Сугено во внешнем каскаде зачастую необходимо введение дополнительных координат с объекта управления, что определяет возможность дополнительного повышения информативности системы управления в целом, но в месте, с тем приводит к существенному усложнению такого регулятора. Основными проблемами МНСУ являются сложности при выборе согласования нечетких выводов внутри каскадов, а также их структурная реализация при передаче координат системы через каскады.

Классическим примером реализации задачи распознавания в рамках решения задачи управления техническим объектом можно считать моделирование пропорционально-интегрально-дифференцирующий закона регулирования. Внешний каскад в таком интеллектуальном модуле можно рассматривать как систему, которая на основе имеющихся данных осуществляет управление регуляторами, находящимися во вложенном каскаде, и представляет собой внешний интеллектуальный переключатель, как часть пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора — устройства в управляющем контуре с обратной связью. Такая структура используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. Вложенный каскад сформирован из набора простейших НЛР, которые отличаются друг от друга областью определения элементов управляющего сигнала.

Необходимо отметить, что структурно МНЛР реализован по некоторой аналогии со слоистой нейронной сетью. Такое решение продиктовано тем, что задача распознавания является классическим примером применения теории нейронных сетей. Однако существенная алгоритмическая сложность нейросетевого подхода определила необходимость в поиске альтернативных методик решения подобного класса задач.

Решение проблемы распознавания образов за счет расширения интеллектуальности системы с помощью введения нечетких многокаскадных модулей, позволяет повысить функциональность системы, а также приблизить ее

к модели человеческого мышления, что является одной из главных проблем задачи распознавания образов.

Технология внедрения единого интеллектуального управляющего модуля позволит осуществлять реализацию сложных систем автоматизации в условиях существенного влияния негативных факторов, например, неполнота и противоречивость исходных данных, нелинейность, а также наличие взаимосвязей между координатами. Сочетание различных алгоритмов нечеткого логического вывода позволит решать задачи интеллектуального управления.

Наряду с теорией нечетких множеств достигнуть решения таких многофакторных и многокритериальных задач можно путем применения нейронных сетей. Под нейронными сетями понимаются вычислительные структуры, которые моделируют простые биологические процессы, обычно ассоциируемые с процессами человеческого мозга. Вычислительные структуры адаптируются и обучаются путем анализа положительных и отрицательных воздействий. Нелинейным преобразователем в таких сетях является нейрон. Передаточные функции всех нейронов в сети фиксированы, а веса являются параметрами сети и могут изменяться.

В общем случае нейронные сети, равно как и системы автоматизации, функционирующие на базе нечеткой логики, по своим возможностям в части аппроксимации функции любой сложности являются аналогичными. В целом эффективность применения этих подходов для решения задач управления и классификации является достаточно высокой.

Нейронные сети являются универсальными аппроксимирующими системами, которые способны решать любые поставленные перед ними задачи. Построение нейросети выполняется в два этапа. Первый этап заключается в выборе типа (архитектуры) сети – необходимо указать число входов и передаточные функции, каким образом они будут соединяться, и что будет использоваться в качестве входов и выходов сети. На втором этапе построения нейросетей выполняется обучение (подбор весов) сети, от качества которого зависит способность решать поставленные перед ней проблемы и задачи во

время функционирования. Самым важным свойством нейросети сети является их способность обучаться, основываясь на входные данные окружающей среды, и, как результат обучения, повышать свою производительность.

Для того чтобы нейронные сети могли корректно выполнять поставленные задачи, их необходимо обучать. Существует два подхода к обучению нейросетей: обучение с учителем и обучение без учителя. Алгоритм обучения с учителем предъявляет сети обучающую выборку. Для успешного функционирования такого алгоритма обучения нейросети предполагается наличие экспертов, создающих из обучающего множества входного вектора требуемое значение выходного вектора. Далее происходит изменение весовых коэффициентов сети до того момента, пока не будет достигнут приемлемый низкий уровень отклонения выходного вектора от целевого.

Основной проблемой при решении задач путем применения нейронных сетей, обученных «с учителем», является недостаток набора достоверных данных для обучения алгоритма. Также, чтобы добиться максимально низкого уровня отклонения, потребуются большое число итераций, что приведет к довольно длительному процессу обучения нейросети.

Главным отличием процесса обучения с учителем от процесса обучения без учителя является отсутствие во втором целевых выходных образов. Обучающая выборка алгоритма обучения нейросетей без учителя состоит лишь из входных векторов. Процесс обучения так же заключается в подстраивании весов сети, но при этом необходимо получить согласованные выходные векторы, т.е. чтобы при предъявлении достаточно близких выходных векторов выдавались одинаковые выходы. В таком алгоритме обучения при отсутствии целевых выходных образов сложно определить момент сходимости алгоритма. Кроме того, для выше приведенного алгоритма характерна проблема извлечения знаний, решение которой вытекает в отдельную достаточно трудоемкую задачу.

Однако наряду с достаточно широким спектром положительных качеств нейронных сетей существует и ряд недостатков, которые сопутствуют решению сложных задач. Проблема синтеза нейросетей напрямую зависит от заданной

проблематики, поэтому дать общие подробные рекомендации сложно, и сам процесс является трудоемким и порой может не принести удовлетворительных результатов. В целом, необходимо отметить, что математический аппарат в теории нейронных сетей достаточно хорошо развит, однако настройка и реализация таких интеллектуальных систем сопровождается целым рядом описанных выше проблем [17-22].

Кроме искусственных нейронных сетей большой популярностью в настоящее время пользуются генетические алгоритмы. Под термином «генетический алгоритм» понимается несложная модель эволюции в природе, которая формируется путем применения ЭВМ и реализует механизмы естественного отбора и генетического наследования, сопутствующих процессу эволюции живых организмов. В основе генетических алгоритмов лежит метод уменьшения достаточно широкого пространства поиска решения задач. Спектр применения генетических алгоритмов крайне широк: начиная от элементарных задач компоновки и оптимизации, и заканчивая созданием искусственного интеллекта.

Принцип действия генетического алгоритма можно описать тремя этапами. Первый – создание популяции, где формируется большое количество возможных решений имеющихся задач, которые в дальнейшем определяют пространство поиска. Второй этап – оценивание эффективности созданной популяции. Реализация этапа заключается в подборе и выводе значения, пригодного для потенциального решения проблемы. В ходе прохождения итераций алгоритма должно быть достигнуто ожидаемое оптимальное значение. После остановки осуществляется выбор самой приспособленной хромосомы. В случае невыполнения условия остановки алгоритма по результатам естественного отбора будет осуществляться переход на третий этап генетического алгоритма – скрещивание и мутация. На заключительном этапе генетического алгоритма осуществляется выбор и применение генетических операторов.

К основным отличительным признакам генетических алгоритмов в сравнении с традиционными методами оптимизации относятся: формирование

обратного кодирования значений; поиск с нескольких точек; отсутствие необходимости дифференцирования целевой функции (функции пригодности); применение не детерминированного метода отбора, а вероятностного.

В ходе анализа предложенного направления (генетического алгоритма) были выявлены положительные стороны и недостатки. К сильным сторонам генетических алгоритмов можно отнести достаточно простой математический аппарат, возможность поиска решения за счет распараллеливания вычислительного процесса, а также эффективность работы с большим объемом данных. Вместе с тем генетические алгоритмы обладают набором ограничивающих факторов, среди которых можно отметить низкую понятийную составляющую, малое быстроедействие и зависимость от качества обучающей выборки. Указанные недостатки не позволяют в полном объеме применять такую интеллектуальную технологию для решения задач по управлению сложными технологическими объектами [8, 23-26].

Анализируя вышесказанное и учитывая точность аппроксимации функции наиболее выгодно применение технологии многокаскадного регулирования, которая при прочих равных условиях позволяет решать задачи многокритериального управления. Такая технология представляет собой более понятный интуитивный аппарат, в основе которого заложены ситуативные связи. Расширение системы не вызывает существующих изменений в алгоритме управления в целом.

Выводы по первой главе

1. Выполнен сравнительный анализ основных направлений исследования в области искусственного интеллекта. Выявлены основные достоинства и недостатки нейронных сетей, генетических алгоритмов и нечетких систем.

2. На основе анализа достоинств и недостатков искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов намечены основные направления развития систем регулирования с применением нечеткой логики.

3. Обоснована правомерность выбора систем управления, функционирующих на основе теории нечетких множеств, для рассматриваемых технологических объектов.

4. На основе анализа систем автоматического регулирования электроприводами постоянного и переменного тока были выявлены положительные и отрицательные качества различных задач, решаемых в рамках реализации законов управления таких систем, а также определены пути устранения обозначенных недостатков.

2 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом постоянного тока

2.1 Синтез классической системы управления электроприводом постоянного тока

Анализ стандартного подхода по решению задач управления с использованием теории нечетких множеств осуществлен на примере имитационной модели электропривода постоянного тока (рисунок 2.1).

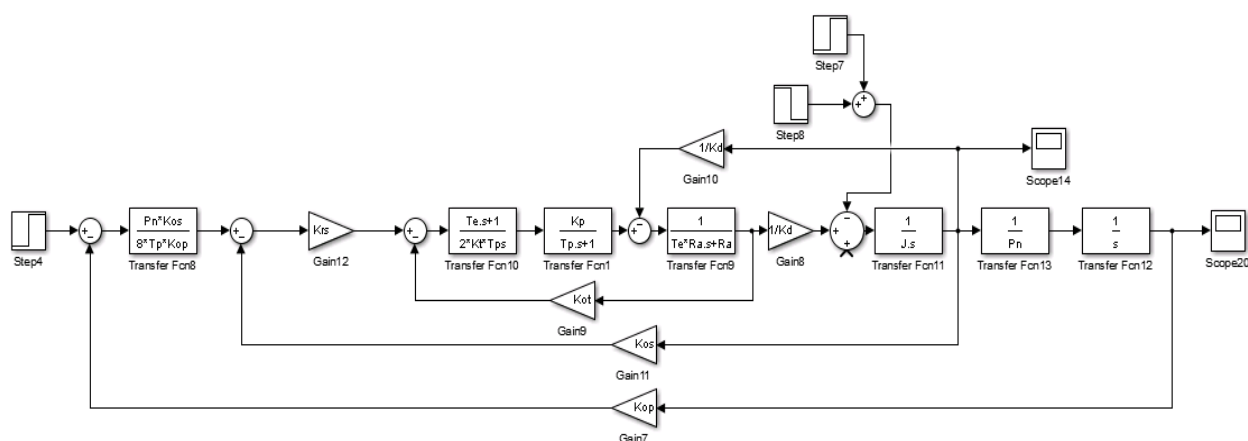


Рисунок 2.1 – Имитационная модель электрического привода постоянного тока независимого возбуждения модели П62

На вход системы подается управляющий сигнал $U_n = 8$ В. В результате моделирования, ток якоря достигает максимального значения 900 А и снижается до нуля в установившемся режиме с допустимым перерегулированием. Время регулирования составляет 0,25 с. Графики переходных процессов системы представлены на рисунках 2.2, 2.3 и 2.4 [27-29].

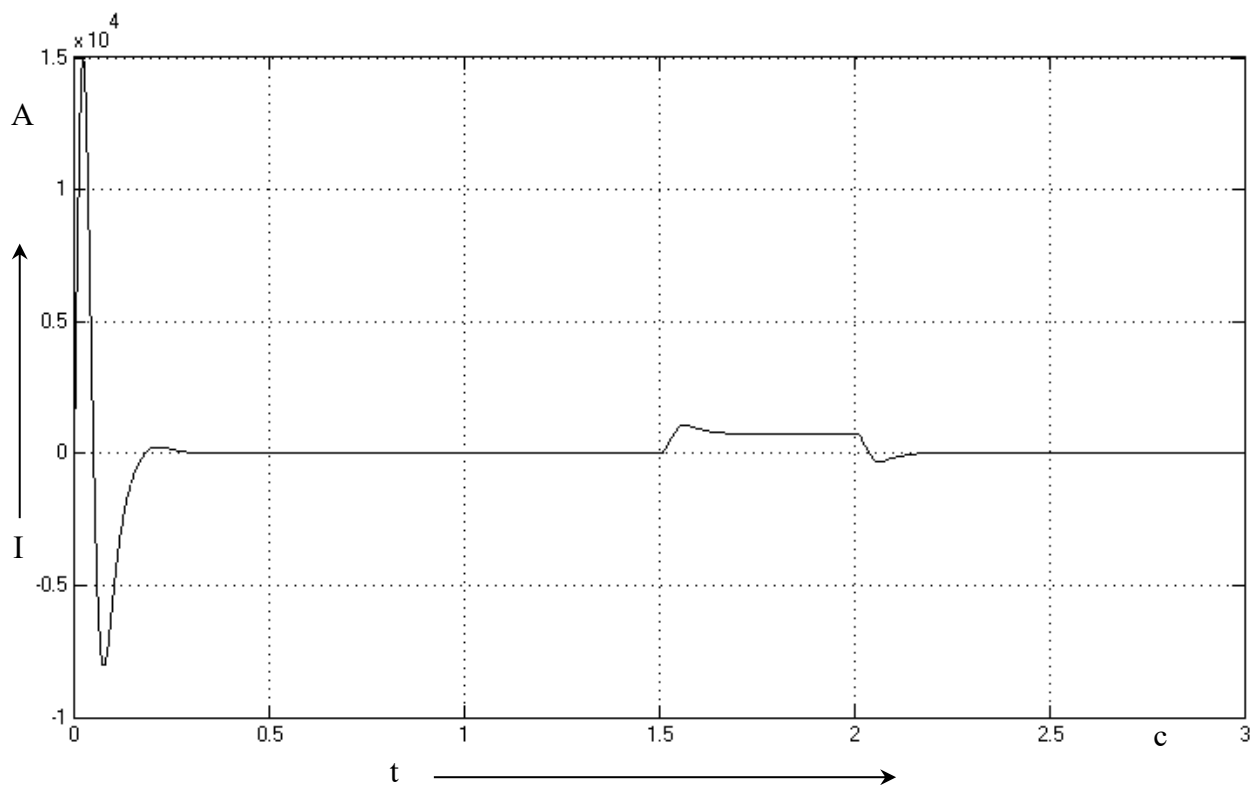


Рисунок 2.2 - Переходный процесс тока двигателя при воздействии нагрузки в момент времени $t_1=1,5$ и снятии ее в момент времени $t_2=2$ с

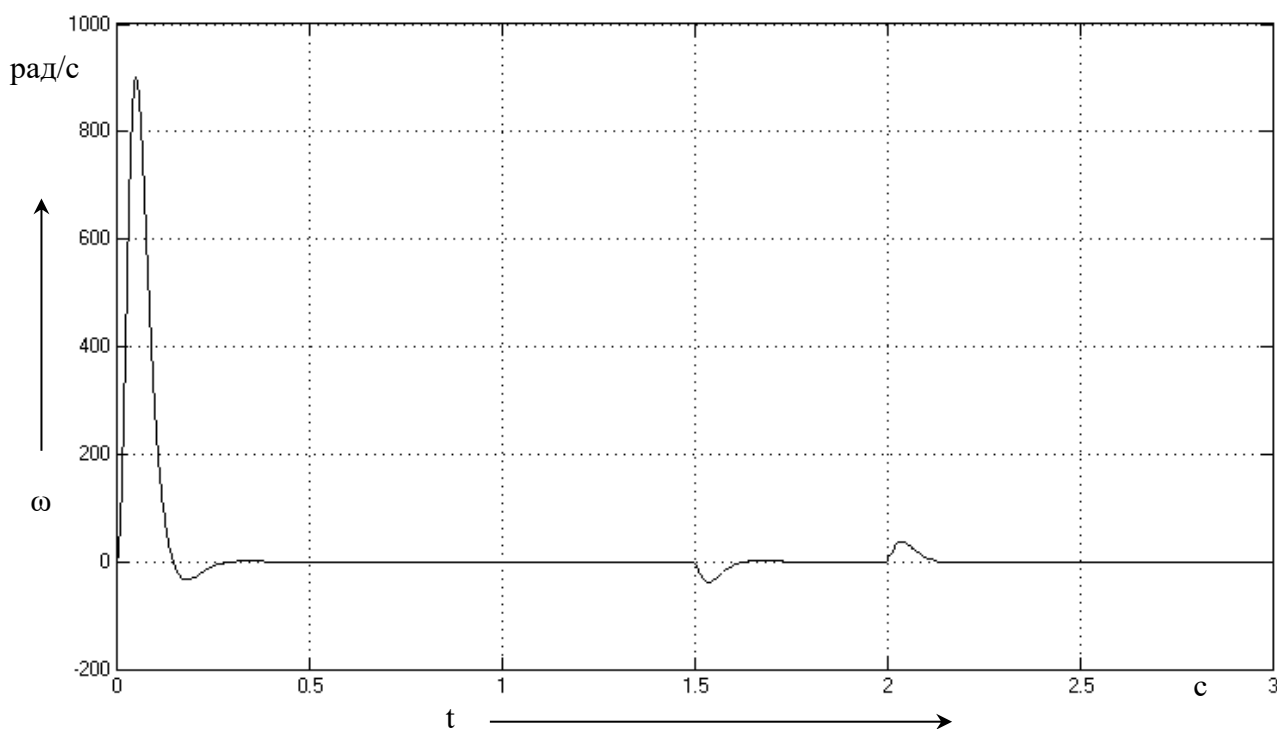


Рисунок 2.3 - Переходный процесс скорости двигателя при воздействии нагрузки в момент времени $t_1=1,5$ с и снятии ее в момент времени $t_2=2$ с

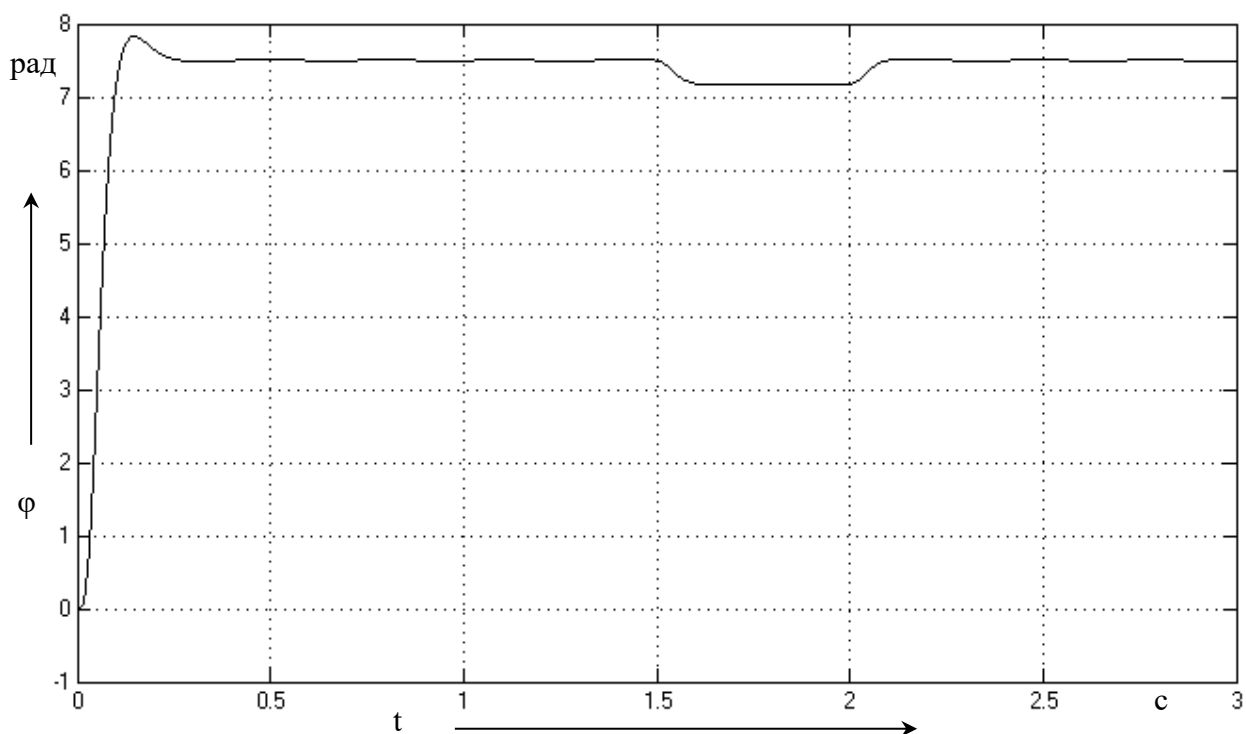


Рисунок 2.4 - Переходный процесс положения двигателя при воздействии нагрузки в момент времени $t_1=1,5$ с и снятии ее в момент времени $t_2=2$ с

Анализируя результат моделирования, видно, что система стабильна. Присутствует допустимое перерегулирование. Система нормально отрабатывает нагрузку в интервале 1,5 – 2 с. В установившемся режиме переходный процесс по положению выходит на значение 7,5 рад.

2.2 Моделирование стандартной нечеткой системы автоматического регулирования с механизмом вывода Мамдани

Синтез нечеткой системы автоматического регулирования осуществлялся в ходе моделирования типовой системы управления электроприводом постоянного тока путем замены классического регулятора положения на нечеткий логический регулятор с механизмом вывода Мамдани (рисунок 2.5).

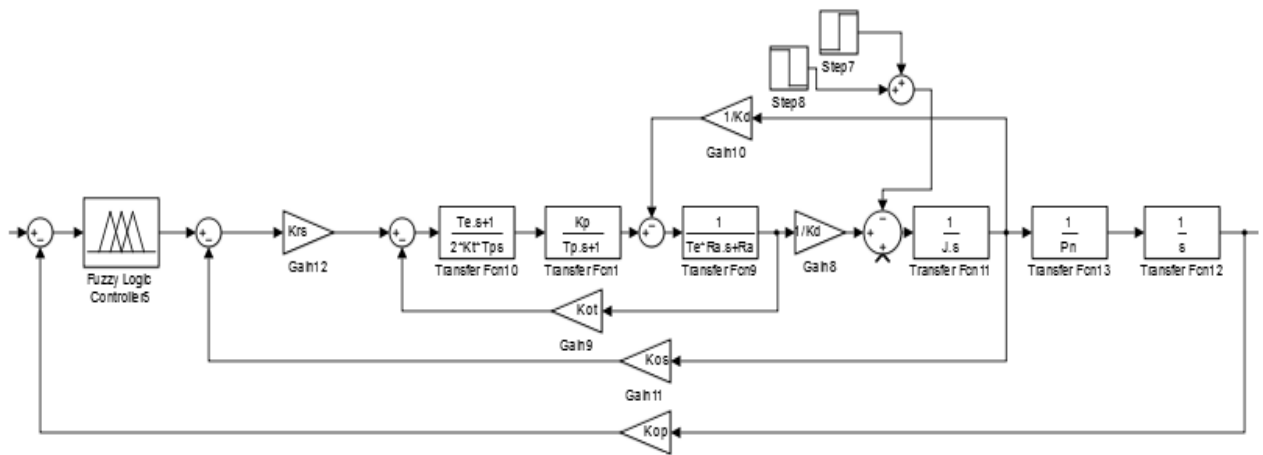


Рисунок 2.5 – Модель электропривода постоянного тока с нечетким регулятором

НЛР, представленный на рисунке 2.6, анализирует сигнал ошибки и имеет на своем входе лингвистическую переменную *input1*, выход регулятора формализуется одной лингвистической переменной *output1*. Функционирование данного регулятора осуществляется с применением нечеткого логического вывода Мамдани.

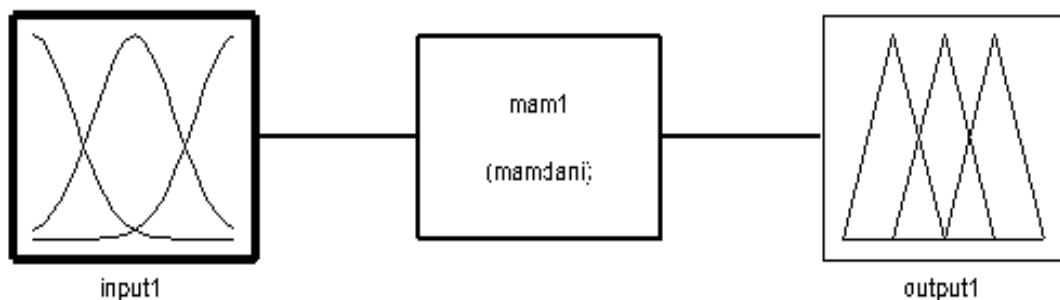


Рисунок 2.6 – Функциональная схема НЛР

Лингвистическая переменная *input1*, формализующая понятие входного сигнала НЛР – сигнал ошибки по положению, реализована с использованием пяти аппроксимированных функций принадлежности треугольного вида (рисунок 2.7). Распределение констант в блоке фаззификации представляет собой базовое терм-множество X лингвистической переменной, которое состоит из следующих элементов: $X = \{BN, N, Z, P, BP\}$, где BN – наибольшее отрицательное значение; N – отрицательное значение; Z – нулевое значение; P – положительное значение; BP – наибольшее положительное значение (названия

нечетких переменных лингвистической переменной $input1$). Выбор диапазона области определения лингвистических переменных производится по переходному процессу системы с классическим регулятором и составляет $[-8; 8]$.

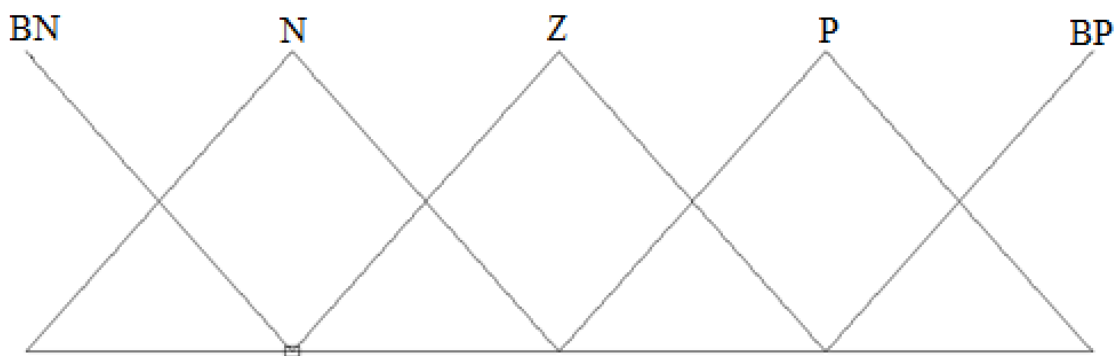


Рисунок 2.7 – Распределение нечетких термов лингвистической переменной «ошибка по положению»

Понятие выходного сигнала НЛР - скорости изменения ошибки по положению - формализовано лингвистической переменной $output1$. Анализ выходной динамической характеристики системы с классическим регулятором позволяет определить диапазон области определения лингвистической переменной $output1$. Базовое терм-множество X лингвистической переменной состоит из следующих элементов: $X = \{BN, N, Z, P, BP\}$, где BN – наибольшее отрицательное значение; N – отрицательное значение; Z – нулевое значение; P – положительное значение; BP – наибольшее положительное значение (названия нечетких переменных лингвистической переменной $output1$) [30-34, 101]. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной распределены пять аппроксимированных функций принадлежности нечетких переменных треугольного вида (рисунок 2.8). Диапазон распределения функций принадлежности находится в интервалах $[-39.17; 39.17]$.

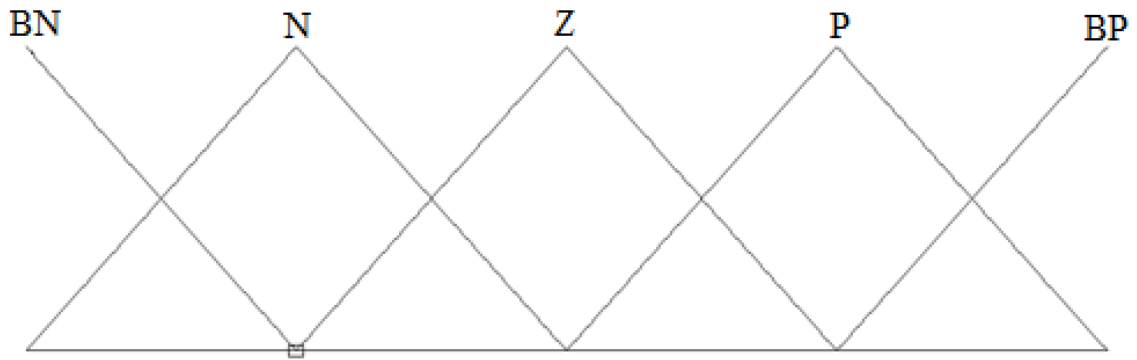
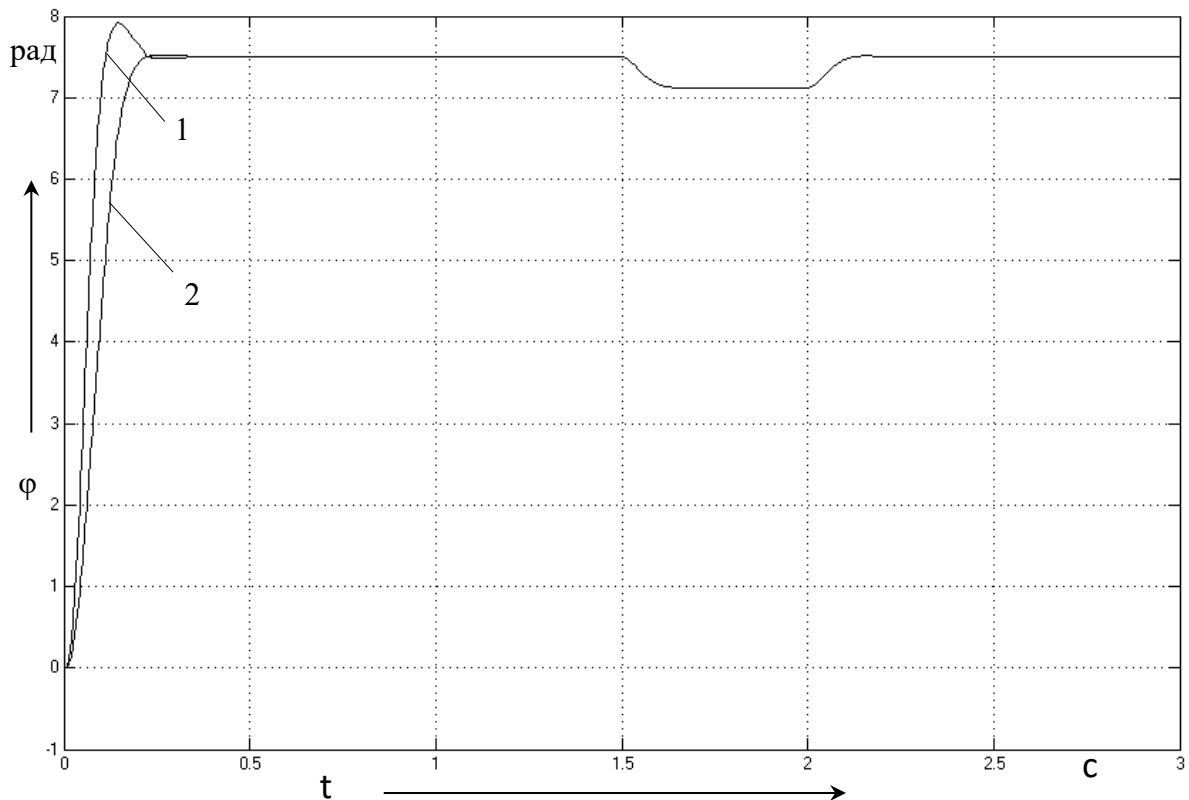


Рисунок 2.8 – Распределение нечетких термов лингвистической переменной «скорость изменения ошибки по положению»

Нечеткая продукционная база знаний НЛР моделируется с применением общепринятых методик и будет состоять из 4 продукционных правил:

1. If (input1 is «Z») then (output1 is «Z»);
2. If (input1 is «BP») then (output1 is «BP»);
3. If (input1 is «P») then (output1 is «BP»);
4. If (input1 is «N») then (output1 is «N»).



1 – классическая система регулирования, 2 – система с НЛР

Рисунок 2.9 – Динамические характеристики системы с классическим регулятором и НЛР с алгоритмом вывода Мамдани

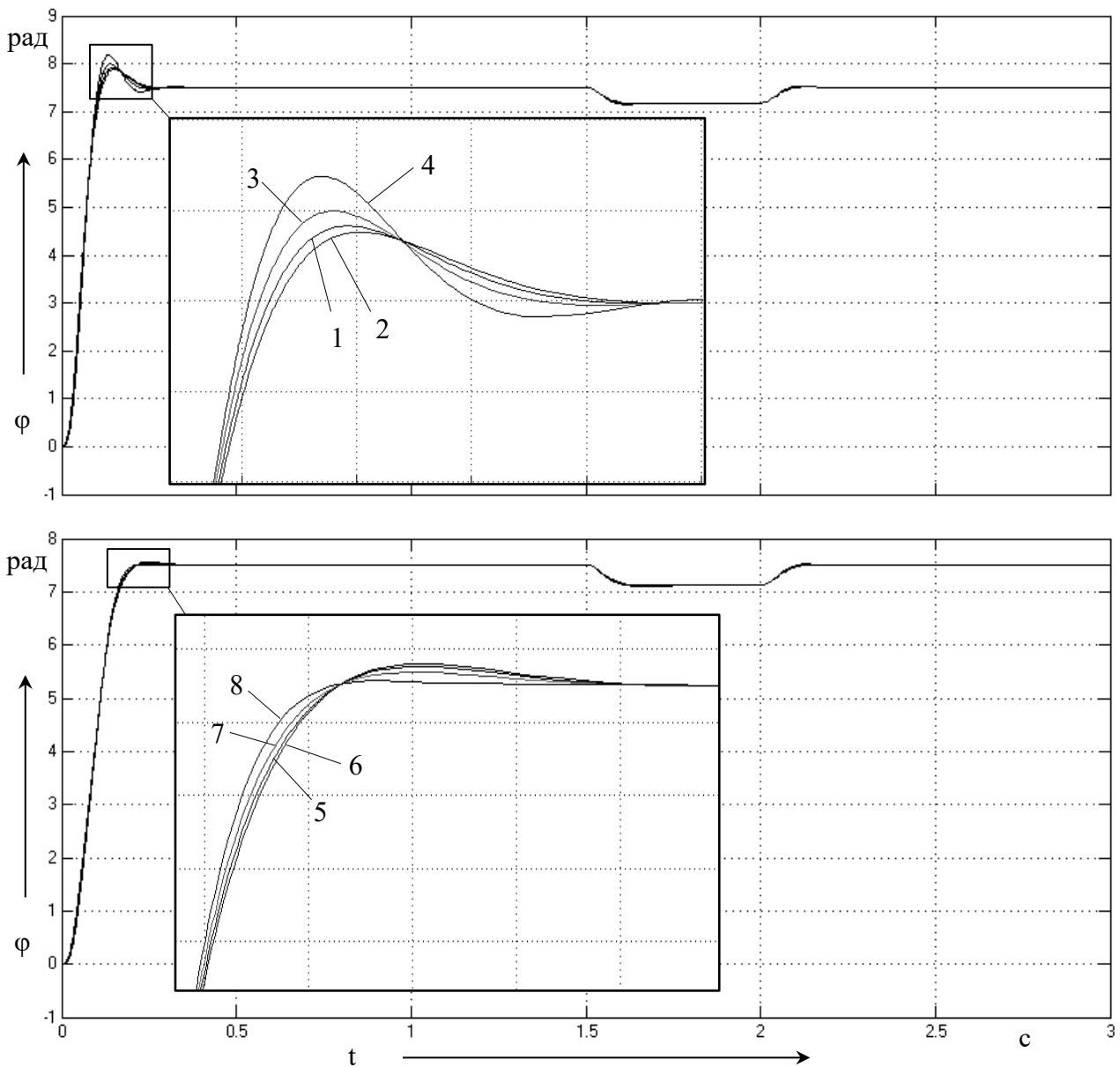
Анализ динамических процессов, приведенных на рисунке 2.9, показывают, что классическая система обладает перерегулированием, в то время система с НЛР не имеет перерегулирования и полностью компенсирует возмущающее воздействие.

Анализ эффективности работы НЛР с механизмом вывода Мамдани осуществлялся по оценке реакции системы на нестационарность параметров тиристорного преобразователя при изменении его коэффициентов в диапазоне от -30% до 15% от номинального значения (таблица 2.1). На рисунке 2.10 приведено семейство переходных характеристик, отражающих влияние изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя в диапазоне от -30% до 15% объекта управления.

Таблица 2.1 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя в системе управления с НЛР Мамдани

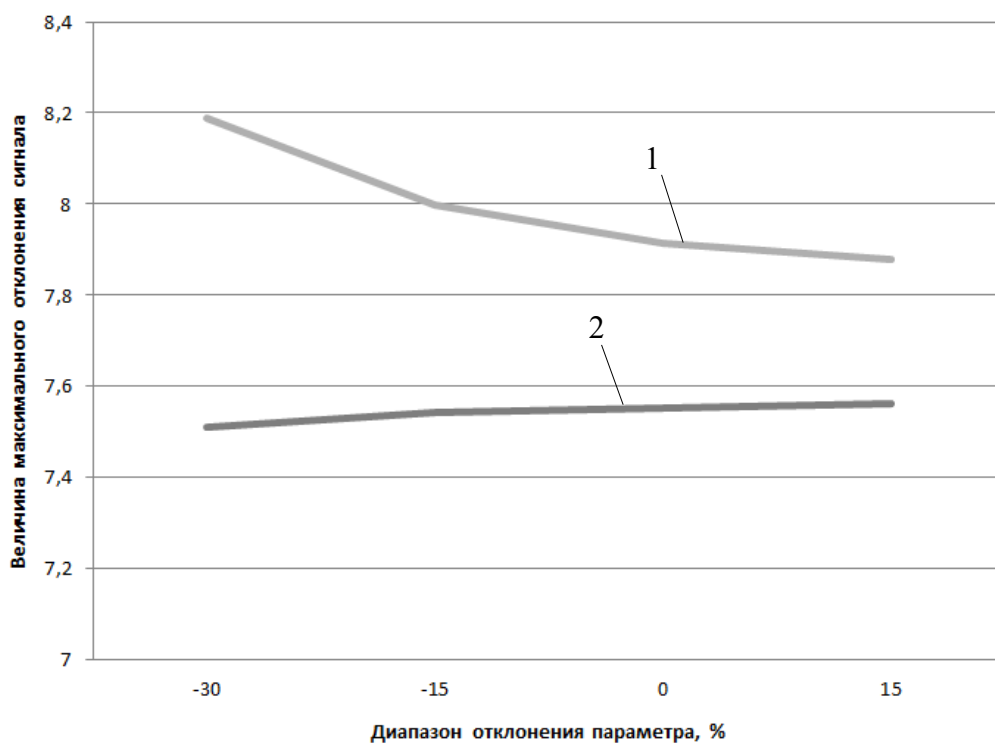
Область изменения параметра, %	-30	-15	0	+15
Значение K_p	23,625	28,6875	33,75	38,8125
Значение h_{max} классической системы	8,189	7,996	7,9137	7,8791
Значение h_{max} системы с НЛР	7,51	7,54	7,55	7,56

На рисунке 2.11 приведена диаграмма, отображающая отклонение основных параметров технологического процесса при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в широком диапазоне значений. Результаты, представленные на рисунке 2.11, позволяют сделать вывод, что система автоматического регулирования с внедренным в нее НЛР обладает в заданном диапазоне некоторыми робастными свойствами.



- 1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 - классическая система -15%; 4 – классическая система -30%; 5 – система с НЛР Мамдани; 6 – система с НЛР Мамдани +15%; 7 – система с НЛР Мамдани -15%; 8 – система с НЛР Мамдани -30%

Рисунок 2.10 - Семейство переходных характеристик, отражающих влияние изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя в диапазоне от -30% до 15%



1 – классическая система регулирования, 2 – интеллектуальная система с НЛР с механизмом вывода Мамдани

Рисунок 2.11 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в широком диапазоне значений

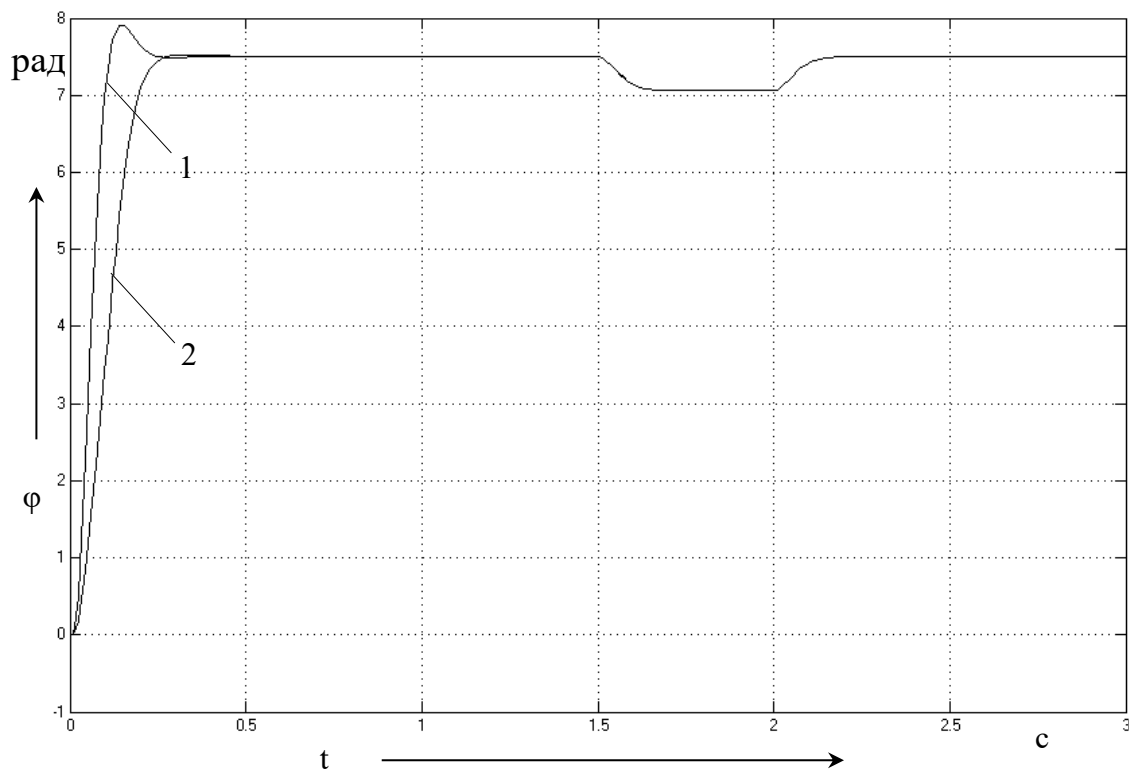
2.3 Моделирование стандартной нечеткой системы автоматического регулирования с механизмом вывода Сугено

Подобным образом осуществляется синтез и моделирование нечеткой системы автоматического регулирования с алгоритмом вывода Сугено. Отличительным признаком при настройке интеллектуального блока является формирование и распределение нечетких термов в блоке дефаззификации [35-37, 109]. Тогда с учетом использования упрощенного алгоритма нечеткого вывода продукционная база правил будет иметь вид:

1. If (input1 is «Z») then (output1= 0);
2. If (input1 is «BP») then (output1= 19,5);
3. If (input1 is «P») then (output1= 19,5);
4. If (input1 is «N») then (output1= -8).

Анализ переходных характеристик, проиллюстрированных на рисунке 2.12, позволяет сделать вывод, что система автоматического регулирования с

НЛР удовлетворяет предъявляемым требованиям и показывает качественные характеристики по положению.



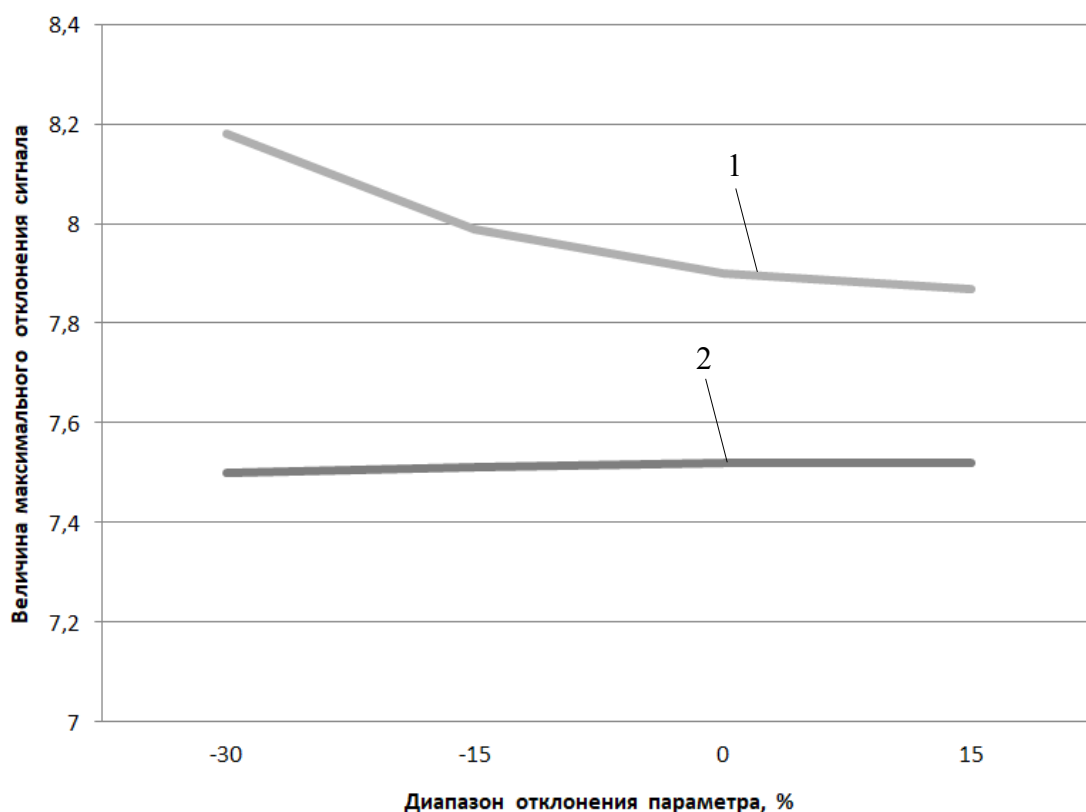
1 – классическая система регулирования, 2 – система с НЛР

Рисунок 2.12 – Динамические характеристики системы с классическим регулятором и НЛР с механизмом вывода Сугено

Оценка работоспособности нечеткой системы автоматического регулирования с механизмом вывода Сугено в случае нестационарности параметров тиристорного преобразователя проводилась аналогично методике, приведенной в пункте 2.2. Изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя в системе управления с регулятором Сугено

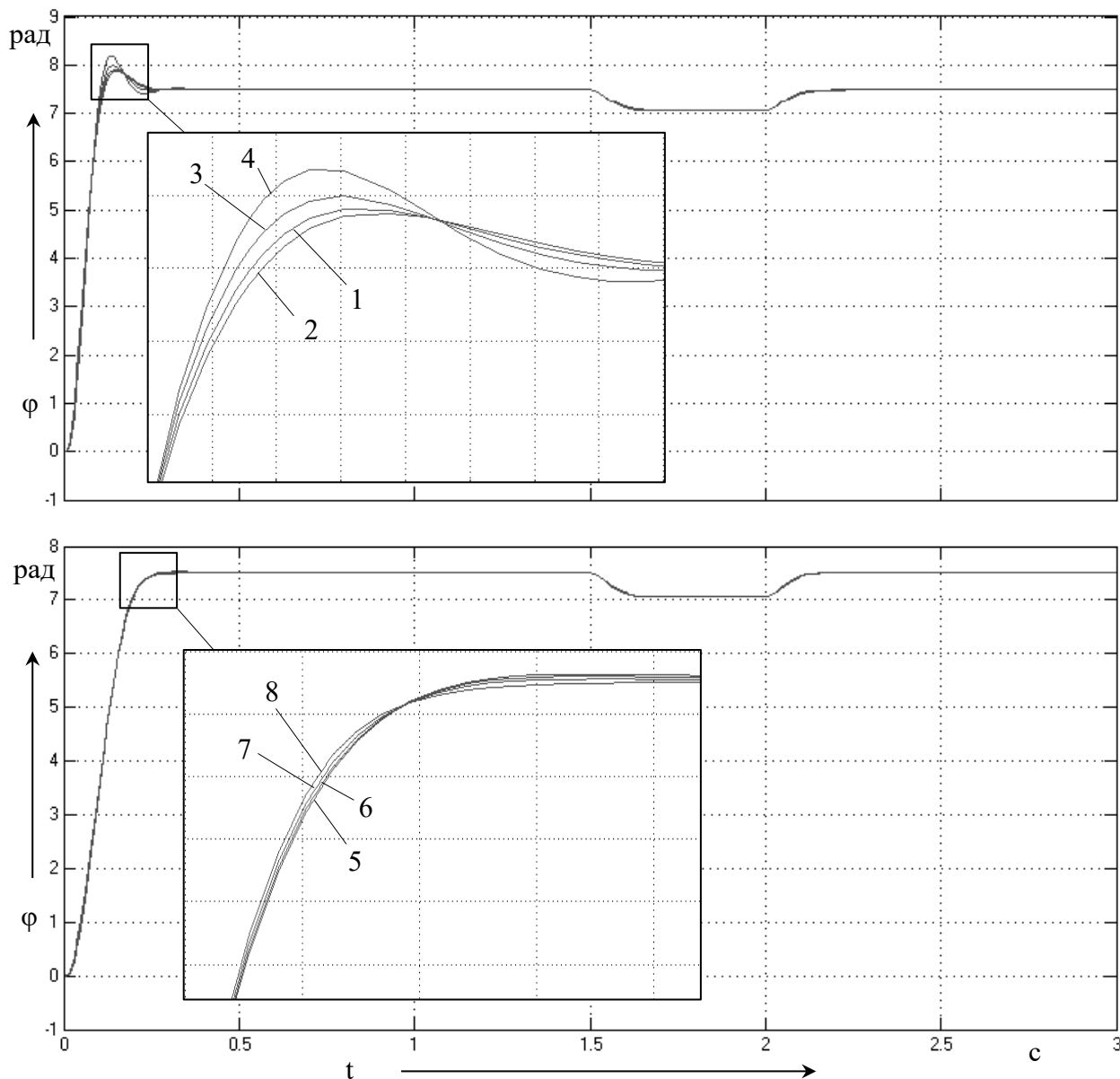
Диапазон изменения параметра, %	-30	-15	0	+15
Значение K_p	23,625	28,6875	33,75	38,8125
Значение h_{max} классической системы	8,189	7,996	7,913	7,8791
Значение h_{max} системы с НЛР	7,501	7,510	7,520	7,520



1 – система с классическим регулятором, 2 – система с НЛР Сугено
 Рисунок 2.13 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в широком диапазоне значений

Характеристики, приведенные на рисунке 2.13, отображает отклонение основных показателей качества процесса регулирования при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в заданном диапазоне. Анализ представленных характеристик позволяет сделать вывод, что система управления с НЛР остается устойчивой к недетерминированным внутренним возмущениям.

Результат реакции системы на ступенчатое воздействие управляющего и возмущающего сигнала (рисунок 2.14) показывает, что система стабильна и выходные характеристики классической и нечеткой систем в статическом режиме имеют одинаковый заданный уровень. Кроме того, следует отметить, что система с НЛР нечувствительна к вариациям внутренних параметров регулятора положения .



1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – классическая система -30%; 5 – система с НЛР Сугено; 6 – система с НЛР Сугено +15%; 7 – система с НЛР Сугено -15%; 8 – система с НЛР Сугено -30%

Рисунок 2.14 - Семейство переходных характеристик, отражающих влияние изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя в диапазоне от -30% до 15%

2.4 Математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора

Вследствие отсутствия возможности перенастройки законов управления в условиях существенного изменения режимов работы системы регулирования использование стандартных моделей нечетких систем представляется

ограниченным. Кроме того повышение точности математического описания объекта регулирования приводит к росту количества лингвистических переменных в НЛР, и, как следствие, сопровождается резким увеличением объема базы знаний. Для ослабления указанных недостатков предлагается использовать двухкаскадную иерархическую структуру, внешний каскад которой является интеллектуальным переключающим устройством, а вложенный каскад состоит из набора нечетких модулей, позволяющих переключать режимы работы [38-44, 103].

Механизм вывода НЛР независимо от выбранного алгоритма протекает по стандартной схеме за конечное число этапов. Тогда для этапа фаззификации можно записать:

$$\min \alpha_i = \bigwedge_{i=1}^n (A_i(x_0); B_i(y_0)),$$

где α_i – степени истинности предпосылки (уровень отсечения) i -го правила;

A_i, B_i – функции принадлежности антецедента i -го правила для каждой входной лингвистической переменной.

На основании вычисленных степеней истинности α_i для всех правил из продукционной базы знаний осуществляется их применение к консеквентам соответствующих правил и определяется выходное агрегированное нечеткое множество:

$$C_{\Sigma}(z) = \bigwedge_{i=1}^n (\alpha_i; C_i(z_i)),$$

где z_i – переменная вывода i -го правила;

C_i – функция принадлежности консеквента i -го правила.

Тогда функцию принадлежности итогового нечеткого множества соответствующей переменной вывода можно записать в виде:

$$\mu_{\Sigma}(z) = \max \bigwedge_{i=1}^n (\alpha_i; C_i(z_i)).$$

Приведение к четкости целесообразно проводить центроидным методом:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \wedge C_i(z_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}.$$

При формировании нечеткого вывода с применением алгоритма Сугено изменится лишь консеквент продукционного правила, который может быть записан в виде полинома:

$$z_i = a_i x + b_i y.$$

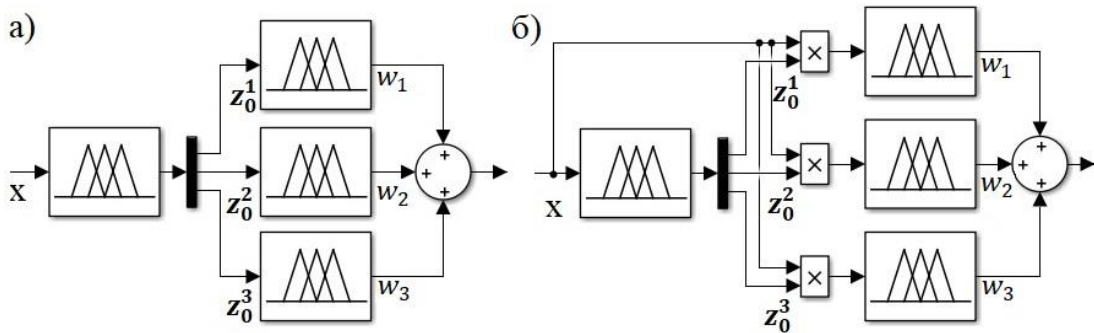


Рисунок 2.15 – Структурная схема МНЛП

а – с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани; б – с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани

Для МНЛП (рисунок 2.15(а)) выходное состояние переменных вывода внешнего каскада можно записать в виде следующего набора выходных значений:

$$Z_0 = \begin{bmatrix} z_0^1 \\ z_0^2 \\ \vdots \\ z_0^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \alpha_i^1 \wedge C_i^1(z) \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \wedge C_i^2(z) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i^m \wedge C_i^m(z) \end{bmatrix}.$$

Представленное состояние лингвистических переменных на выходе НЛП внешнего каскада представляет собой набор входных сигналов для вложенных модулей.

Индивидуальные выходы правил имеют вид:

$$\beta_i = D_i(v_0) \wedge \sum_{i=1}^n \alpha_i^1 \wedge C_i^1(z_i),$$

$$w_0 = \beta_i \wedge E_i(w_i) = D_i(v_0) \wedge \sum_{i=1}^n \alpha_i^1 \wedge C_i^1(z_i) \wedge E_i(w_i),$$

где D_i и E_i - функции принадлежности нечеткого модуля вложенного каскада для переменных входа и выхода соответственно,

β_i – уровень отсечения для каждого состояния входной лингвистической переменной НЛР вложенного модуля,

v_i, w_i – входная переменная и переменная вывода вложенного модуля соответственно.

Итоговое значение, которое будет получено с выхода МНЛР, имеет вид:

$$W_0 = \sum_{j=1}^m D_j(v_0) \wedge \sum_{i=1}^n (\alpha_i^j \wedge C_i^j(z) \wedge E_i(w_i)).$$

Для случая алгоритма нечеткого вывода Сугено нулевого порядка (рисунок 2.15 (б)) компонент формулы

$$C_i^j(z) = C_i = \text{const}$$

будет дополнен сигналом, содержащим информацию о состоянии входа МНЛР:

$$C_i \cdot x(t),$$

где $x(t)$ - одна из информационных составляющих входного сигнала первого каскада, например, сигнал ошибки системы.

Для повышения интеллектуальности системы введем многокаскадность, что позволит расширить диапазон применения нечетких систем. Для формирования модели МНЛР необходимо реализовать интеллектуальную систему, включающую в себя ряд простейших регуляторов Мамдани, имеющих единственные функции принадлежности на входе и выходе, и интеллектуальное переключающее устройство с алгоритмом вывода Сугено, обладающее единственной лингвистической переменной на входе и тремя информационными выходами [45-50, 104, 107].

Введем в систему интеллектуальное переключающее устройство, состоящее из одного НЛР с механизмом вывода Сугено и тремя элементами умножения, формирующими совокупность задающих воздействий для модулей внутреннего каскада. Основной функцией интеллектуального переключающего устройства является переключение режимов работы интеллектуальных модулей внутреннего каскада (рисунок 2.16).

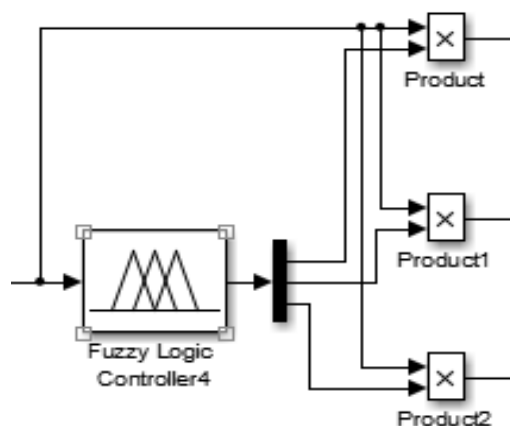


Рисунок 2.16 – Модель интеллектуального переключающего устройства с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани

НЛР, представленный на рисунке 2.17, анализирует сигнал ошибки, и имеет на своем входе одну лингвистическую переменную $input1$, а выход регулятора формализуется тремя информационными выходами $output1$, $output2$, $output3$. Функционирование данного регулятора осуществляется с применением нечеткого алгоритма вывода Сугено.

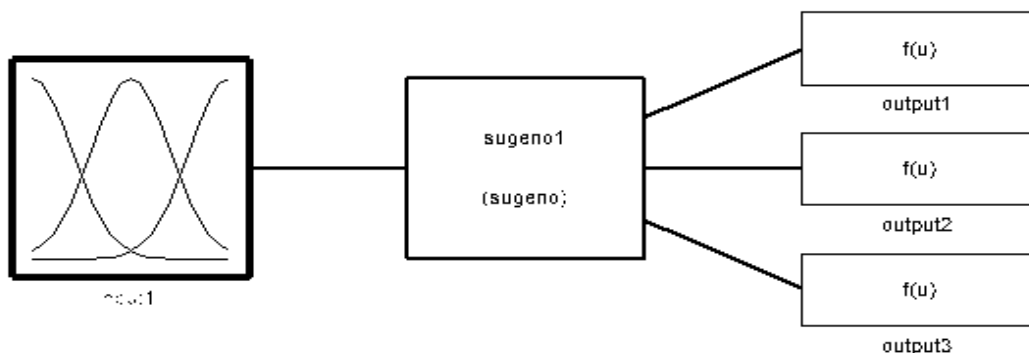


Рисунок 2.17 – Функциональная схема НЛР с механизмом вывода Сугено

Лингвистическая переменная $input1$ формализует понятия входного сигнала НЛР – сигнал ошибки по положению. Область определения представляет собой диапазон $[0; 10.4]$. Базовое терм-множество X лингвистической переменной состоит из следующих элементов: $X = \{Z, P, BP\}$, где Z – нулевое значение; P – положительное значение; BP – наибольшее положительное значение (названия нечетких терм лингвистической переменной $input1$). В области определения базового терм-множества лингвистической

переменной распределены три аппроксимированные функций принадлежности нечетких переменных в виде трапеций (рисунок 2.18).

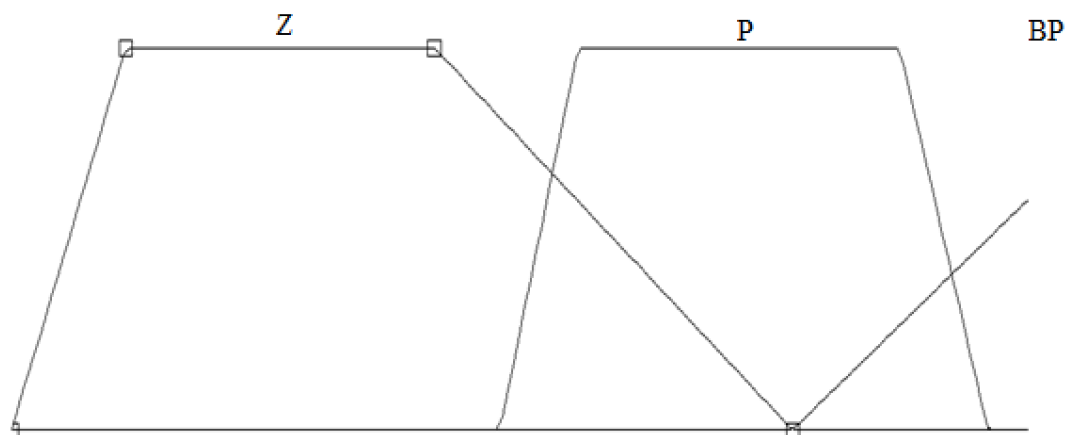


Рисунок 2.18 – Распределение нечетких термов лингвистической переменной «ошибка по положению»

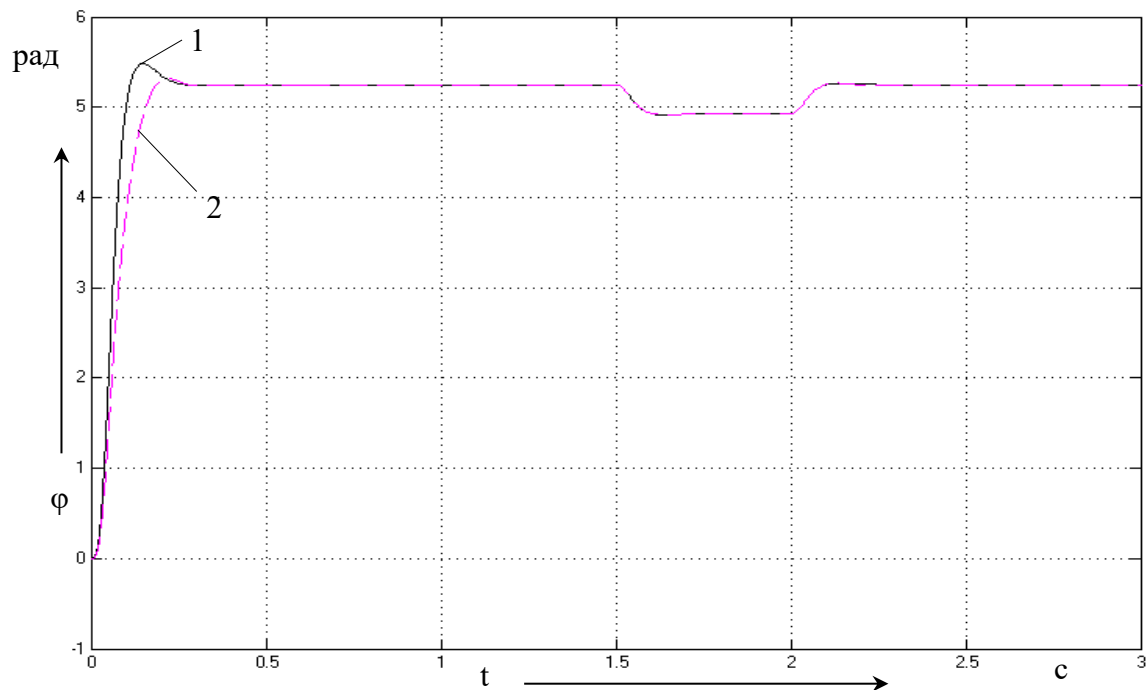
Лингвистические переменные $output1$, $output2$ и $output3$ формализуют понятие выходного сигнала НЛР. Диапазон регулирования представляет собой область $[0;1]$. Базовое терм-множество X лингвистических переменных состоит из двух элементов: $X = \{Z, O\}$, где Z – постоянная величина, равная нулю; O – постоянная величина, равная единице.

Нечеткая продукционная база знаний НЛР представляет собой перечень из трёх правил и имеет следующий вид:

1. If (input1 is «Z») then (output1 = 0), (output2 = 1), (output3 = 0);
2. If (input1 is «P») then (output1 = 1), (output2 = 0), (output3 = 0);
3. If (input1 is «BP») then (output1 = 0), (output2 = 0), (output3 = 1).

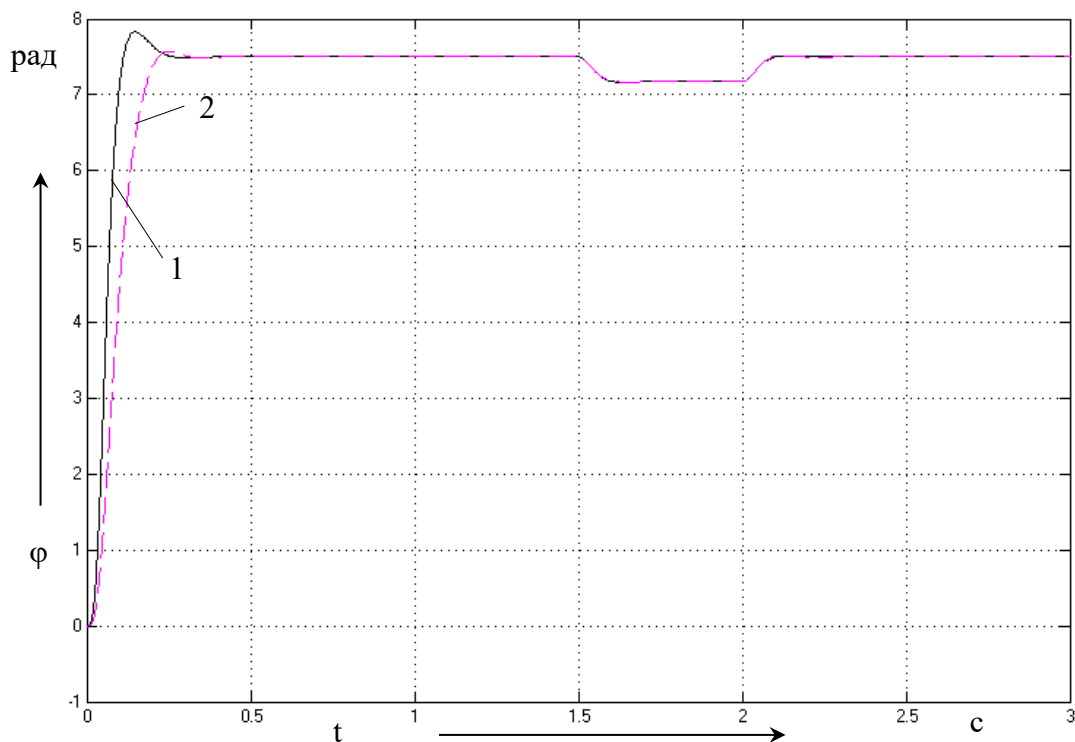
Внутренний каскад МНЛР состоит из набора нечетких модулей с единственными входной и выходной лингвистическими переменными, отличающихся друг от друга областью определения в блоках фаззификации и дефаззификации. В представленном случае синтез внутреннего каскада МНЛР зависит от вариации задающего сигнала в интервале $[-30\%; 30\%]$ от исходной величины, а также области определения входных и выходных лингвистических переменных, в результате чего формируется набор из трех простейших НЛР. В

результате моделирования МНСУ были получены графики переходных процессов системы, приведенные на рисунках 2.19 - 2.21.



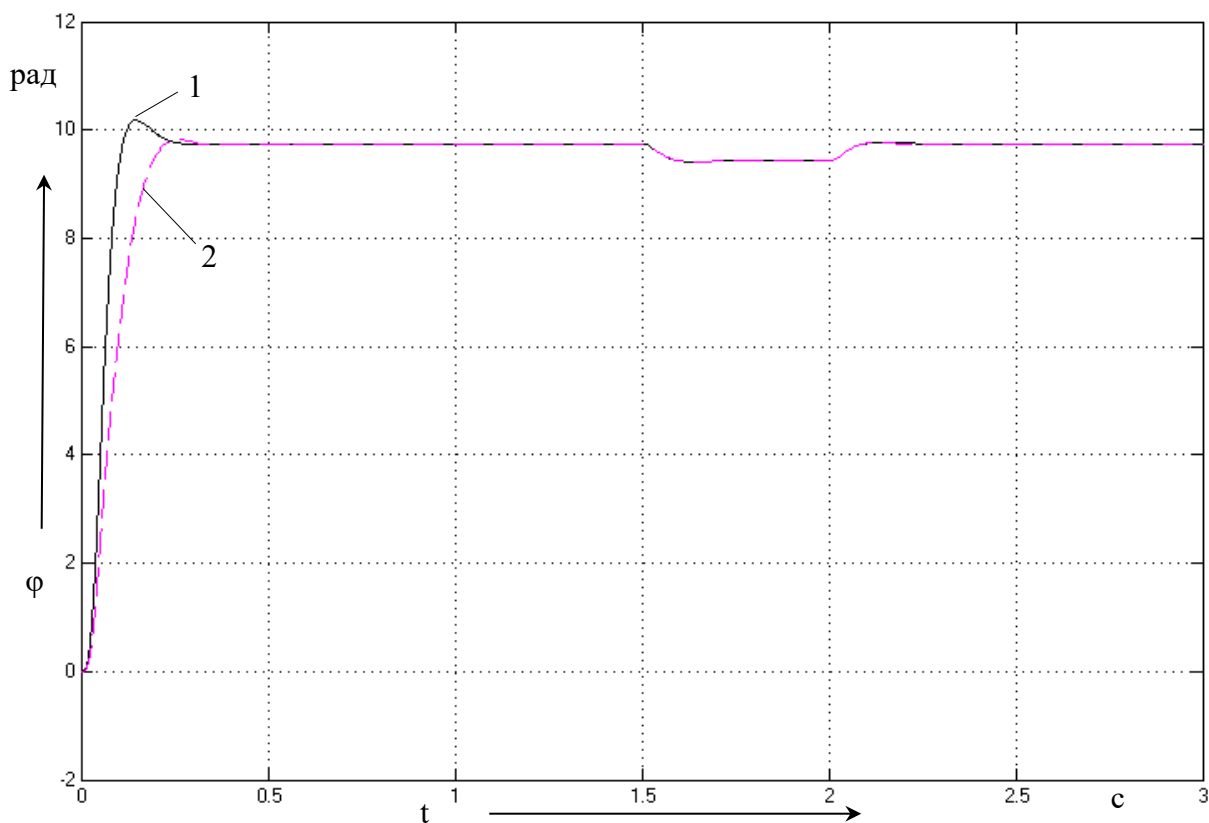
1 – система с классическим регулятором, 2 – система с НЛР

Рисунок 2.19 – Переходные характеристики классической и интеллектуальной системы автоматического регулирования при подаче уменьшенного управляющего сигнала на 30% от исходного значения



1 – система с классическим регулятором, 2 – система с НЛР

Рисунок 2.21 – Переходные характеристики классической и интеллектуальной системы автоматического регулирования при подаче управляющего сигнала



1 – система с классическим регулятором, 2 – система с НЛР

Рисунок 2.21 – Переходные характеристики классической и интеллектуальной системы автоматического регулирования при подаче увеличенного управляющего сигнала на 30% от исходного значения

2.5 Синтез двухкаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом постоянного тока с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани

Используя выше описанное структурное решение, была получена модель интеллектуальной системы управления с МНЛР (рисунок 2.22) [15].

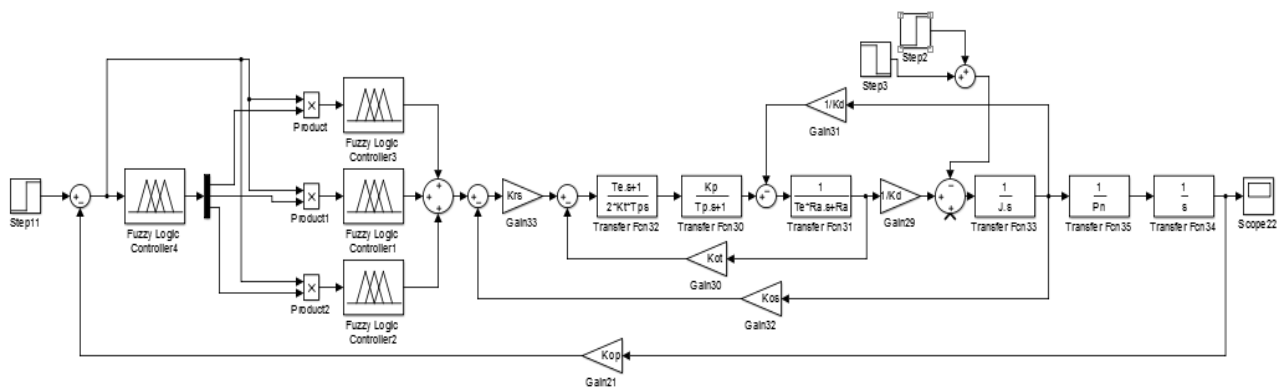


Рисунок 2.22 – Имитационная модель нечеткой системы автоматического регулирования

Функциональная схема МНЛР с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани для системы управления электроприводом постоянного тока представлена на рисунке 2.23.

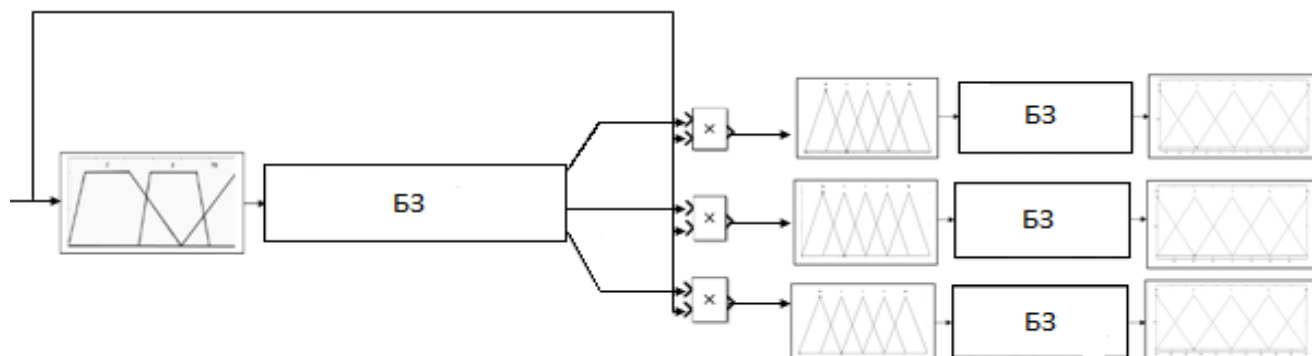


Рисунок 2.23 – Функциональная схема двухкаскадного интеллектуального модуля

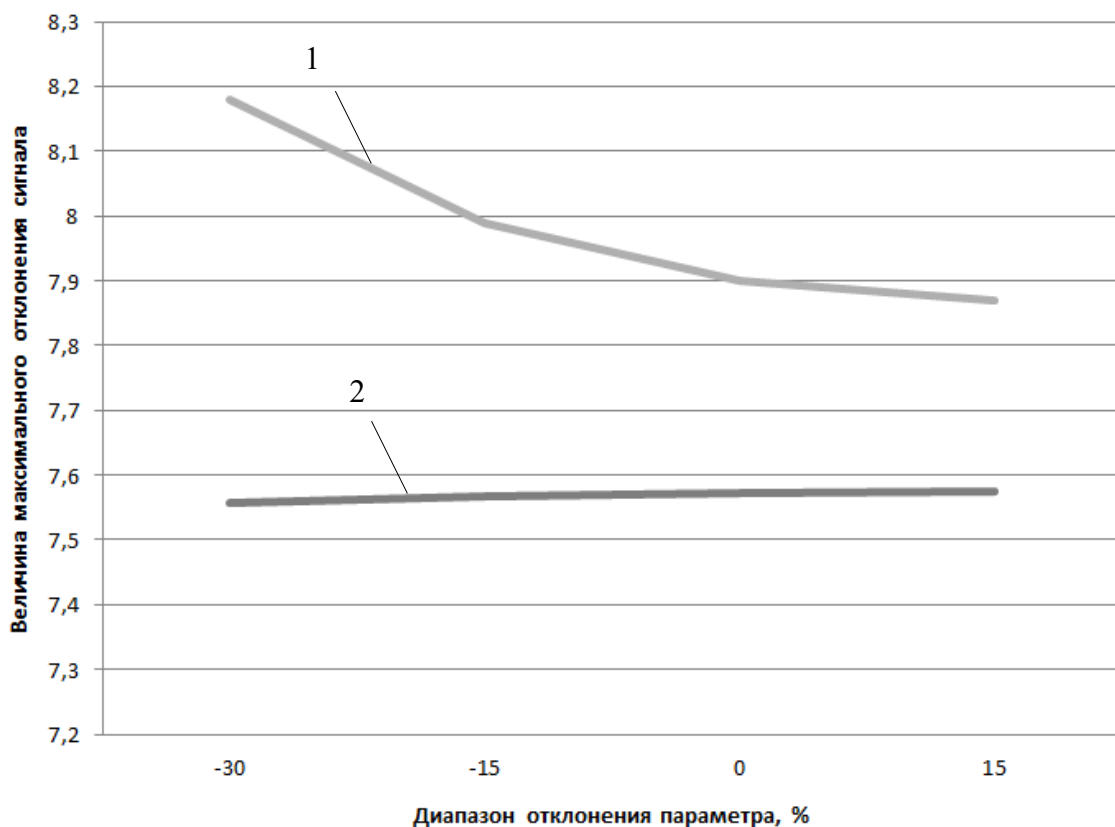
Анализ эффективности работы МНСУ осуществлялся по оценке реакции системы на нестационарность параметров тиристорного преобразователя при изменении его коэффициентов в диапазоне от -30% до 15% от номинального значения. Вариация коэффициента усиления тиристорного преобразователя приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя в МНСУ с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани

Диапазон изменения параметра, %	-30	-15	0	+15
Значение K_p	23,625	28,6875	33,75	38,8125
Значение h_{max} классической системы	8,189	7,996	7,913	7,879
Значение h_{max} системы с МНЛР	7,558	7,566	7,571	7,574

Для оценки отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в заданном диапазоне была построена диаграмма, приведенная на рисунке 2.4, анализ которой позволяет сделать вывод, что МНСУ с сочетанием алгоритмов Сугено-Мамдани

остаётся не восприимчивой к изменению внутренних параметров.



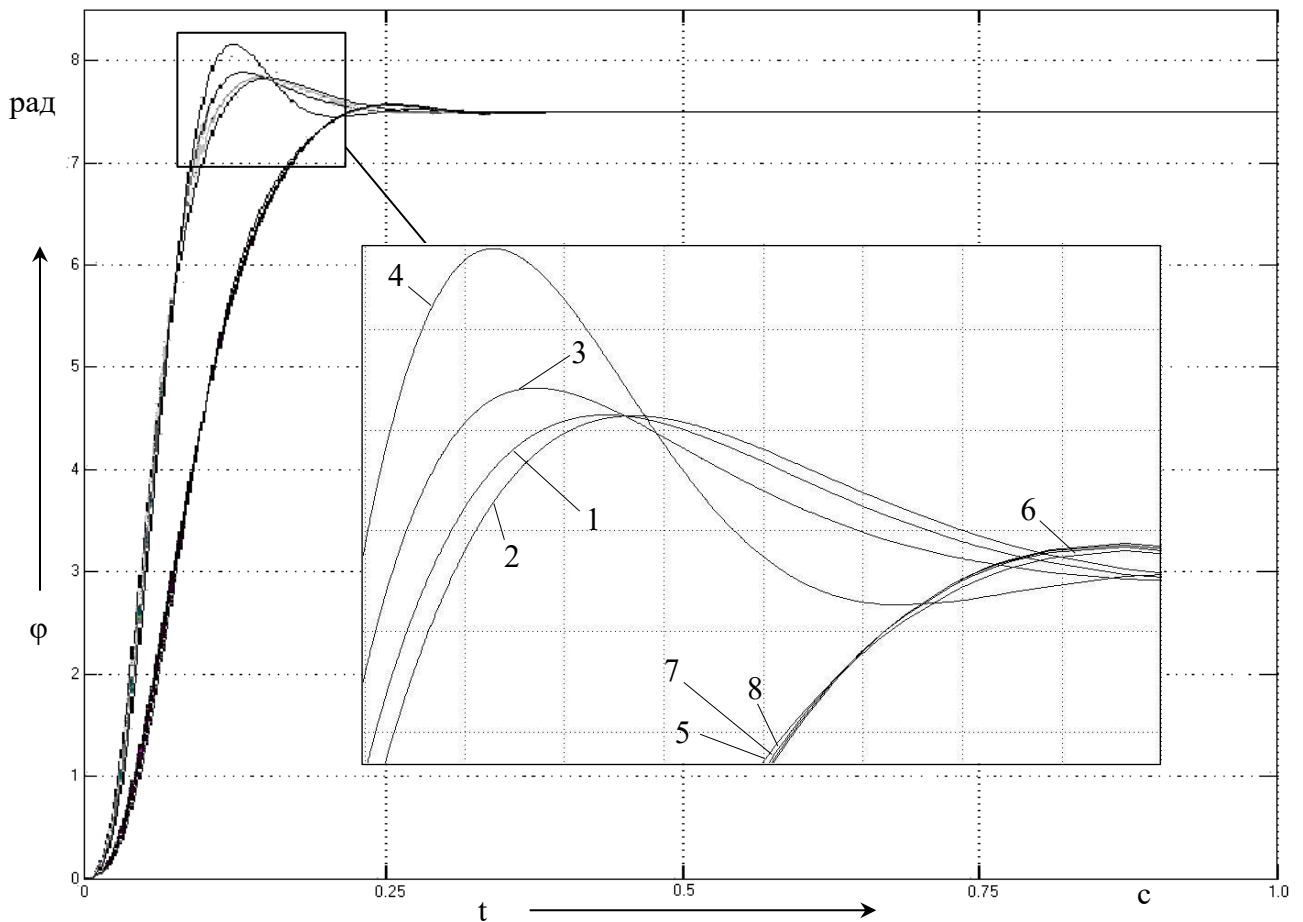
1 – система с классическим регулятором,

2 – МНСУ с сочетанием алгоритмов Сугено-Мамдани

Рисунок 2.4 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в широком диапазоне значений

В результате моделирования были получены переходные характеристики, анализ которых позволяет сделать вывод, что МНСУ проявляет робастные свойства по отношению к внутренним возмущениям, связанным с нестационарностью параметров объекта регулирования (рисунок 2.5).

Необходимо отметить, что выбор предложенного сочетания алгоритмов нечеткого логического вывода обусловлен, прежде всего, простотой настройки блоков дефаззификации и упрощением базы правил, а, следовательно, и существенным сокращением вычислительных затрат, кроме того предлагаемый подход обеспечивает более гибкую настройку системы [115, 116].



1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – классическая система -30%; 5 – МНСУ; 6 – МНСУ +15%; 7 – МНСУ -15%; 8 – МНСУ -30%

Рисунок 2. 5 – Семейство переходных характеристик, отражающих влияние изменения параметра K_p в диапазоне от -30% до 15% объекта управления

2.6 Синтез многокаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани

Дальнейший ход исследования предложенного подхода сводился к замене алгоритма нечеткого логического вывода во внешнем переключающем модуле. Кроме того была осуществлена структурная трансформация интеллектуального блока, в ходе которой были убраны элементы, реализующие функцию перемножения сигналов (рисунок 2.6). Применение этих блоков было обусловлено особенностями формирования выходного сигнала механизма вывода Сугено в форме константы, что повлекло за собой необходимость

внедрения составляющей ошибки во вложенный каскад интеллектуальной системы управления электроприводом.

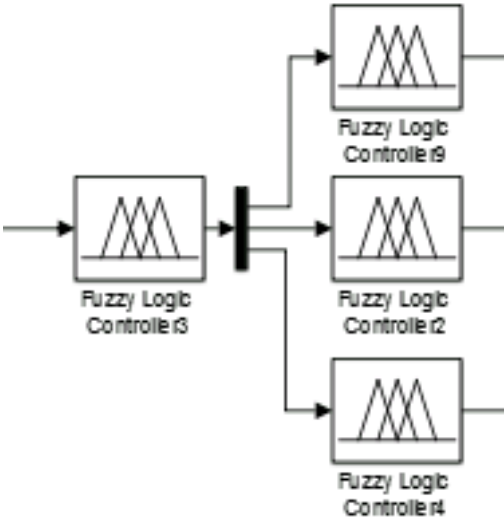


Рисунок 2.6 – Имитационная модель МНЛР с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

Настройка интеллектуального переключающего устройства, состоящего из одного НЛР с механизмом вывода Мамдани, была выполнена аналогичным образом, как и для регулятора с алгоритмом вывода Сугено. НЛР, представленный на рисунке 2.7, анализирует сигнал ошибки, и имеет на своем входе одну лингвистическую переменную *input1*, а выход регулятора формализуется тремя информационными выходными воздействиями *output1*, *output2*, *output3*. Функционирование данного регулятора осуществляется с применением нечеткого алгоритма вывода Мамдани [119].

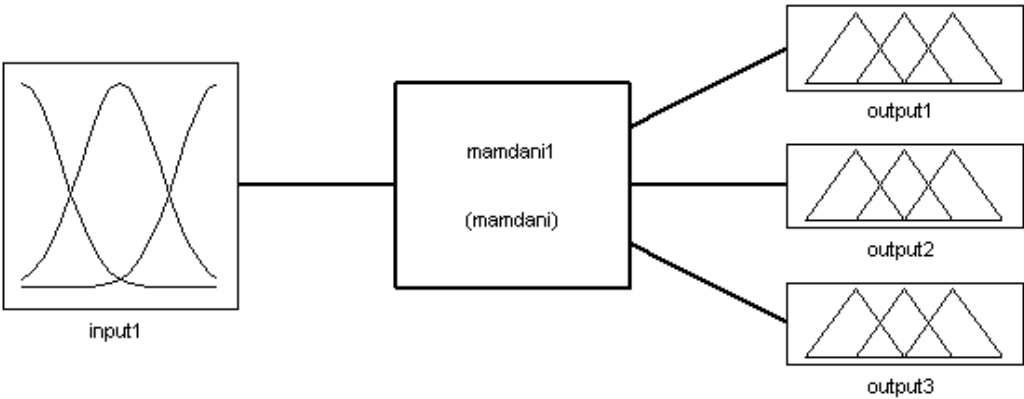


Рисунок 2.7 – Функциональная схема НЛР с механизмом вывода Мамдани

Формализация понятия входного сигнала (сигнал ошибки по положению) осуществляется лингвистической переменной $input1$. Диапазон распределения функций принадлежности лингвистической переменной $input1$ отличается от диапазона аналогичной входной переменной НЛР с алгоритмом вывода Сугено и представляет собой область $[0; 14.2]$, в которой распределены три трапецевидные функции принадлежности (рисунок 2.8). Базовое термножество X лингвистической переменной сформировано тремя нечеткими переменными и имеет следующий вид: $X = \{Z, P, BP\}$, где Z – нулевое значение; P – положительное значение; BP – наибольшее положительное значение.

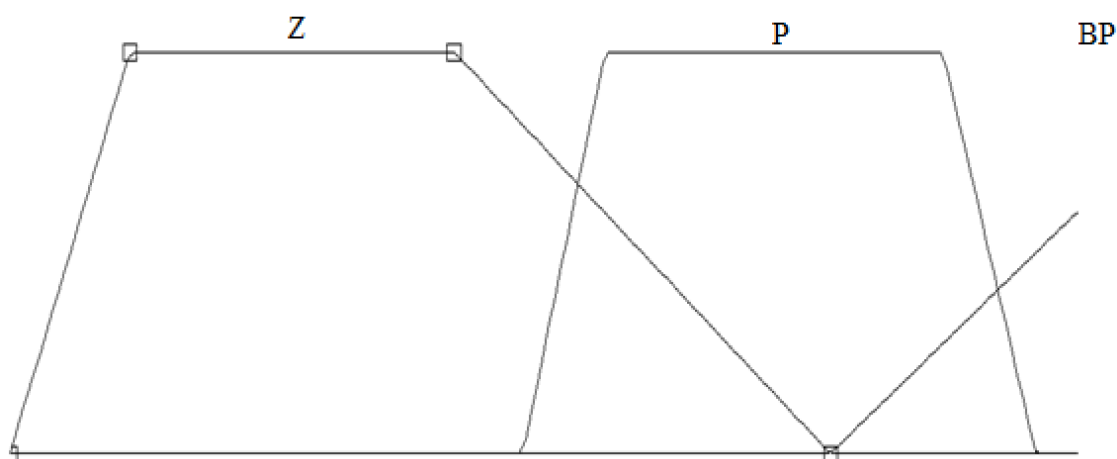


Рисунок 2.8 – Распределение нечетких термов лингвистической переменной «ошибка по положению»

Лингвистические переменные выходного сигнала $output1$, $output2$ и $output3$ формируют выходной сигнал нечеткого модуля. Область действия варьируется в диапазонах $[-5.6 \ 5.6]$, $[-8 \ 8]$ и $[-10.4 \ 10.4]$ для каждого выходного информационного воздействия соответственно. В области определения базового термножества $X = \{BN, N, Z, P, BP\}$ лингвистической переменной распределены равномерно пять функций принадлежности нечетких переменных треугольного вида (BN – наибольшее отрицательное значение; N – отрицательное значение; Z – нулевое значение; P – положительное значение; BP – наибольшее положительное значение). Продукционная база знаний НЛР представлена перечнем из трех правил и имеет следующий вид:

1. If (input1 is «Z») then (output1 is «N»), (output2 is «Z»), (output3 is «N»);
2. If (input1 is «P») then (output1 is «P»), (output2 is «BP»), (output3 is «BP»);
3. If (input1 is «BP») then (output1 is «Z»), (output2 is «Z»), (output3 is «BP»).

Вложенный каскад МНЛР для системы управления электроприводом постоянного тока остается прежним и представляет собой набор из трех простейших НЛР с алгоритмом вывода Мамдани с разными диапазонами регулирования.

На основании методики, реализованной при построении МНСУ с комбинацией алгоритмов выводов Сугено-Мамдани, был осуществлен анализ системы при изменении механизма нечеткого вывода в регуляторе внешнего каскада (рисунок 2.9). Структурно МНЛР представлен в виде каскада, состоящего из двух интеллектуальных модулей с набором простейших НЛР, реализация которых осуществляется с применением механизмов вывода Мамдани (рисунок 2.10).

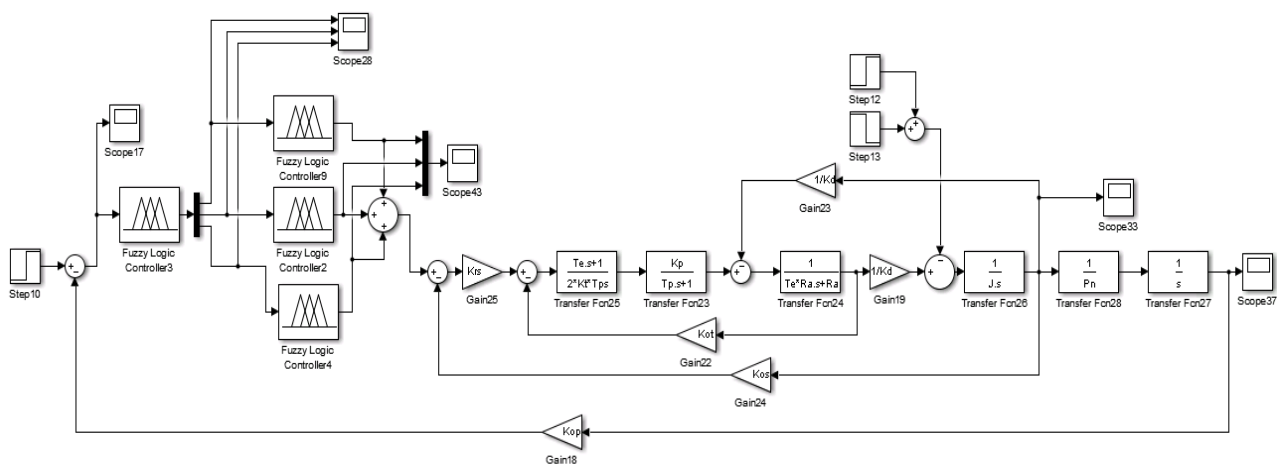


Рисунок 2.9 – Имитационная модель МНСУ с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

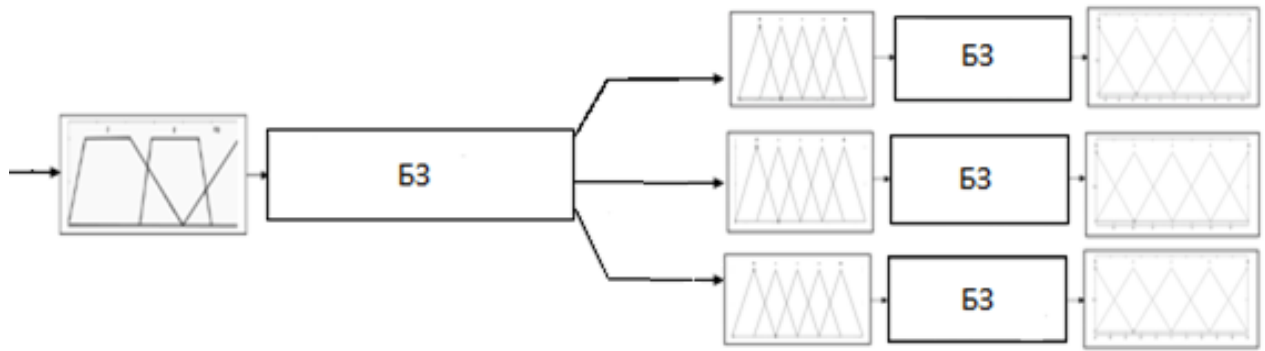
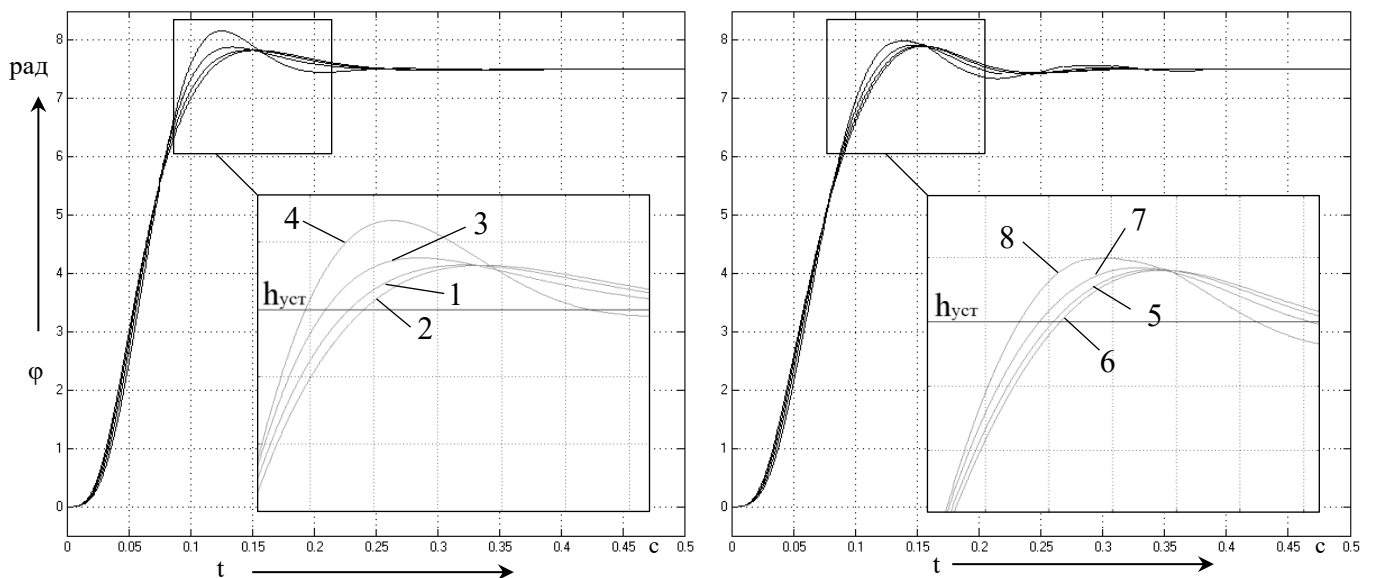


Рисунок 2.10 – Функциональная схема МНЛР с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

Путем изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя в заданном диапазоне (таблица 2.4) осуществлялась оценка работоспособности МНСУ с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани. Результаты реакции классической модели и МНСУ на отработку задающих сигналов приведены на рисунке 2.11.



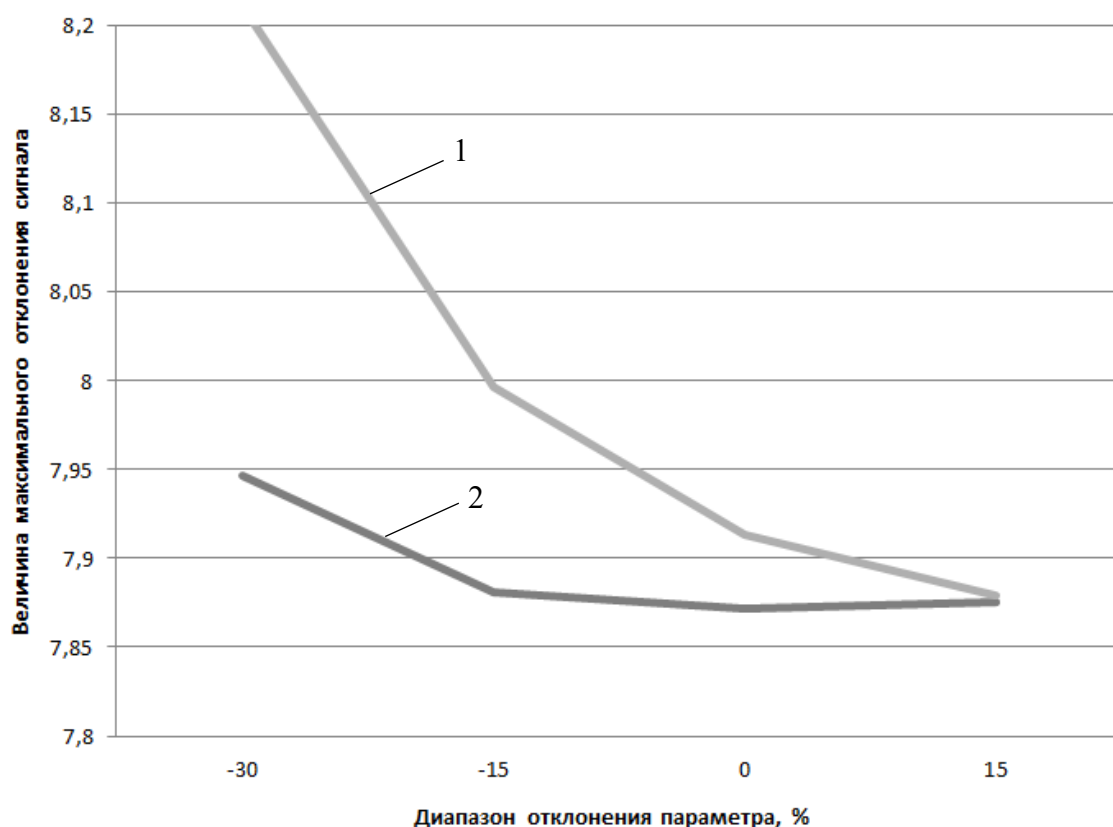
1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – классическая система -30%; 5 – МНСУ; 6 – МНСУ +15%; 7 – МНСУ -15%; 8 – МНСУ -30%

Рисунок 2.11 – График переходного процесса МНСУ электроприводом постоянного тока с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

Таблица 2.4 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя в МНСУ с сочетанием механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

Диапазон изменения параметра, %	-30	-15	0	+15
Значение K_p	23,625	28,6875	33,75	38,8125
Значение h_{\max} классической системы	8,189	7,996	7,913	7,879
Значение h_{\max} системы с МНЛР	7,946	7,881	7,876	7,875

Анализ семейства кривых, представленных на рисунке 2.11, позволяет проверить возможности системы к адаптации при условии нестационарности внутренних параметров. Интегральные характеристики, отражающие изменения коэффициентов усиления тиристорного преобразователя (таблица 2.4), показаны на диаграмме (рисунок 2.12).



1 – система с классическим регулятором,

2 – МНСУ с сочетанием алгоритмов Мамдани-Мамдани

Рисунок 2.12 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя в широком диапазоне значений

Представленные вариации сигналов не ограничивают возможности регулятора, он остаётся восприимчивым к изменениям внешних факторов вплоть до установленных крайних точек диапазонов регулирования. Предложенная методика реализации нечетких систем позволяет существенно повысить универсальность интеллектуального регулятора, расширить его адаптивные свойства и значительно упростить процессы настройки и перенастройки, а также сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность таких регуляторов при их реализации в виде единого модуля.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что регуляторы, построенные с использованием классических методов, не обладают необходимой гибкостью, особенно при внедрении в систему недетерминированных возмущающих воздействий. Главным достоинством интеллектуальной системы управления является ее гибкость и робастность к целому ряду как внешних, так и внутренних воздействий. Вместе с тем, робастные свойства нечеткого регулятора ограничены некоторым пределом изменения параметров нестационарного объекта, что влечет за собой необходимость более точной настройки МНСУ при такой вариации внутренних коэффициентов объекта регулирования.

Настройка МНСУ с комбинацией алгоритмов нечеткого вывода Сугено-Сугено выполняется аналогичным образом. Основными проблемами при реализации модели являются настройка блока дефаззификации и изменение консеквентов правил на постоянные величины для внешнего и вложенного каскадов.

2.7 Исследование влияния элементов каскада на формирование итогового закона управления

Итоговый закон управления, реализуемый на выходе МНЛР, представляет собой набор составляющих, которые формируются каждым элементом вложенного каскада. Первый каскад МНЛР производит экспертную оценку регулятора, в то время как второй каскад непосредственно генерирует

управляющее воздействие на объект регулирования в зависимости от условий, создаваемых на входе системы управления. Проанализируем поведение системы при подаче сложного сигнала с различными уровнями порогового значения (рисунок 2.13).

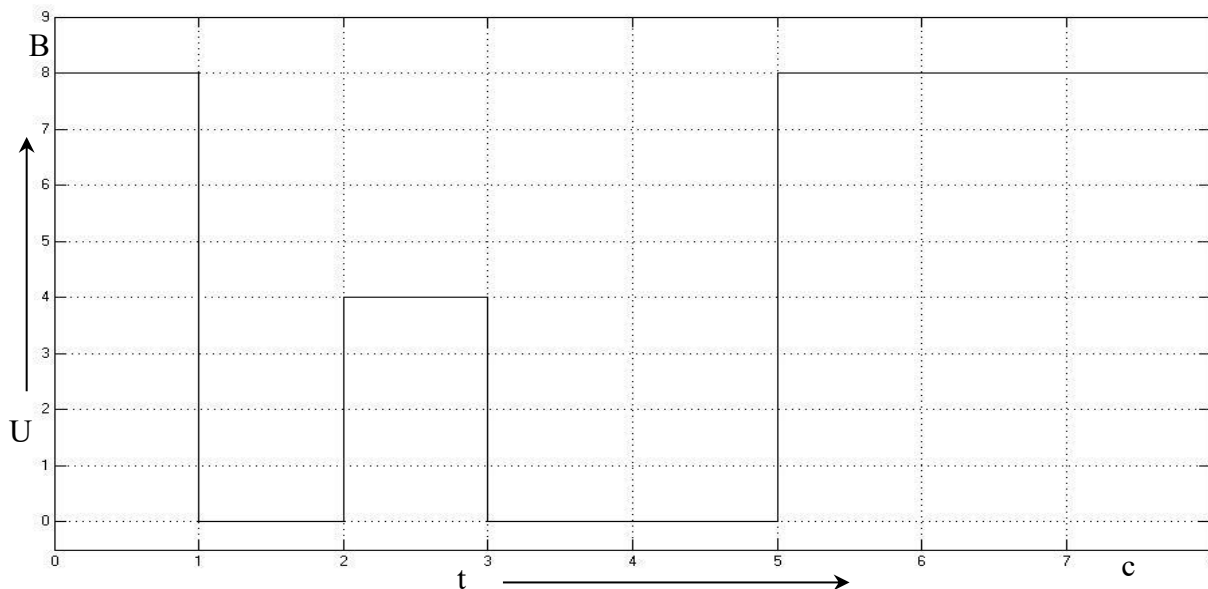
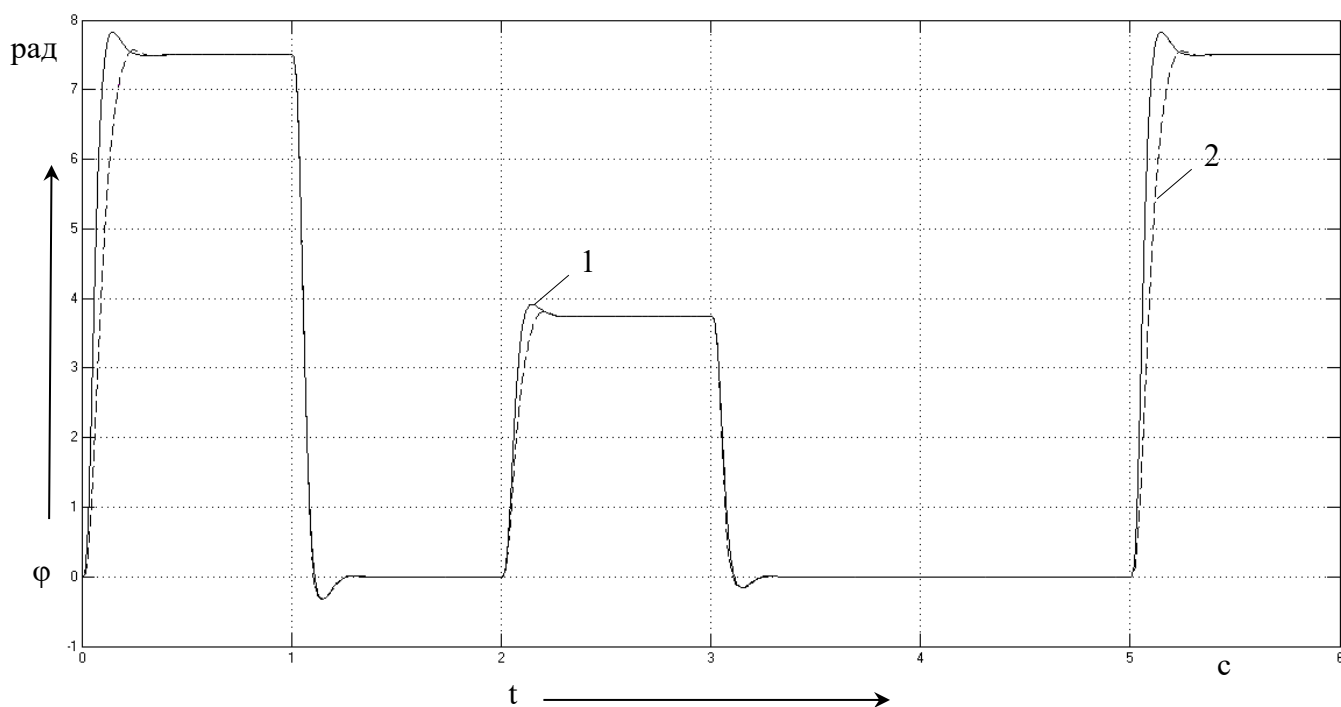
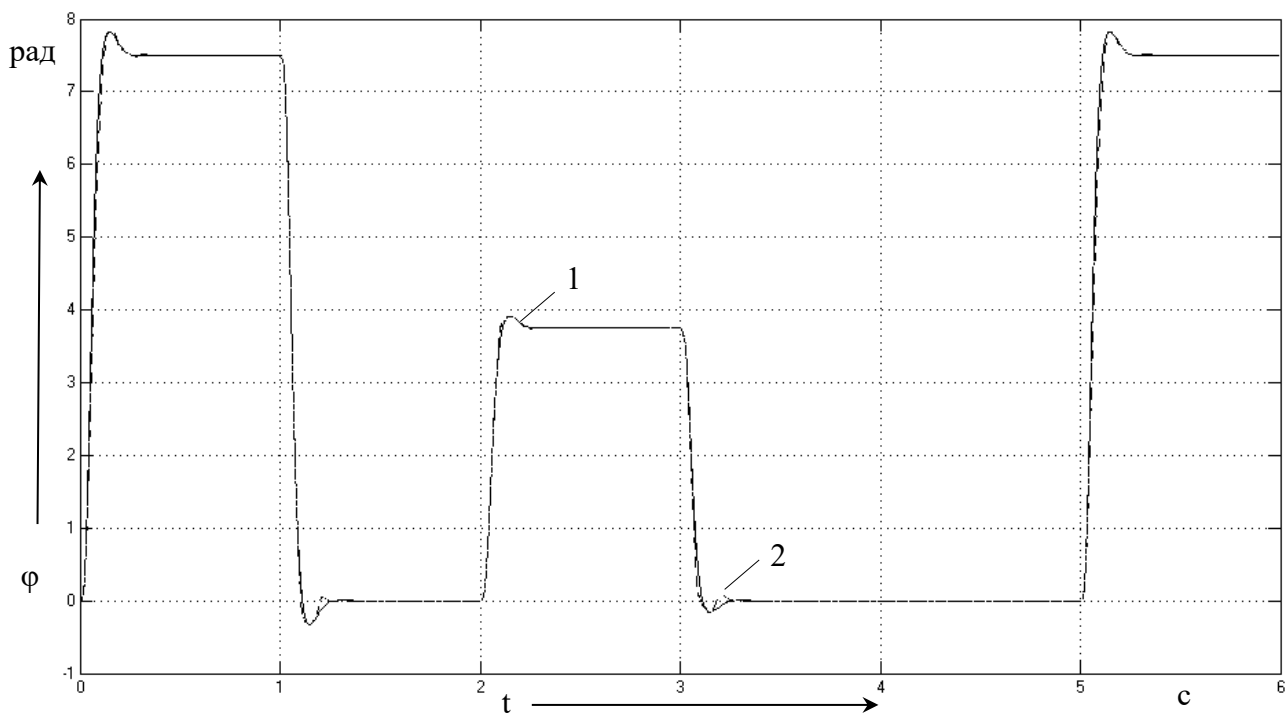


Рисунок 2.13 – Форма задающего сигнала системы



1 - классическая система регулирования, 2 – интеллектуальная система регулирования

Рисунок 2.14 – Динамические характеристики классической и интеллектуальной двухкаскадной системы регулирования с комбинацией механизмов выводов Сугено-Мамдани при подаче разноуровневого ступенчатого задающего сигнала



1 – классическая система регулирования, 2 – интеллектуальная система регулирования

Рисунок 2.15 – Динамические характеристики классической и интеллектуальной двухкаскадной системы регулирования с комбинацией механизмов выводов Мамдани при подаче разноуровневого ступенчатого задающего сигнала

В результате синтеза классической системы и МНСУ электроприводом постоянного тока были получены выходные характеристики, описывающие поведение системы при подаче разноуровневого ступенчатого задающего воздействия: на рисунке 2.14 МНЛР, функционирующего на основе сочетания механизмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамадни, а на рисунке 2.15 МНЛР, функционирующего на основе сочетания механизмов нечеткого логического вывода Мамадни-Мамдани.

Сравнительный анализ переходных характеристик интеллектуальной системы управления электроприводом постоянного тока с различными комбинациями механизмов нечетких выводов в МНЛР позволяет оценить основные показатели качества регулирования. Система управления с МНЛР с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамадни обладает минимальным отклонением от заданного уровня по сравнению с интеллектуальной системой, функционирующей на базе двухкаскадного регулятора с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Мамадни-Мамадни. Кроме того

интеллектуальная система с алгоритмом вывода Сугено во внешнем каскаде обладает лучшими показателями по быстродействию относительно МНСУ с сочетанием алгоритмов вывода Мамадни-Мамдани.

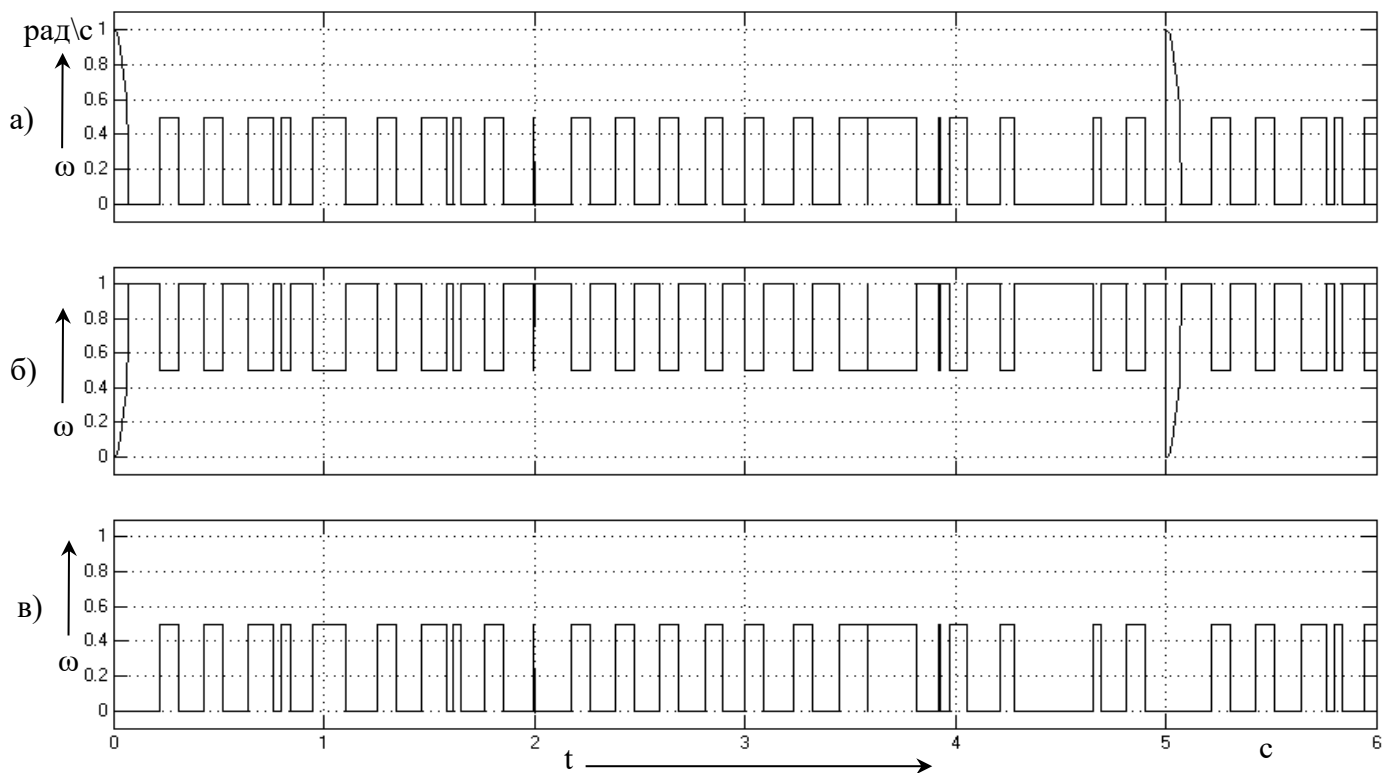
На рисунках 2.16 и 2.17 для наглядности отображено функционирование МНЛР по каждому каналу, формируемому элементами внутреннего каскада.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 2.16 – Переходные характеристики, формирующие итоговый закон управления для МНСУ с комбинацией алгоритмов выводов Сугено-Мамдани

В ходе анализа динамических характеристик, полученных на выходе МНЛР с комбинацией алгоритмой нечетких логических выводов Сугено-Мамдани (рисунок 2.16), было отмечено, что ключевую роль в формировании управляющего воздействия на объект регулирования осуществляет нечеткий регулятор («mam1»), расположенный в среднем канале МНЛР, в то время как верхний («mam2») и нижний («mam3») НЛР выполняют функцию поддержания заданного уровня выходной характеристики и плавного переключения между различными уровнями ступенчатого сигнала.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 2.17 – Переходные характеристики, формирующие итоговый закон управления для МНСУ с комбинацией алгоритмов выводов Мамдани-Мамдани

При настройке интеллектуальной системы автоматического управления с комбинацией алгоритмов выводов Мамдани-Мамдани наблюдается несколько иная реакция на существенные изменения входного сигнала. В моменты времени 1с, 2с, 3с, 5с (рисунок 2.13) происходит резкое изменение частоты сигналов в каналах управления. Анализируя динамические характеристики, приведенные на рисунке 2.17 (б), можно отметить, что главную функцию при формировании общего закона регулирования осуществляет элементарный нечеткий модуль «mam1», т.к. амплитуда этого сигнала является максимальной, а остальные регуляторы (рисунок 2.17 (а), (в)) включаются в отдельные моменты времени для коррекции переходного процесса [51].

Сравнительный анализ динамических характеристик МНСУ, построенных с различным сочетанием нечетких выводов, показал, что на формирование итогового закона регулирования оказывает влияние либо изменение амплитуды, либо повышение частоты на выходе одного из модулей. В МНЛР с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани управляющее

воздействие формируется за счет изменения амплитуды сигнала. В свою очередь при комбинации алгоритмов выводов Мамдани-Мамдани наибольшее влияние на итоговый закон управления оказало изменение частоты в одном из каналов развитой нечеткой системы.

Выводы по второй главе

1. Проведен анализ классических подходов по решению задач управления с использованием теории мягких вычислений (теории нечетких множеств) на примере электропривода постоянного тока. Выявлены достоинства и недостатки использования стандартных моделей нечетких систем.

2. Предложен подход построения многокаскадного нечеткого логического регулятора, обеспечивающий улучшение основных показателей качества управления технологическим процессом.

3. Разработаны математическое описание и алгоритм функционирования многокаскадного нечеткого логического регулятора

4. На основании полученных в результате моделирования динамических характеристик проведен анализ эффективности работы многокаскадной нечеткой системы управления путем оценки реакции системы на нестационарность параметров тиристорного преобразователя при изменении его коэффициентов в широком диапазоне и при подаче сложного сигнала с различными уровнями порогового значения.

5. Проведенный анализ позволил сформулировать требования к настройке многокаскадных нечетких логических регуляторов:

- формирование требований к законам управления с учетом особенностей функционирования объектов регулирования;
- определение количества информационных входов и формы сигналов на них;
- выбор сочетания механизмов выводов и, как следствие, структурных решений;
- определение количества вложенных модулей и алгоритмов нечетких выводов в них;
- определение направлений (алгоритмов) возможного расширения МНЛР с учетом состояния и режимов работы объекта регулирования.

3 Моделирование многокаскадной нечеткой системы автоматического регулирования электроприводом переменного тока

В настоящее время к сложным системам управления предъявляются требования, отличные от классического и математического подхода. К ним же применяются свойства, которые определяются динамичностью системы управления, отсутствием формализуемой цели существования объекта, отсутствием желаемых характеристик и оптимальности, неполнотой информации об объекте управления. Поэтому возникает проблема с идентификацией и математическим описанием таких систем [52-53]. Нечеткое управление находит свое применение там, где традиционные методы малоэффективны или вовсе неприемлемы из-за отсутствия полного и точного знания об объекте регулирования.

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 переменного тока. НЛР 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 НЛР. К ограничивающим факторам можно отнести количество лингвистических переменных в блоках фаззификации и дефаззификации, объем продукционной базы правил, а также сложность при выборе механизма вывода и формы функций принадлежности. Кроме того, в случае выбора электропривода переменного тока в качестве объекта управления добавляется ряд дополнительных проблем, связанных с существенным количеством контуров регулирования, в том числе взаимосвязанных, а также существенный прядок объекта регулирования при его математическом описании.

Одним из возможных подходов к решению обозначенного выше перечня проблем является построение интеллектуальной системы управления с использованием МНЛР. При реализации общепринятых процедур управления, основанных на теории мягких вычислений, возникают сложности с реализацией адаптивных свойств таких систем. Сочетание различных алгоритмов нечеткого логического вывода позволяет решать задачи интеллектуального управления для многокритериальных и многофакторных задач. При этом различное сочетание таких нечетких выводов усиливает некоторые свойства систем автоматического регулирования, например, робастность, многозадачность, совокупное управление в областях больших и малых сигналов и т.д. Реализация МНСУ базируется на использовании математической модели системы управления частотно-регулируемым электрическим приводом переменного тока (рисунок 3.1), широко освещенного в технической литературе [20].

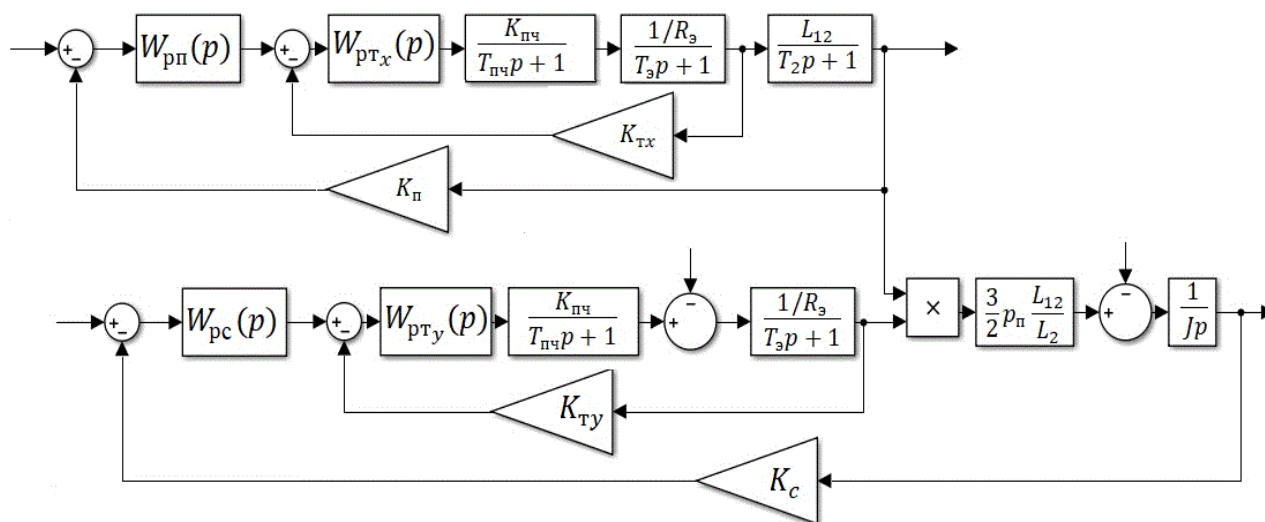


Рисунок 3.1 - Структурная схема системы электрического привода переменного тока

На рисунке 3.2 приведены результаты реакции системы управления электроприводом переменного тока ступенчатое воздействие.

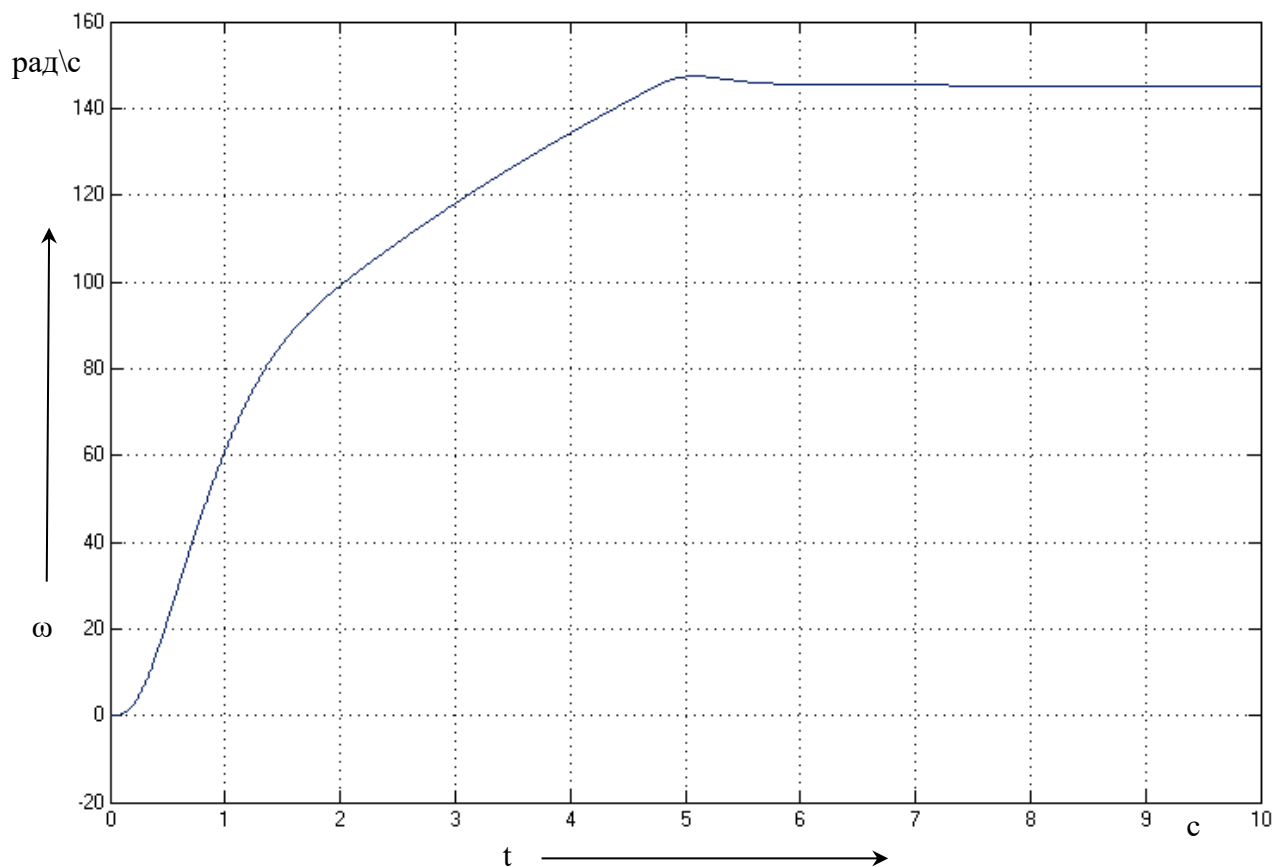


Рисунок 3.2 – График переходного процесса системы управления электроприводом переменного тока

Классическая структура векторного управления содержит большое количество нелинейностей и подблоков произведения, а также нелинейностей, связанных с ограничением текущих параметров, кроме того, сама структура также является сугубо нелинейной. Поэтому реализация НЛР с использованием традиционного подхода будет сопровождаться рядом проблем при настройке базы правил, выборе количества и вида функций принадлежности, а также числа информационных входов. Путем замены классического регулятора в контуре скорости на МНЛР с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани был осуществлен синтез схемы управления электроприводом переменного тока (рисунок 3.3) [54-61, 102, 105, 110].

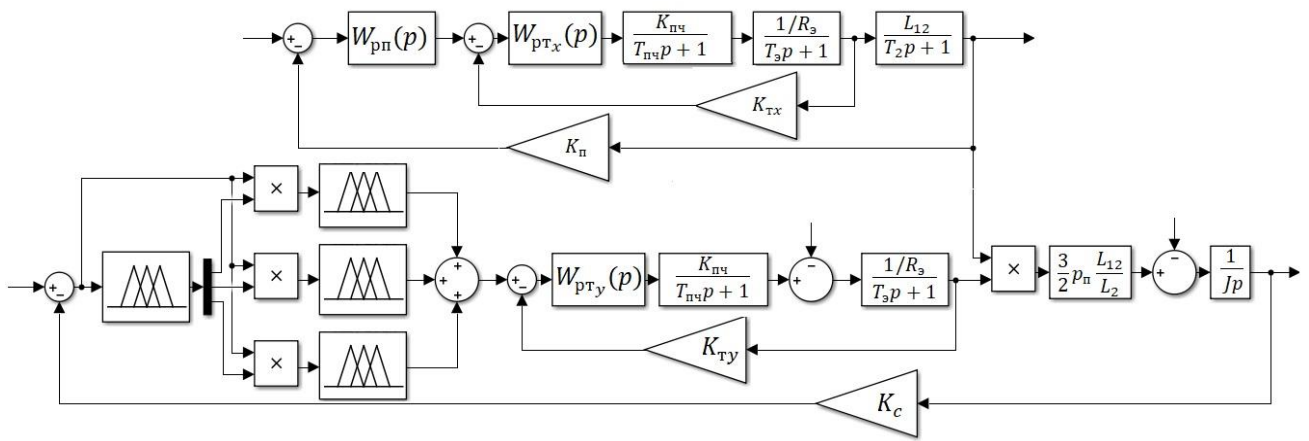


Рисунок 3.3 – Имитационная модель системы управления с МНЛР с алгоритмом вывода Сугено-Мамдани

На базе математической модели системы управления, представленной на рисунке 3.3, производится моделирование классической системы управления электроприводом переменного тока (рисунок 3.4) и интеллектуальной системы с использованием нечеткого подхода (рисунок 3.5) [114]. В основу интеллектуальной системы управления заложен МНЛР, построенный на базе предложенной методики. Основным отличием при настройке НЛР системы электропривода переменного тока от регулятора системы электропривода постоянного является изменение диапазона распределения функций принадлежности в блоке фаззификации, что будет влиять на точность системы, при этом не усложняется реализация алгоритмов управления.

Используя методику многокаскадного нечеткого управления, представленную в пунктах 2.5 - 2.6, произведем настройку интеллектуальной системы для представленного объекта регулирования.

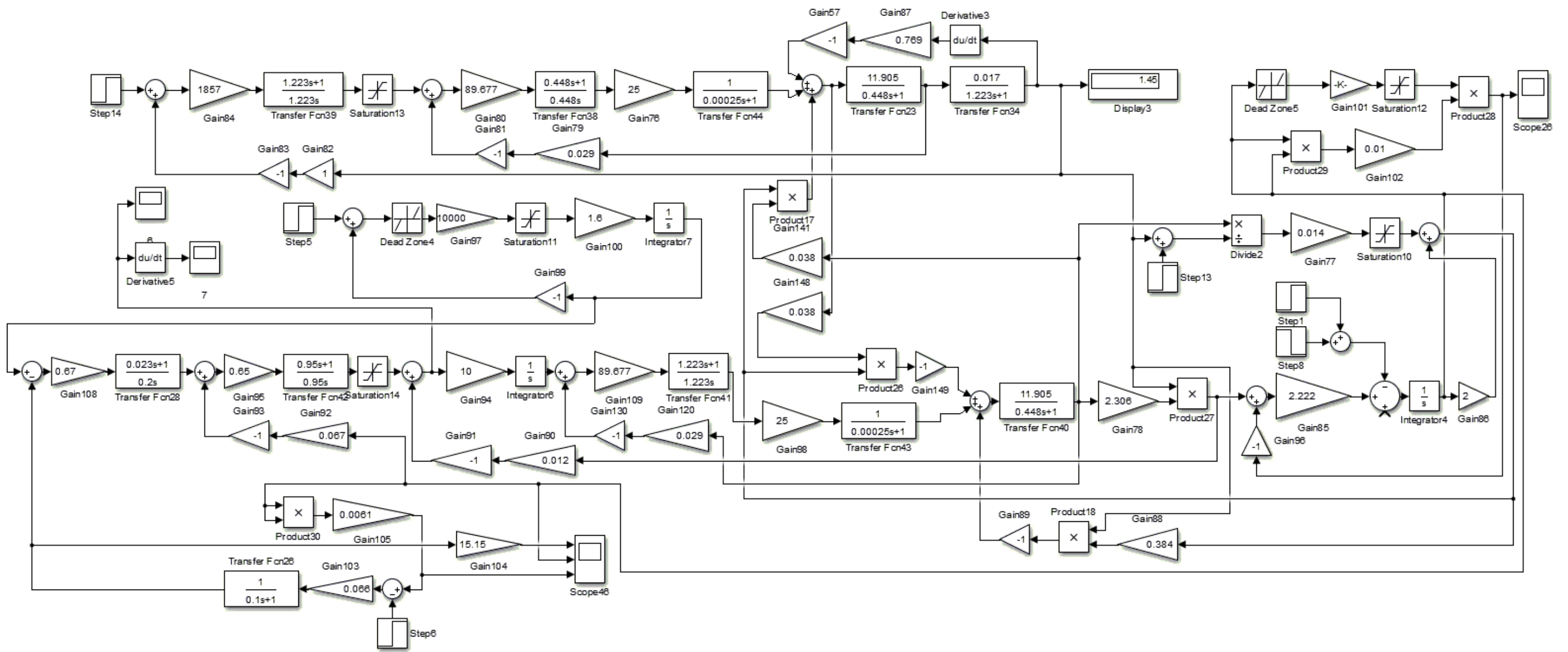


Рисунок 3.4 – Модель электропривода переменного тока с классическим регулятором положения

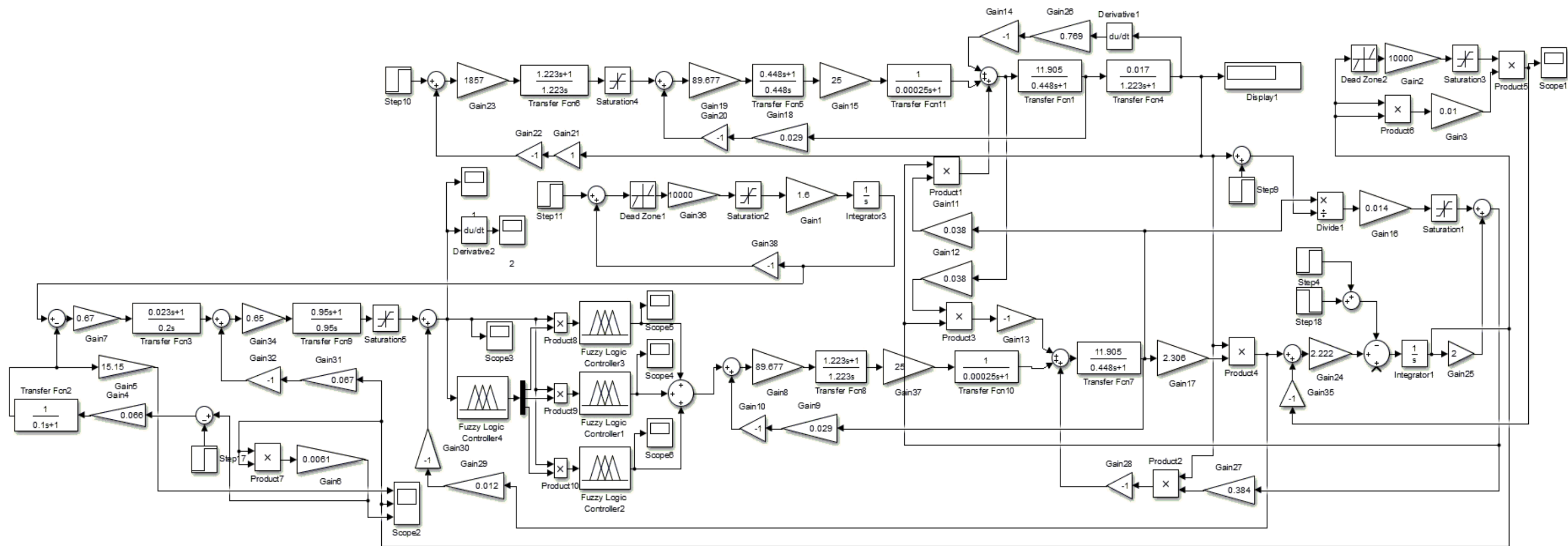


Рисунок 3.5 – Модель электропривода переменного тока с нечетким регулятором положения

3.1 Моделирование двухкаскадного нечеткого логического регулятора с комбинацией механизмов выводов Сугено-Мамдани

Первый каскад в МНЛР можно рассматривать как элемент, который на основе имеющихся данных производит управление регуляторами, находящимися во втором каскаде, и представляет собой внешний интеллектуальный переключатель. Такая структура используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых критериев точности и качества переходного процесса [62-65, 106, 112].

Для корректной работы системы производится настройка звена интеллектуального переключения, которое имеет на своем входе одну лингвистическую переменную $input1$ и анализирует сигнал ошибки. В основе логического вывода интеллектуального переключающего устройства реализуется алгоритм Сугено. Основной задачей, возлагаемой на такую структуру, являются интеллектуальные оценка и выбор соответствующих НЛР второго каскада, настроенных на различные диапазоны управления.

Выбор области определения базовых терм-множеств лингвистических переменных осуществляется экспертно, исходя из знаний о переходном процессе системы с классическим регулятором. В блоке фаззификации для базового терм-множества лингвистической переменной использованы три аппроксимированных функций принадлежности формы, аналогично, как и для МНСУ электроприводом постоянного тока с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани (рисунок 2.8).

Нечеткая продукционная база знаний НЛР представляет собой перечень из трёх правил и имеет следующий вид:

1. If ($input1$ is «Z») then ($output1 = 0$), ($output_2 = 1$), ($output_3 = 0$);
2. If ($input1$ is «P») then ($output1 = 1$), ($output_2 = 0$), ($output_3 = 0$);
3. If ($input1$ is «BP») then ($output1 = 0$), ($output_2 = 0$), ($output_3 = 1$).

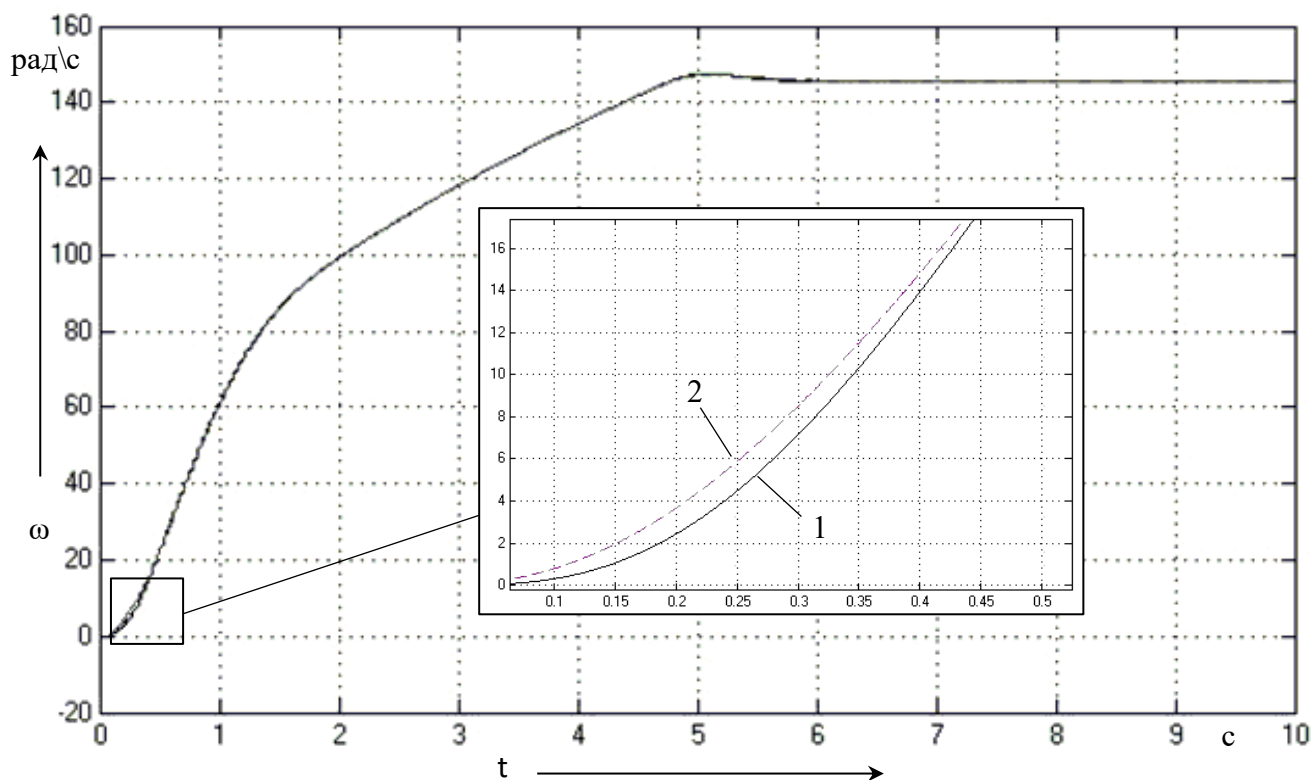
Формализация выходного сигнала звена интеллектуального переключения осуществляется тремя лингвистическими переменными output1, output2 и output3. Формирование в блоке дефаззификации двух постоянных величин 0 и 1 на выходе обусловлено выбором алгоритма вывода Сугено.

Решение задачи регулирования достигается путем введения в интеллектуальную систему автоматизации двухкаскадного НЛР с комбинацией различных механизмов выводов. Наполнение внутреннего каскада представлено набором типовых НЛР с единственными информационными входом и выходом, реализующими алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани. Настройка основных параметров таких модулей представлена в таблице 3.1. Главное отличие модулей внутреннего каскада друг от друга заключается в разности диапазонов регулирования входной и выходной лингвистических переменных.

Таблица 3.1 – Параметры настройки простейших НЛР внутреннего каскада интеллектуального модуля

	Входной диапазон регулирования	Выходной диапазон регулирования	База знаний НЛР
mam1	[-0,86; 0,86]	[-1,31; 1,31]	1. If (input1 is «Z») then (output1 is «Z»);
mam2 (-30%)	[-0,602; 0,602]	[-0,917; 0,917]	2. If (input1 is «BP») then (output1 is «BP»);
mam3 (+30%)	[-1,118; 1,118]	[-1,703; 1,703]	3. If (input1 is «P») then (output1 is «BP»); 4. If (input1 is «N») then (output1 is «N»).

В результате синтеза имитационной модели МНСУ на базе электропривода переменного тока были получены переходные характеристики системы, приведенные на рисунке 3.6.



1 – выходной сигнал классической системы;
 2 – выходной сигнал системы с МНЛР

Рисунок 3.6 – График переходного процесса системы управления электроприводом переменного тока

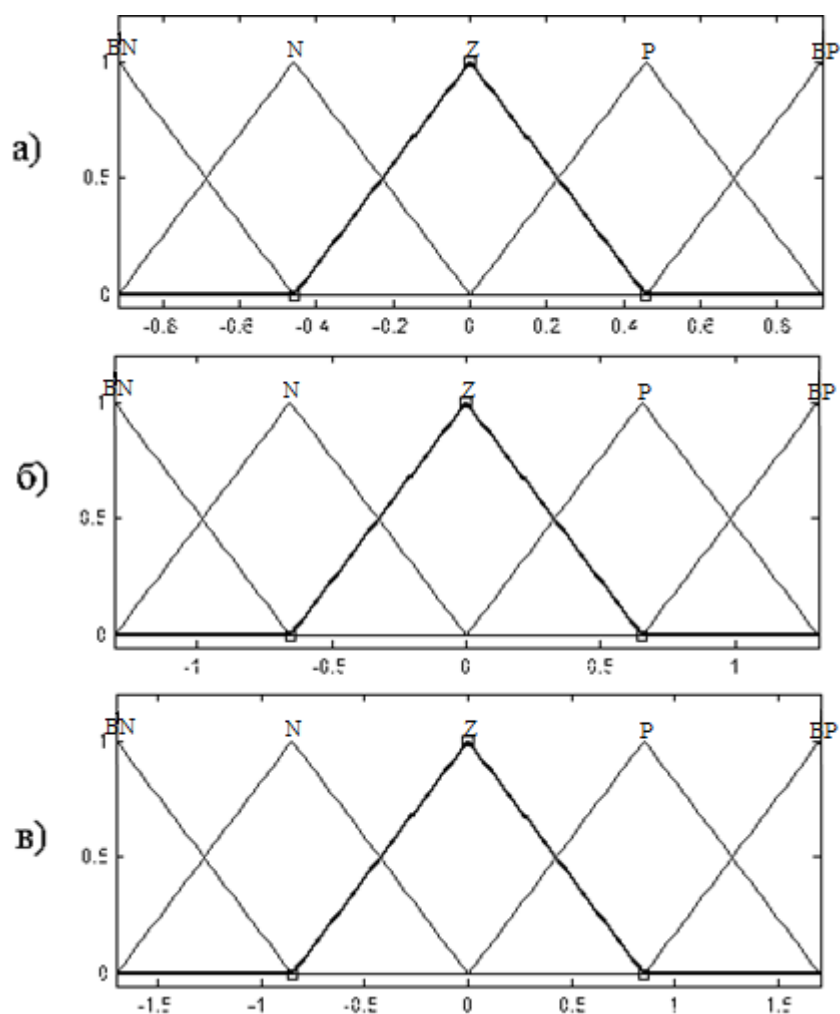
График переходных процессов (рисунок 3.6) иллюстрирует качество реализации законов управления по основным показателям, таким как быстродействие и перерегулирование, кроме того в статическом режиме обе системы имеют одинаковый заданный уровень. МНСУ реализует характеристики, аппроксимирующие классическую систему управления с достаточной степенью точности, а также описывает эффективность применения методики многокаскадного нечеткого регулирования для электроприводов переменного тока. Применение МНЛР для представленного объекта регулирования позволило получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для типового алгоритма нечеткого управления.

3.2 Моделирование двухкаскадного нечеткого логического регулятора с альтернативной комбинацией механизмов выводов

При моделировании интеллектуальной системы с применением МНЛР с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани внешний каскад такой структуры выполняет функцию интеллектуального приключающего устройства, и по аналогии с теорией нейронных сетей реализует функции входного слоя нейронов. Внутренний каскад интеллектуального модуля управления электроприводом переменного тока формирует закон регулирования МНЛР. В современных системах автоматического регулирования применение подобных структур обусловлено формированием управляющего сигнала, результатом которого возможно получить качественные характеристики переходных процессов [66-69].

Путем замены механизма нечеткого вывода в звене, реализующем функцию интеллектуального переключения, было получено решение задачи управления технологическим процессом, учитывающее особенности сопряжения нечетких модулей, построенных по алгоритму Мамдани. Функциональная схема интеллектуального переключающего устройства с сочетанием механизмов вывода Мамдани-Мамдани структурно будет отличаться от интеллектуального модуля с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани. Отличия связаны с отсутствием элементов перемножения сигналов между каскадами НЛР, применение которых обусловлено особенностями функционирования алгоритма вывода Сугено.

Настройка внешнего каскада МНЛР, состоящего из одного нечеткого регулятора с механизмом вывода Мамдани, осуществляется по аналогии с пунктом 3.1. Основными отличительными особенностями являются перенастройка блока дефаззификации каждой лингвистической переменной (рисунок 3.7), а также изменение консеквентов правил на функции принадлежности аппроксимированного вида.



а – output1, б – output2, в – output3

Рисунок 3.7 – Распределение выходных нечетких термов лингвистической переменной «ошибка по положению»

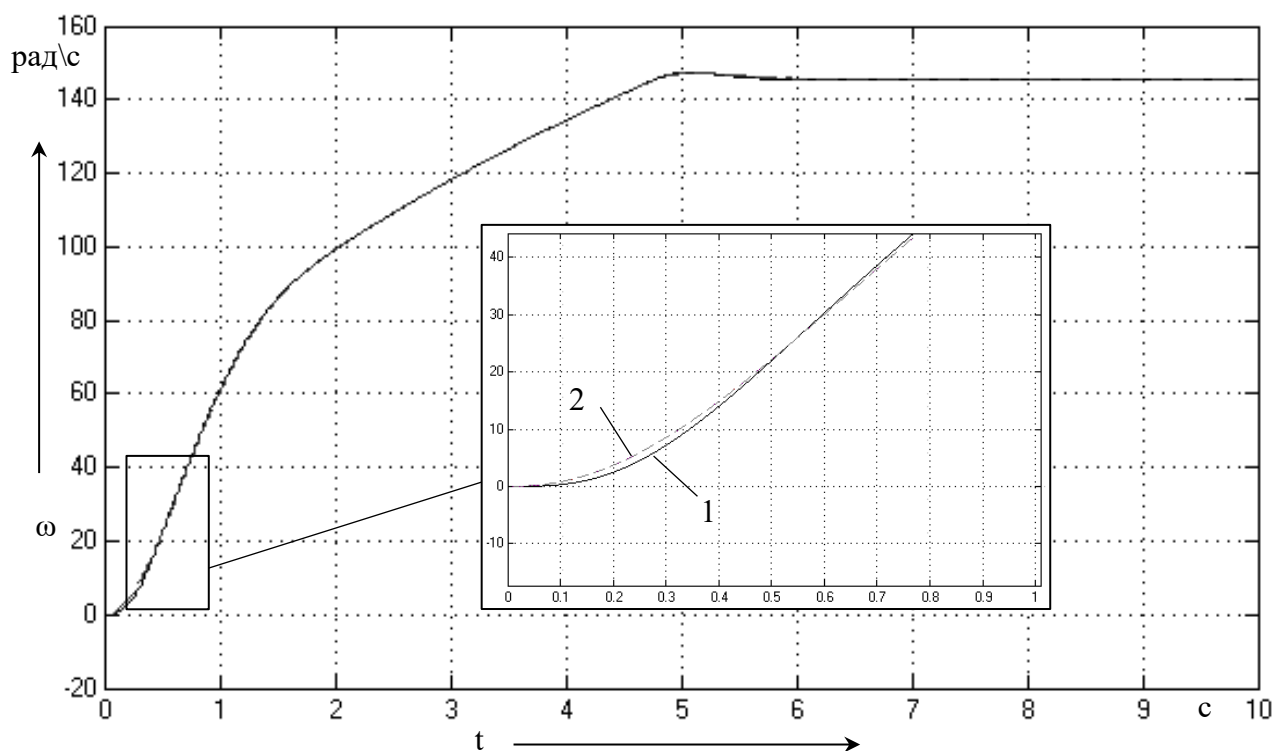
Соответственно база правил примет следующий вид:

1. If (input1 is «Z») then (output1 is «N»), (output2 is «Z»), (output3 is «N»);
2. If (input1 is «P») then (output1 is «P»), (output2 is «BP»), (output3 is «BP»);
3. If (input1 is «BP») then (output1 is «Z»), (output2 is «Z»), (output3 is «BP»).

Внутренний каскад представляет собой аналогичный набор простейших НЛР с одним входом и одним выходом, построенных с применением предложенного подхода. Внутренний каскад МНСУ с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани для системы управления электроприводом переменного тока остается неизменным и приведен в таблице 3.1.

В ходе вычислительного эксперимента на имитационной модели с внедренным в нее МНЛР с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани

были получены выходные характеристики, отображающие качество переходного процесса (рисунок 3.8).



1 – выходной сигнал классической системы;
2 – выходной сигнал системы с МНЛР

Рисунок 3.8 – График переходного процесса системы управления электроприводом переменного тока

Переходные характеристики, приведенные на рисунке 3.8, наглядно показывают, что внедрение МНЛР в систему управления электроприводами переменного тока позволяет реализовывать законы управления любой сложности и получать качественные переходные процессы. Главным достоинством системы управления с мягкими вычислениями является ее гибкость и робастность к целому ряду внешних и внутренних воздействий.

Математическая модель системы управления на базе частотно-регулируемого электропривода переменного тока характеризуется как высоким порядком, так и сложной функциональной зависимостью координат. В основе реализации нечетких систем управления электроприводами переменного тока лежит методика, основанная на применении МНЛР, которая позволяет расширить интеллектуальные и функциональные возможности таких систем в

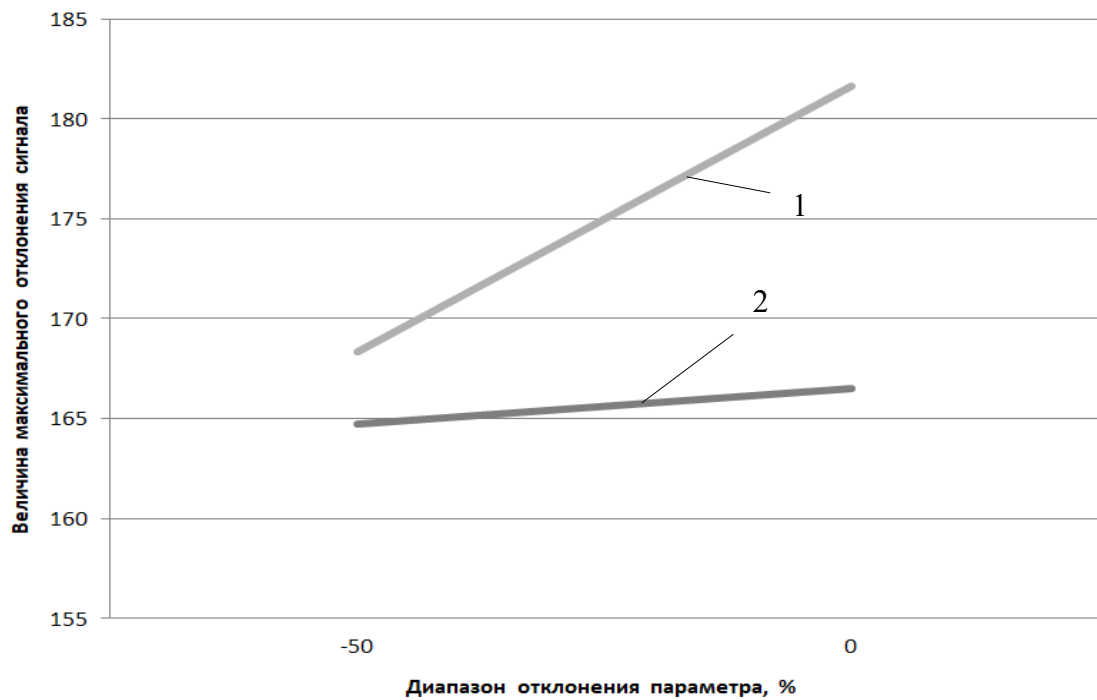
условиях неполноты информации об объекте и существенных недостатках математического описания.

Синтез параметров регуляторов тока, потокосцепления осуществляется, опираясь на нормальный режим работы электропривода, и рассчитанные значения отвечают, как правило, номинальному режиму работы. В переходных режимах различная инерционность контуров тока, потокосцепления, скорости будет приводить к отклонению параметров электропривода от номинальных значений [70, 71]. Путем изменения расчетного значения величины потокосцепления, что отражено в таблице 3.3, проводилась оценка отклонения выходных параметров модели электропривода от номинального режима.

Таблица 3.3 – Нестационарность величины потокосцепления в МНСУ с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани

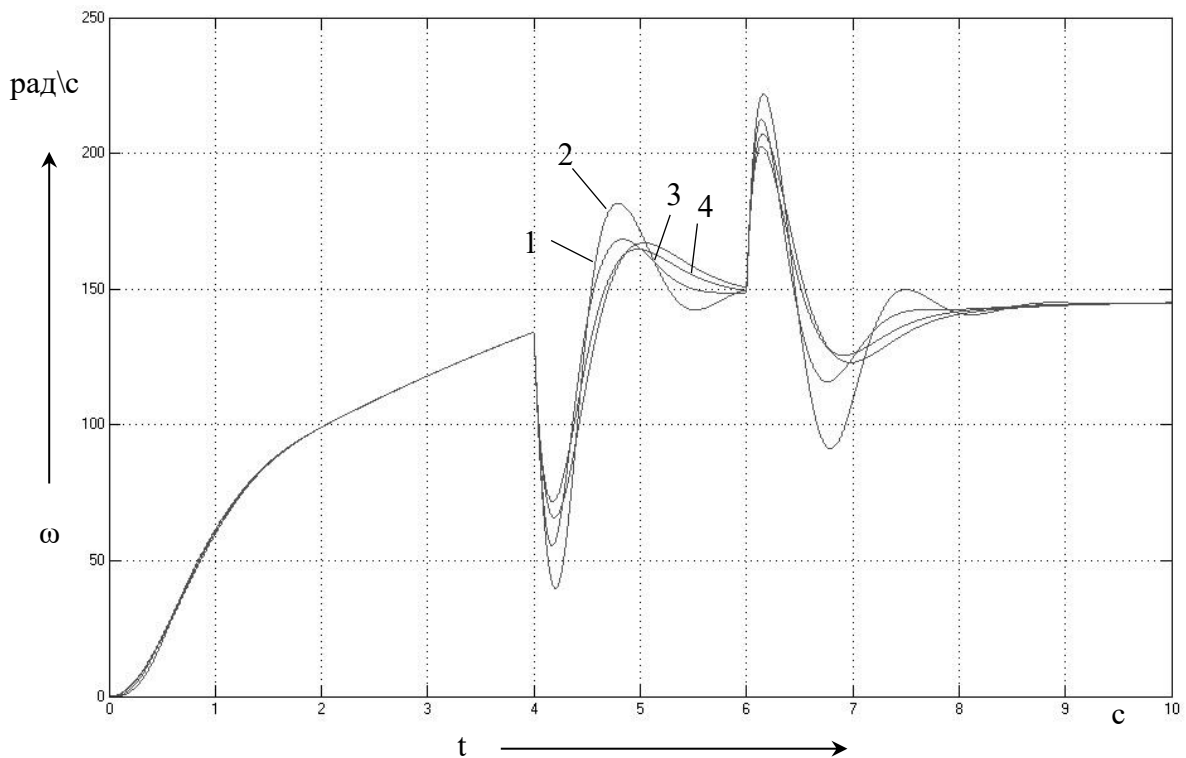
Диапазон изменения параметра, %	-50	0
Значение величины потокосцепления	0,725	1,45
Значение h_{\max} классической системы	181,63	168,37
Значение h_{\max} системы с МНЛР	167,03	164,7

Диаграмма, приведенная на рисунке 3.9, показывает, что МНСУ с сочетанием алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамдани проявила способности компенсации изменения величины потокосцепления.



1 – система с классическим регулятором,
 2 – МНСУ с сочетанием алгоритмов Сугено-Мамдани

Рисунок 3.9 – Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении величины потокосцепления

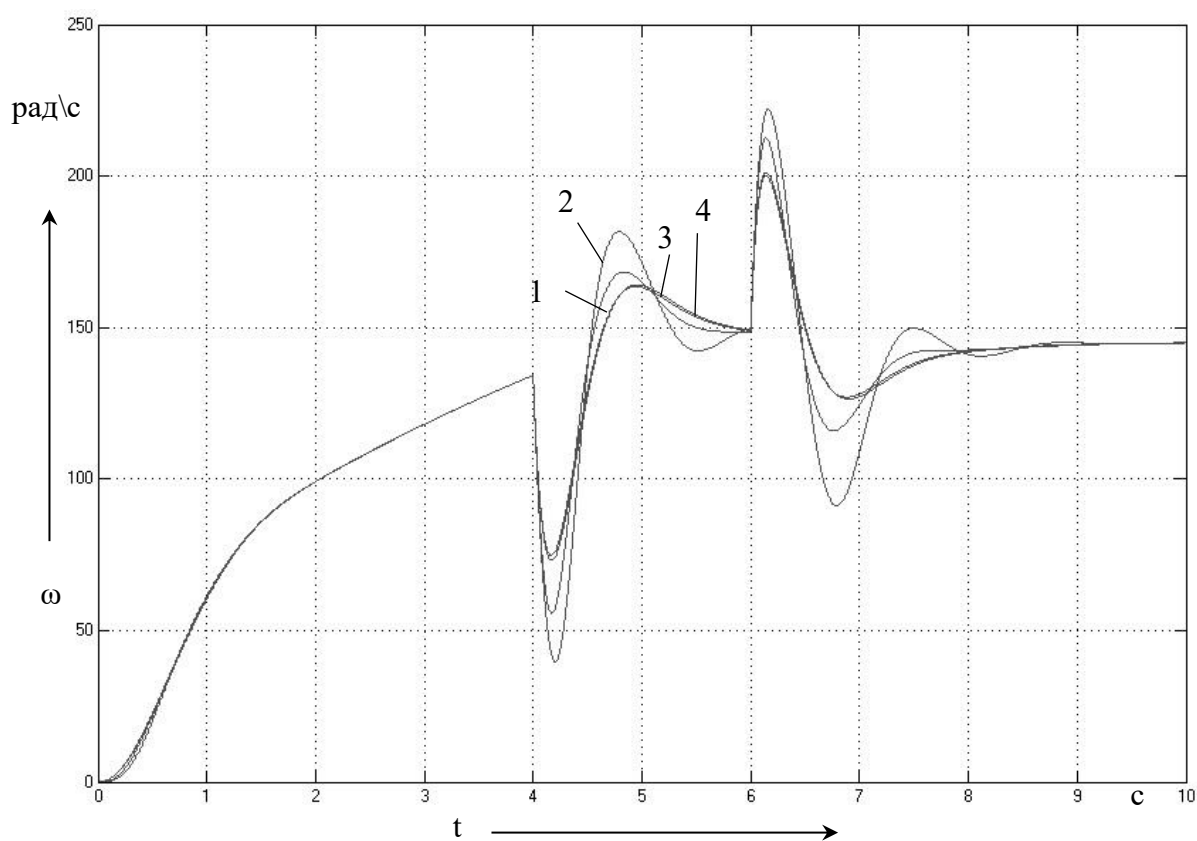


1 – классическая система; 2 – классическая система с измененным значением потокосцепления; 3 – МНСУ; 4 – МНСУ с измененным значением потокосцепления

Рисунок 3.10 - График переходного процесса МНСУ электроприводом переменного тока с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани

На рисунке 3.10 приведены результаты исследования МНСУ с сочетанием механизмов вывода Сугено-Мамдани для различных режимов работы электропривода переменного тока: разгона, скачкообразного отклонения возмущающего воздействия в положительную и отрицательную сторону и вариации одного из внутренних параметров.

В результате замены механизма вывода во внешнем переключающем модуле был осуществлен синтез многокаскадных нечетких алгоритмов по предложенной методике. Результаты реакции моделей классической системы и МНСУ электроприводом переменного тока с сочетанием алгоритмов нечеткого логического вывода Мамдани-Мамдани на отработку задающего воздействия приведены на рисунке 3.11.



1 – классическая система; 2 – классическая система с измененным значением потокосцепления; 3 – МНСУ; 4 – МНСУ с измененным значением потокосцепления

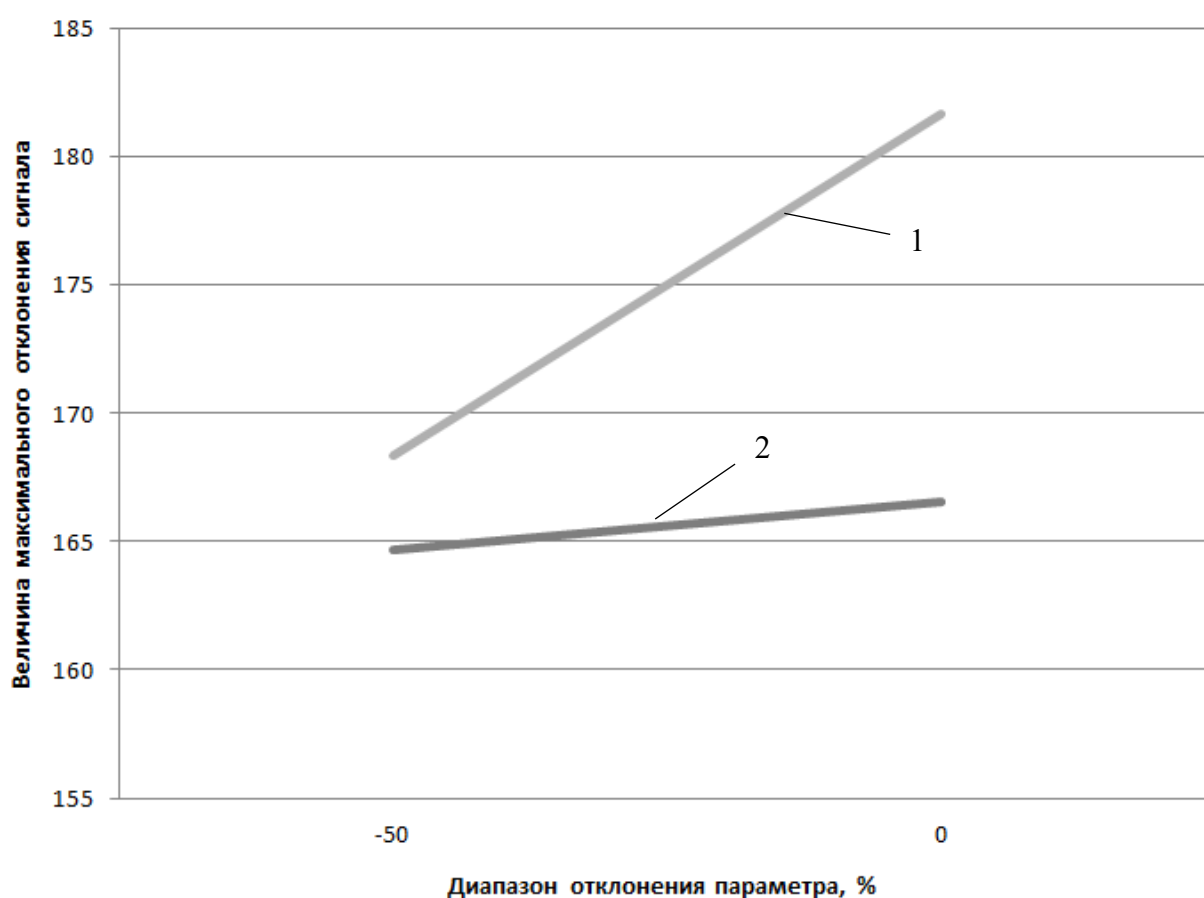
Рисунок 3.11 - График переходного процесса МНСУ электроприводом переменного тока с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани

На основании данных, приведенных в таблице 3.4, где отражено процентное изменение величины потокосцепления, была построена диаграмма

отклонения максимального значения сигнала возмущающего воздействия системы (рисунок 3.12).

Таблица 3.4 – Нестационарность величины потокосцепления в МНСУ с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани

Диапазон изменения параметра, %	-50	0
Значение величины потокосцепления	0,725	1,45
Значение h_{\max} классической системы	181,63	168,37
Значение h_{\max} системы с МНЛР	164,7	164,7



1 – классическая система регулирования, 2 – двухкаскадная нечеткая система с комбинацией алгоритмов Мамдани-Мамдани

Рисунок 3.12 – Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении величины потокосцепления

Таким образом, синтез многокаскадных нечетких алгоритмов по предложенной методике и исследование систем управления электроприводами переменного тока продемонстрировали, что данный подход менее чувствителен к неполноте математического описания объекта регулирования, позволяет

улучшить основные показатели качества, расширяет функциональные возможности управления электроприводами и придает некоторые свойства интеллектуальности таким системам [113, 118]. Анализ переходных характеристик, полученных в результате моделирования сложной системы управления с использованием МНЛР с комбинацией механизмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани позволяет сделать вывод, что синтезированная система по сравнению с классической характеризуется рядом преимуществ: нечувствительна к изменению внутренних параметров, имеет сравнительно более высокое быстродействие и меньшее количество колебаний при обработке возмущений.

3.3 Формирование процедур управления элементами вложенного каскада

Дальнейший ход исследования заключается в анализе поведения МНСУ электроприводом переменного тока с различным сочетанием нечетких выводов при подаче на вход ступенчатого сигнала сложной формы (рисунок 3.13).

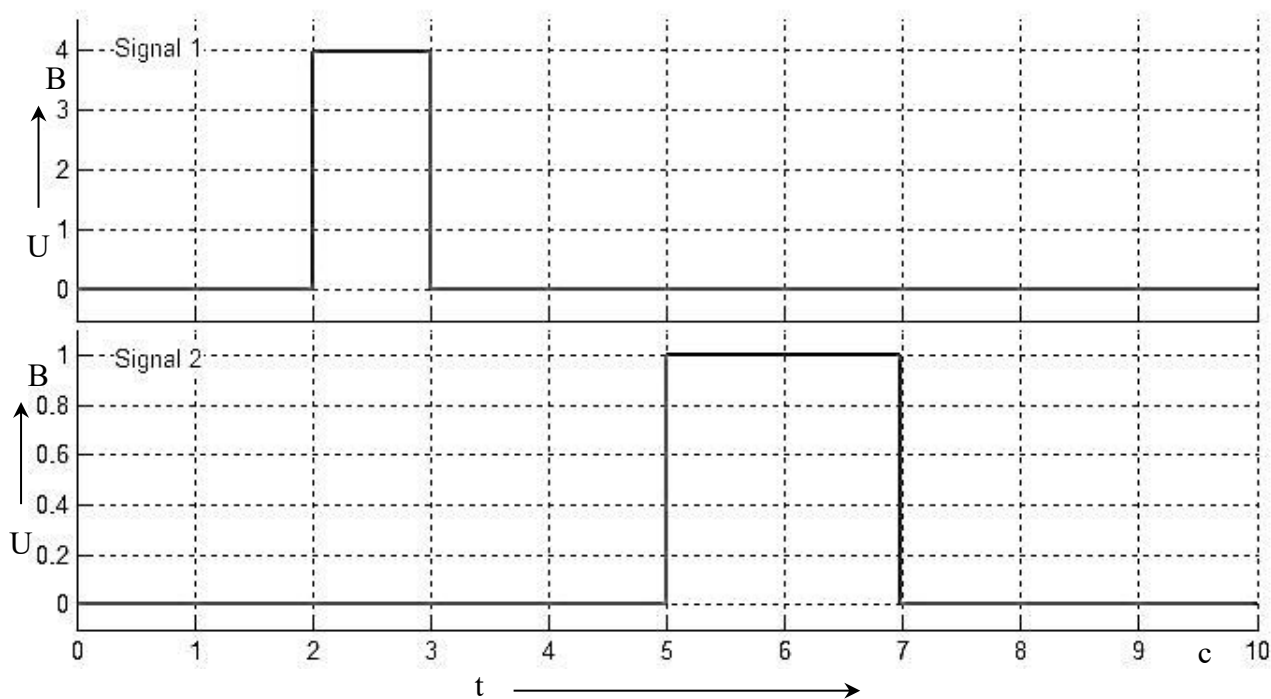
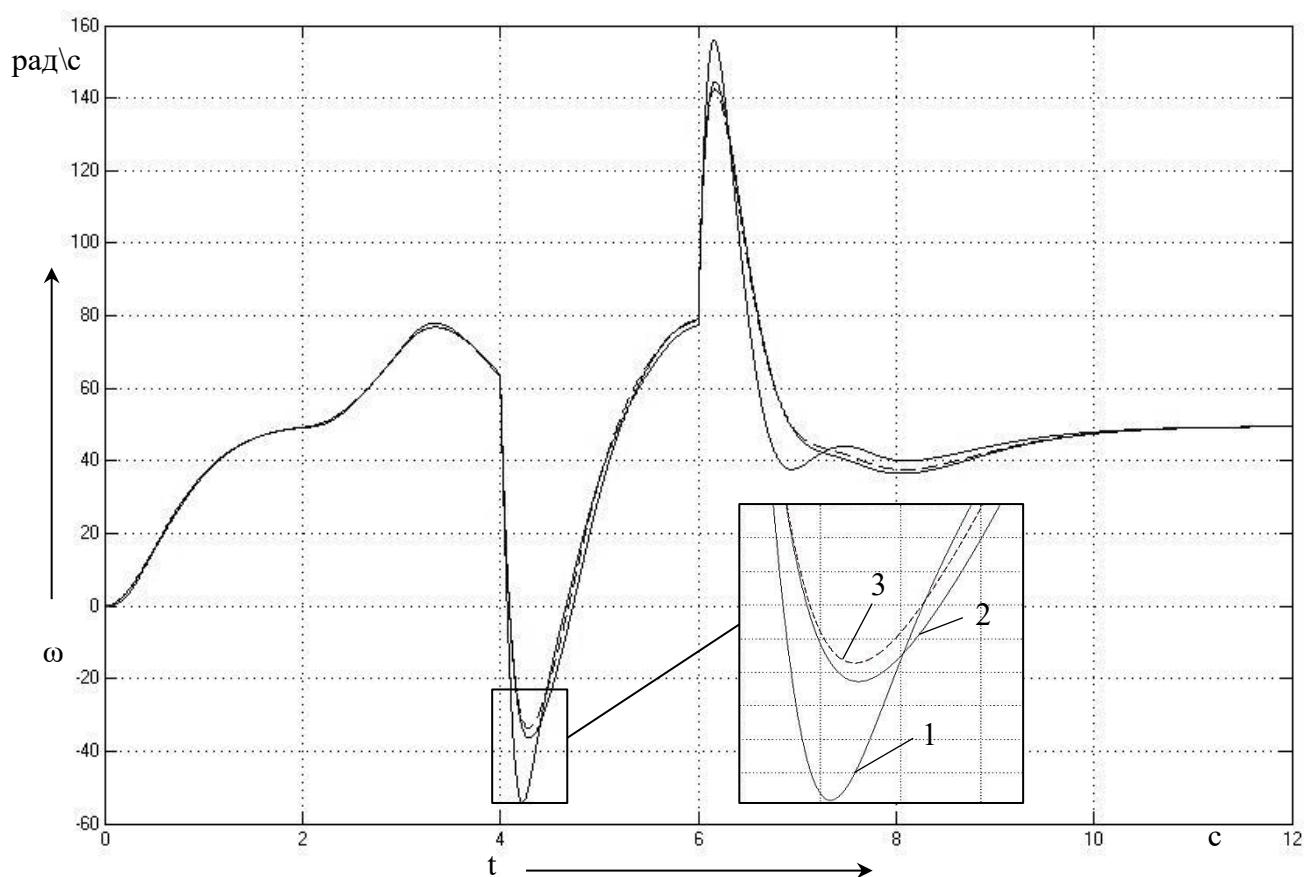


Рисунок 3.13 - Форма задающего сигнала системы

Переходные характеристики, проиллюстрированные на рисунке 3.14, позволяют оценить качество переходных процессов интеллектуальной системы

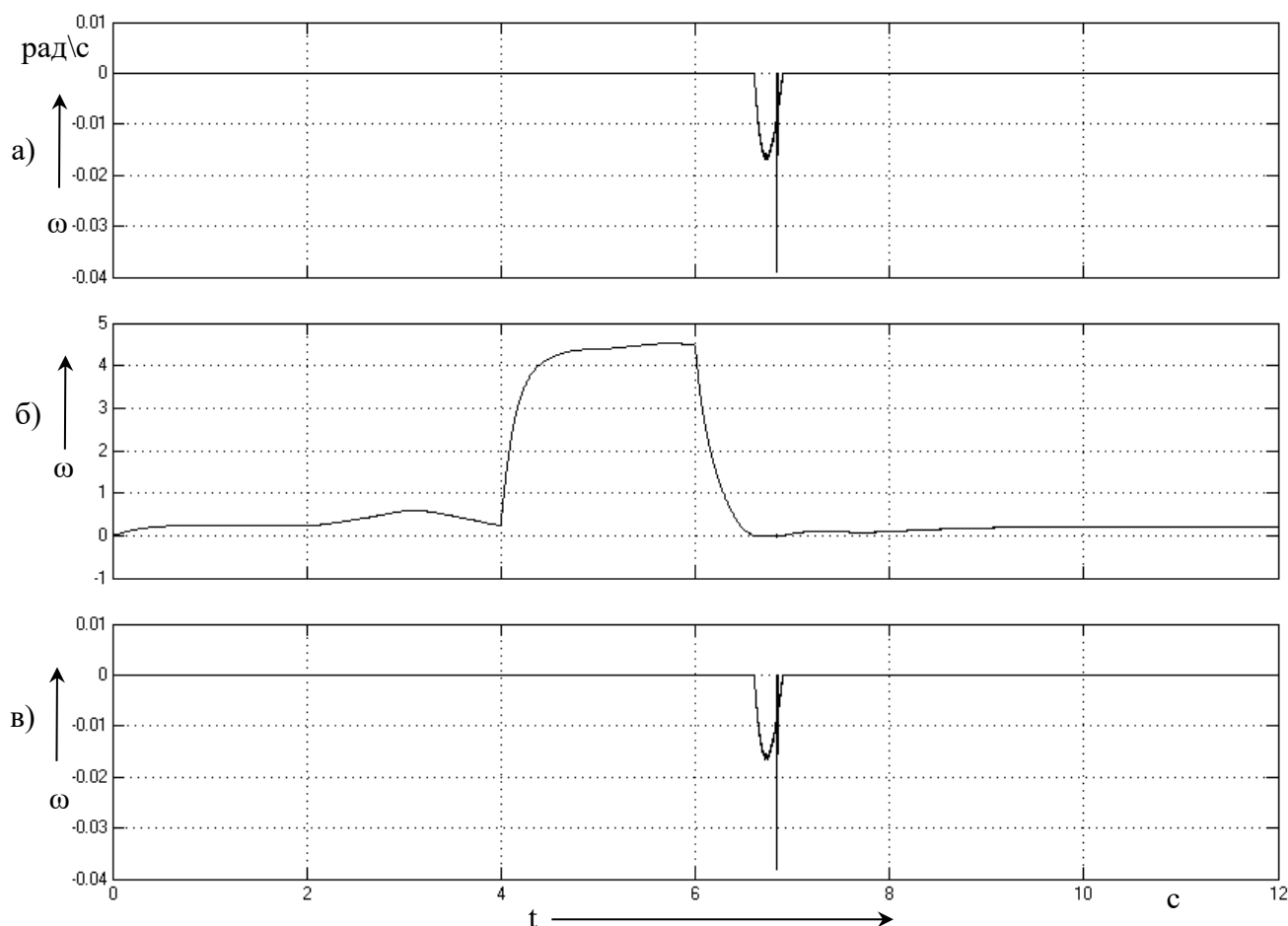
регулирования с различными сочетаниями алгоритмов вывода и классической системы автоматического управления электроприводом переменного тока. Сравнительный анализ кривых (рисунок 3.14) позволяет сделать вывод, что в результате синтеза МНСУ с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани система проявляет свойства робастности и обладает меньшим отклонением от заданного уровня относительно двухкаскадной системы регулирования с альтернативным сочетанием алгоритмов вывода. Наряду с этим необходимо отметить, что МНСУ превосходит классическую систему управления электроприводом переменного тока по основным показателям качества процесса регулирования в целом.



1 – классическая система регулирования, 2 – МНСУ с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани, 3 – МНСУ с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Мамдани-Мамдани

Рисунок 3.14 – Динамические характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы регулирования электроприводом переменного тока при подаче сложного ступенчатого задающего воздействия

Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления на выходе МНЛР с сочетанием механизмов вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани, приведены на рисунках 3.15 и 3.16 соответственно.

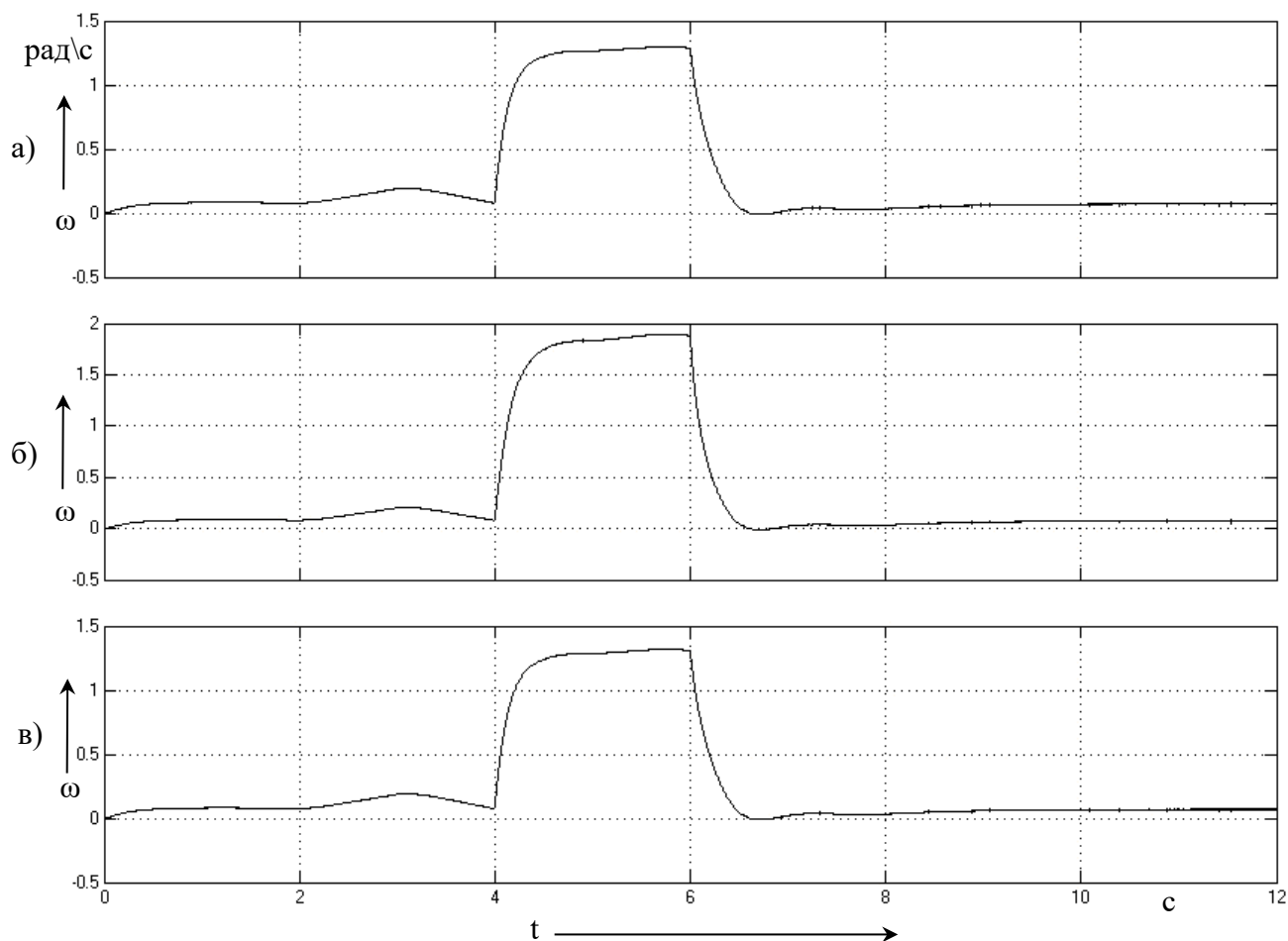


а – элементарный нечеткий модуль «mam2», б - элементарный нечеткий модуль «mam1», в - элементарный нечеткий модуль «mam3»

Рисунок 3.15 – Переходные характеристики, формирующие итоговый закон управления для МНСУ электроприводом переменного тока с комбинацией алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамдани

Рисунок 3.15 наглядно отображает, как осуществляется работа каждого НЛР во внутреннем каскаде при синтезе многокаскадных нечетких алгоритмов по предложенной методике. Ключевую функцию при формировании управляющего закона в МНЛР осуществляет элементарный нечеткий модуль «mam2», при этом регуляторы «mam1» и «mam3» формируют реакцию системы при ее отклонении от номинального режима функционирования.

На рисунке 3.16 изображены переходные характеристики, формирующие итоговый сигнал регулирования в МНСУ электрическим приводом переменного тока с комбинацией механизмов выводов Мамдани-Мадмани. В данном случае формирование итогового закона регулирования выполняется тремя НЛР «mam1», «mam2» и «mam3» одновременно, однако отличия сигналов заключены в величине амплитуды.



а – элементарный нечеткий модуль «mam2», б - элементарный нечеткий модуль «mam1», в - элементарный нечеткий модуль «mam3»

Рисунок 3.16 – Переходные характеристики, формирующие итоговый закон управления для МНСУ электроприводом переменного тока с комбинацией механизмов выводов Мамдани-Мамдани

Несмотря на функциональную сложность такого объекта регулирования, как электропривод переменного тока, применение МНЛР позволяет получить адаптированные переходные характеристики. При этом более высокое качество адаптации системы управления проявляет регулятор с механизмом вывода

Мамдани в первом каскаде. Это объясняется отсутствием ограничивающего фактора полиномиальных зависимостей в выходных лингвистических переменных алгоритма нечеткого вывода Сугено [72, 73]. Такая технология внедрения МНЛР в системы управления электроприводами переменного тока позволяет реализовывать законы управления любой сложности и получать качественные переходные процессы. Главным достоинством системы управления с мягкими вычислениями является ее гибкость и робастность к целому ряду внешних и внутренних воздействий.

Выводы по третьей главе

1. Разработана многокаскадная нечеткая система управления электроприводом переменного тока на основе ранее сформулированного подхода.

2. Путем изменения расчетного значения величины потокосцепления проводилась оценка влияния нестационарности на выходные параметры модели электропривода.

3. Выполнен сравнительный анализ поведения многокаскадной нечеткой системы управления электроприводом переменного тока с различным сочетанием нечетких выводов при подаче на вход ступенчатого сигнала сложной формы.

4 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы автоматического управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости при различных режимах работы

4.1 Синтез стандартной системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости

Интеллектуальные системы управления и принятия решений в настоящее время получили широкое распространение. Проектирование систем регулирования с применением мягких вычислений представляет собой проблему, не поддающуюся алгоритмизации. Нечеткое моделирование оказывается особенно удобным, когда при описании технических систем присутствует некоторая неопределенность, которая существенно затрудняет применение точных количественных методов. В большинстве сложных систем достаточно трудно обеспечить полную наблюдаемость объекта управления. Также для таких систем управления весьма сложно получить полное математическое описание объекта, что приводит к необходимости принимать существенное количество допущений, которое в значительной степени приводит к снижению точности работы системы.

В таких проблемных ситуациях системы управления на базе нечеткой логики дают более адекватные результаты по сравнению с классическими подходами без существенной потери качества управления. Синтез НЛР может осуществляться на основе общих представлений эксперта или специалиста о поведении системы.

На сегодняшний день системы, построенные на принципах нечеткой логики, находят свое применение во многих сферах человеческой деятельности и области их использования постоянно расширяются. Такие системы используются при управлении сложными технологическими процессами, при управлении бизнес-процессами, в системах поддержки принятия решений, при создании различных приборов и бытовой техники [74-76].

При решении задач комплексной автоматизации производства классическими объектами управления выступают электропривода постоянного и

переменного тока. Но, несмотря на обширный спектр достоинств, а также соответствие предъявляемым требованиям таких объектов регулирования, существует и ряд недостатков. Многие факторы сдерживают модернизацию таких электроприводов.

Отдельное внимание в электроприводах постоянного тока уделяется электрическим приводам с двухзонным регулированием скорости. Двухзонное регулирование скорости электропривода применяется в производственных механизмах, у которых работа на скорости выше номинальной происходит с малым моментом сопротивления на валу и, наоборот, на низкой скорости необходимо наиболее высокое (номинальное) значение момента. Использование двухзонного регулирования связано, прежде всего, с требованием повышения скорости обработки изделий и тем самым повышения производительности, а, следовательно, и прибыли.

Для реализации синтеза интеллектуальной системы регулирования за основу принимается математическая модель системы управления с двухзонным регулированием скорости, структурная схема которой приведена на рисунке 4.1.

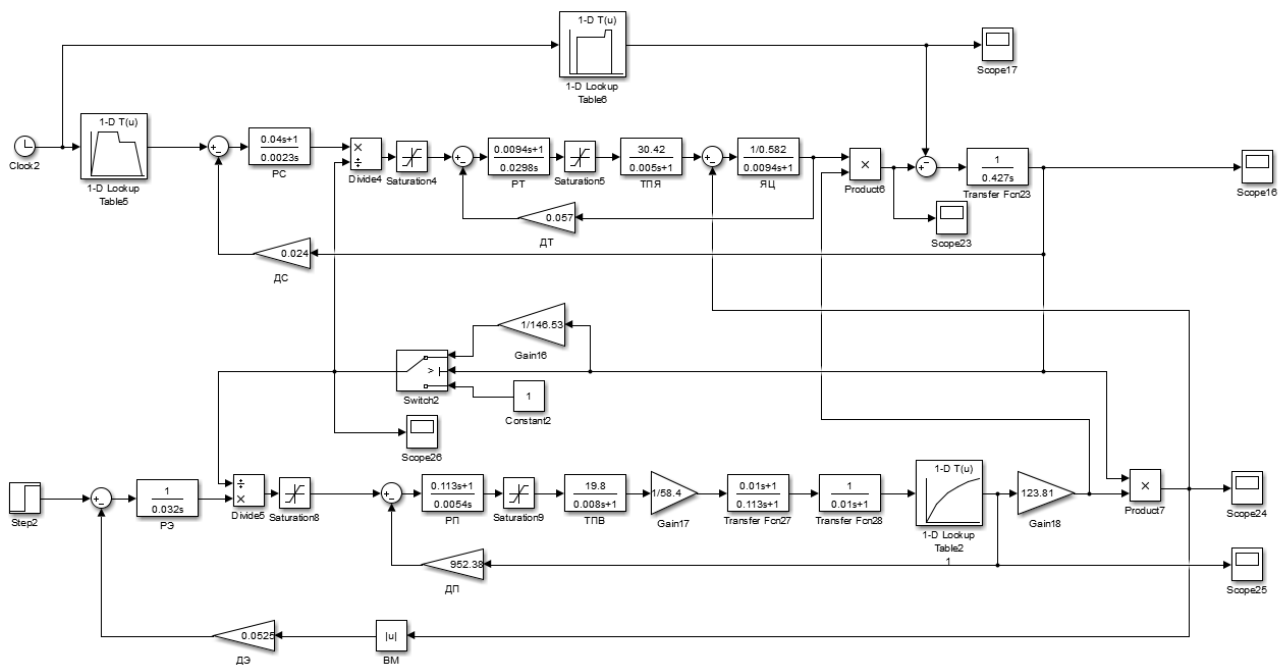


Рисунок 4.1 – Имитационная модель системы управления с двухзонным регулированием скорости

Графики задающих сигналов в режиме до номинальной скорости приведены на рисунках 4.2 и 4.3. Напряжение в 3.5 Вольт соответствует номинальной скорости.

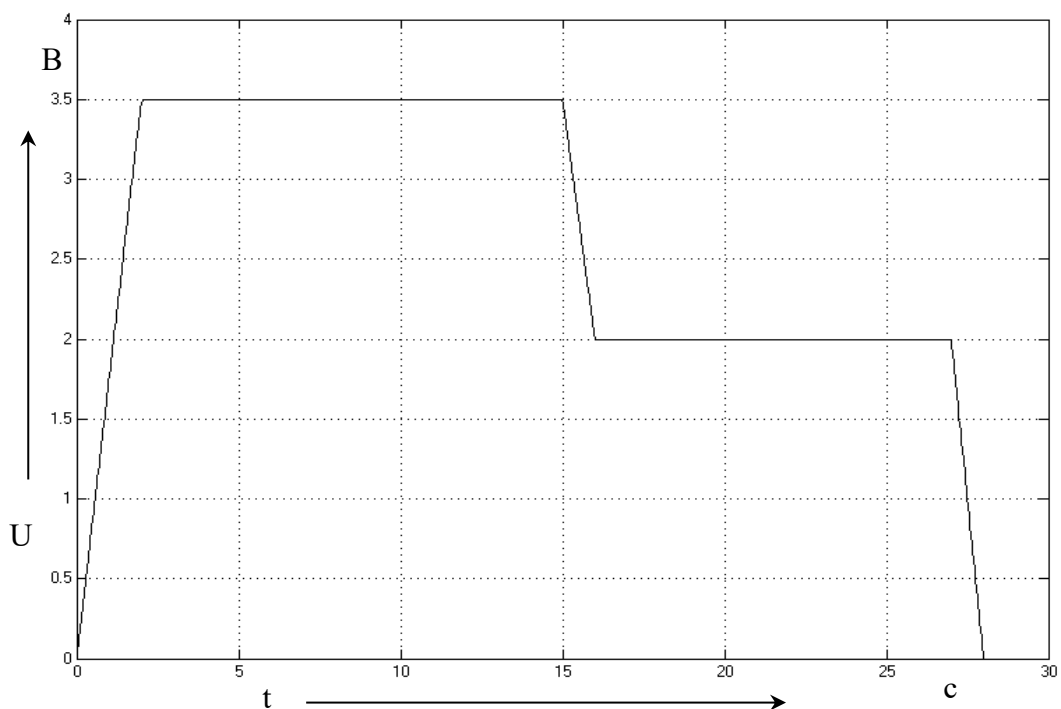


Рисунок 4.2 – Форма задающего сигнала в режиме «до номинальной скорости»

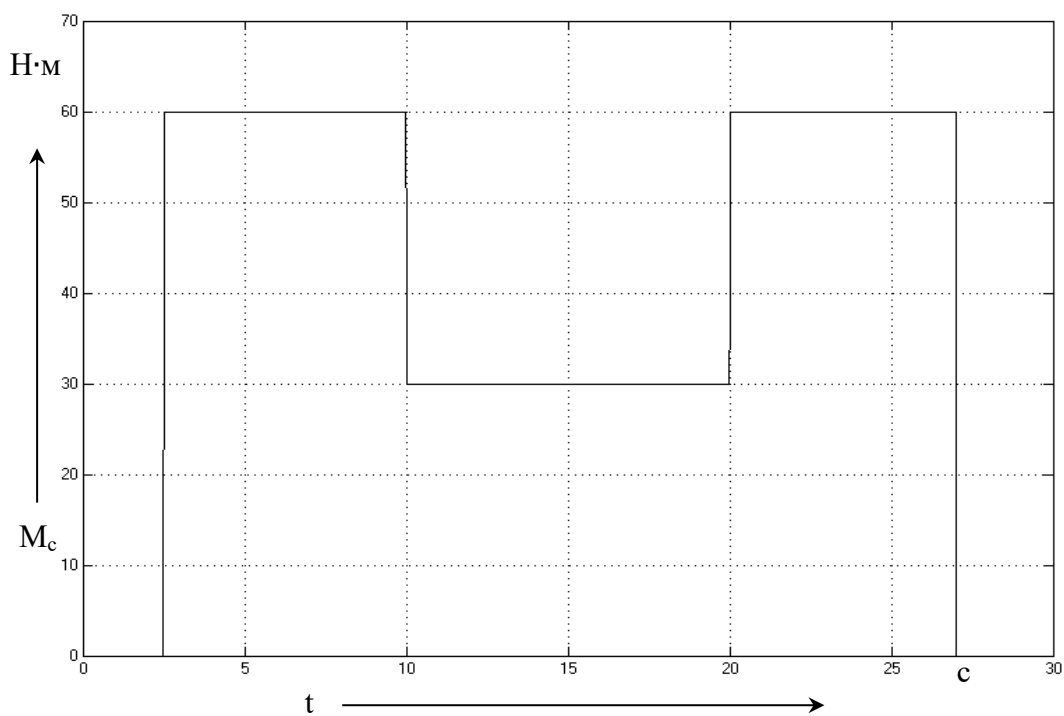


Рисунок 4.3 – График задаваемого момента в режиме «до номинальной скорости»

Графики задающих сигналов в режиме выше номинальной скорости приведены на рисунках 4.4 и 4.5.

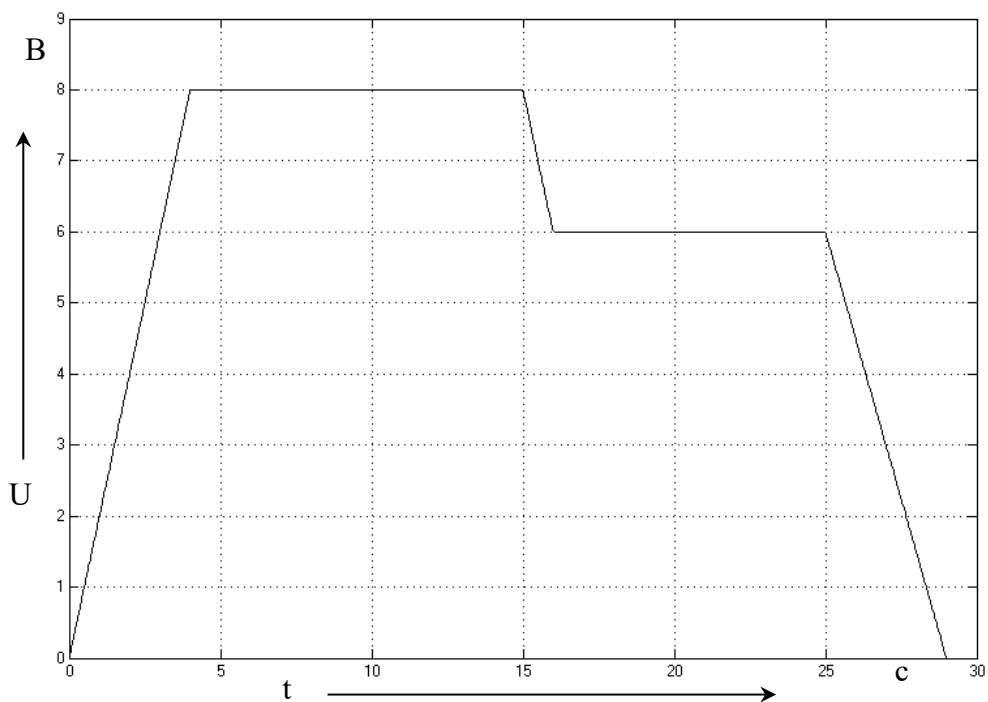


Рисунок 4.4 - Форма задания скорости в режиме «сверх номинальной скорости»

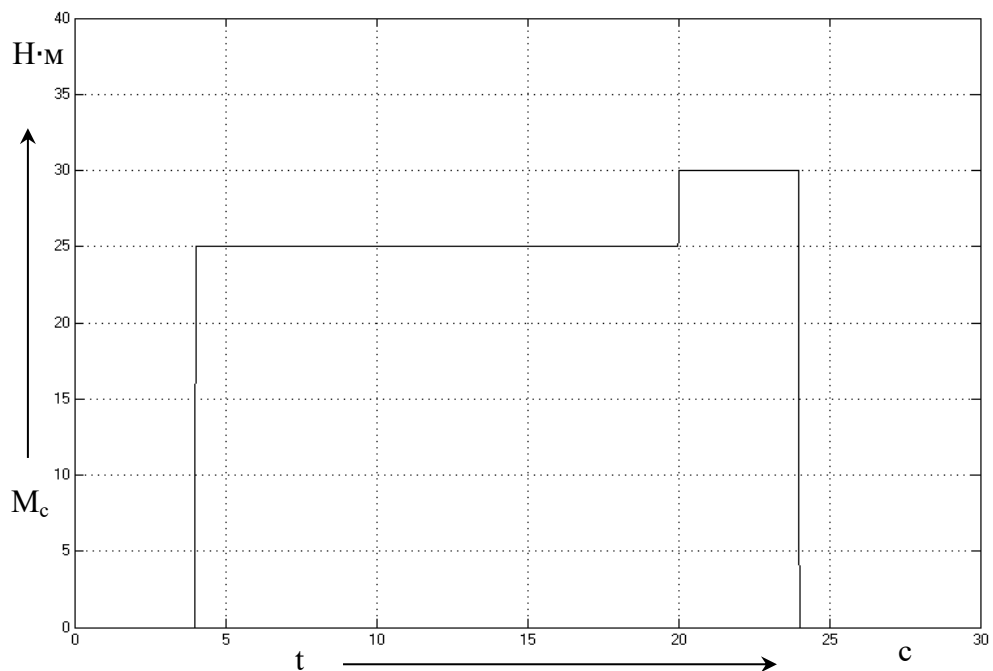


Рисунок 4.5 - График задаваемого момента в режиме «сверх номинальной скорости»

4.2 Моделирование многокаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией алгоритмов нечетких логических выводов Сугено-Мамдани

Классический подход при реализации системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости базируется на линеаризации характеристик звеньев системы электропривода. Для компенсации влияния нелинейностей, обусловленных блоками производства, в контурах регулирования скорости и ЭДС двигателя на выходах регуляторов этих параметров включены блоки деления. Нелинейности типа «звено насыщения» в рассматриваемой модели используются для ограничения выходной координаты соответствующего звена. Нелинейность в контуре регулирования магнитного потока строится на основании универсальной кривой намагничивания.

Известно, что при наличии нелинейностей либо в самом объекте регулирования, либо в каналах управления применение традиционного подхода вызывает затруднения при обеспечении желаемой траектории движения. Прямая замена классического регулятора на НЛР не обеспечивает существенно улучшения динамики системы. 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 МНЛР позволит за счет некоторого усложнения структурной реализации согласовать параметры НЛР, синтезированных для работы в режимах «до номинальной скорости» и «выше номинальной скорости». Кроме того в задачу синтеза входит не только определение параметров и количество функций принадлежности, но и формирование рационального алгоритма переключения между режимами функционирования объекта: внешний каскад МНЛР реализуется как классификатор, оценивающий входную информацию и осуществляющий выбор соответствующего элемента вложенного каскада, который формирует итоговое управляющее воздействие МНЛР [77-84, 100].

На основе классического математического описания системы двухзонного регулирования, объект управления которого характеризуется наличием существенных нелинейностей, был синтезирован МНЛР в контуре управления скоростью. Структурная схема такой системы приведена на рисунке 4.6.

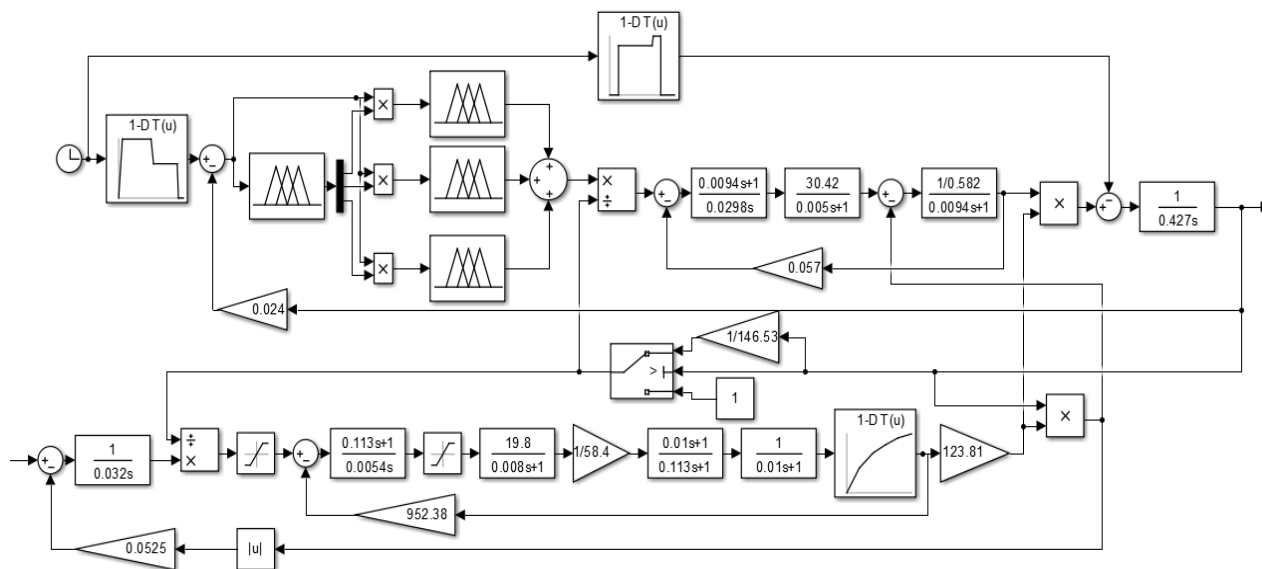


Рисунок 4.6 - Структурная схема МНСУ электроприводом постоянного тока с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани

Возможным путем устранения последствий наличия нелинейностей в системе управления с двухзонным регулированием скорости является внедрение в такую систему двухкаскадного нечеткого модуля, использующего в своей основе алгоритмы вывода Сугено и Мамдани соответственно. Такой выбор объясняется, прежде всего, необходимостью структурной реализации нечеткой экспертной системы, сложностью согласования НЛР в первом и втором каскадах, а также отличием диапазонов информационных входных сигналов. Внешний каскад формируется НЛР с механизмом логического вывода Сугено первого порядка и оценивает входную информацию, осуществляя при этом выбор соответствующего элемента внутреннего каскада. В свою очередь второй каскад состоит из набора простейших нечетких модулей с алгоритмом логического вывода Мамдани и формирует итоговое управляющее воздействие МНЛР.

Настройка двухкаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости осуществляется по предложенной ранее методике. В качестве интеллектуального модуля первого каскада будет выступать НЛР «sugeno1», функциональная схема которого представлена на рисунке 2.17, с единственной входной лингвистической переменной $input1$ в блоке фаззификации и тремя информационными выходными каналами $output1$, $output2$ и $output3$ в блоке дефаззификации. Функционирование интеллектуального модуля «sugeno1» осуществляется с применением нечеткого логического вывода Сугено. Диапазон изменения входных функций принадлежности нечеткой переменной для системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости отличается от ранее рассмотренных объектов и составляет $[-0.47; 0,46]$. В области определения распределены три трапециевидные функции принадлежности, приведенные на рисунке 2.8.

Информационные сигналы $output1$, $output2$ и $output3$ описывают понятия выходных воздействий интеллектуального модуля «sugeno1» соответственно. С учетом выбранного механизма вывода в блоке дефаззификации формируются две постоянные величины 0 и 1.

Продукционные правила базы знаний НЛР «sugeno1» имеют следующий вид:

1. If ($input1$ is «Z») then ($output1 = 0$), ($output2 = 1$), ($output3 = 0$);
2. If ($input1$ is «P») then ($output1 = 1$), ($output2 = 0$), ($output3 = 0$);
3. If ($input1$ is «BP») then ($output1 = 0$), ($output2 = 0$), ($output3 = 1$).

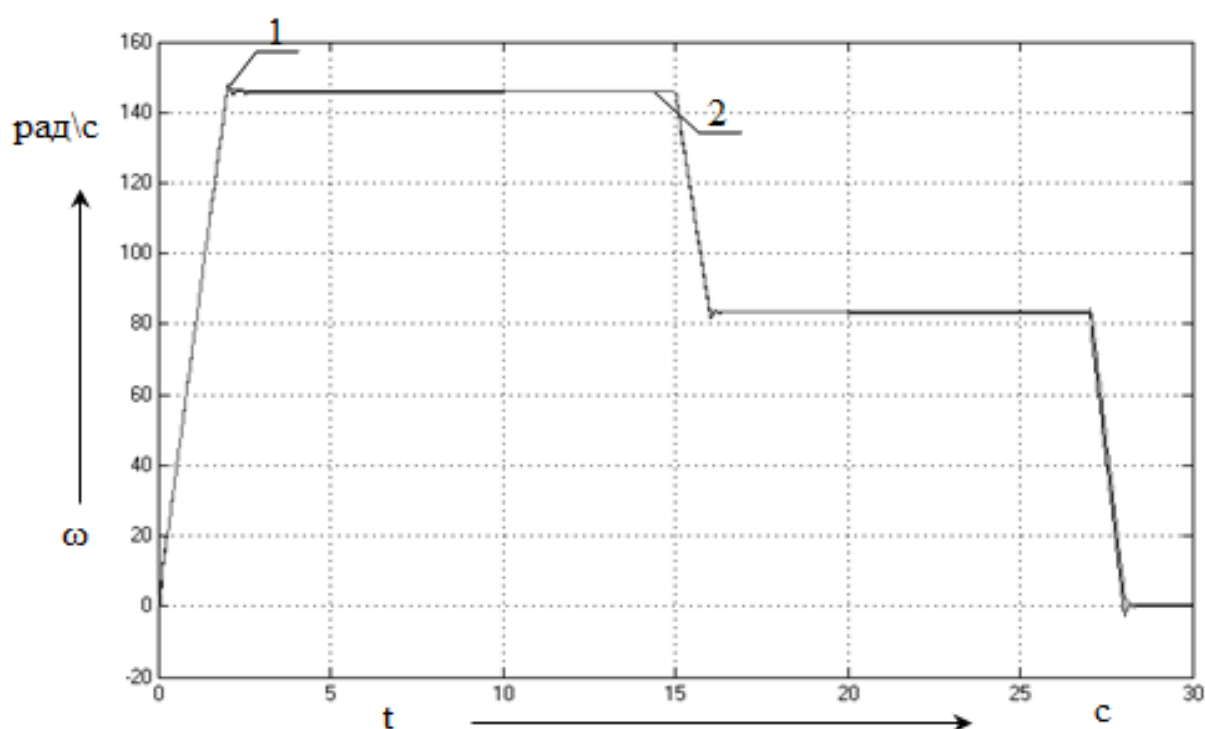
Вложенный каскад состоит из трех простейших НЛР с алгоритмом вывода Мамдани («mam1», «mam2», «mam3»), два их которых формируют управляющий сигнал для состояния системы в режимах регулирования скорости «до номинальной» и «сверх номинальной», а третий НЛР осуществляет функцию дополнительного контроля при переходе между режимами. Основные настройки блоков фаззификации и дефаззификации, а также база правил остаются без изменений, но при этом меняется область действия выходных

функций принадлежности лингвистических переменных, что отражено в таблице 4.1. Программная реализация МНЛР представлена в приложении В.

Таблица 4.1 – Параметры настройки простейших НЛР внутреннего каскада интеллектуального модуля

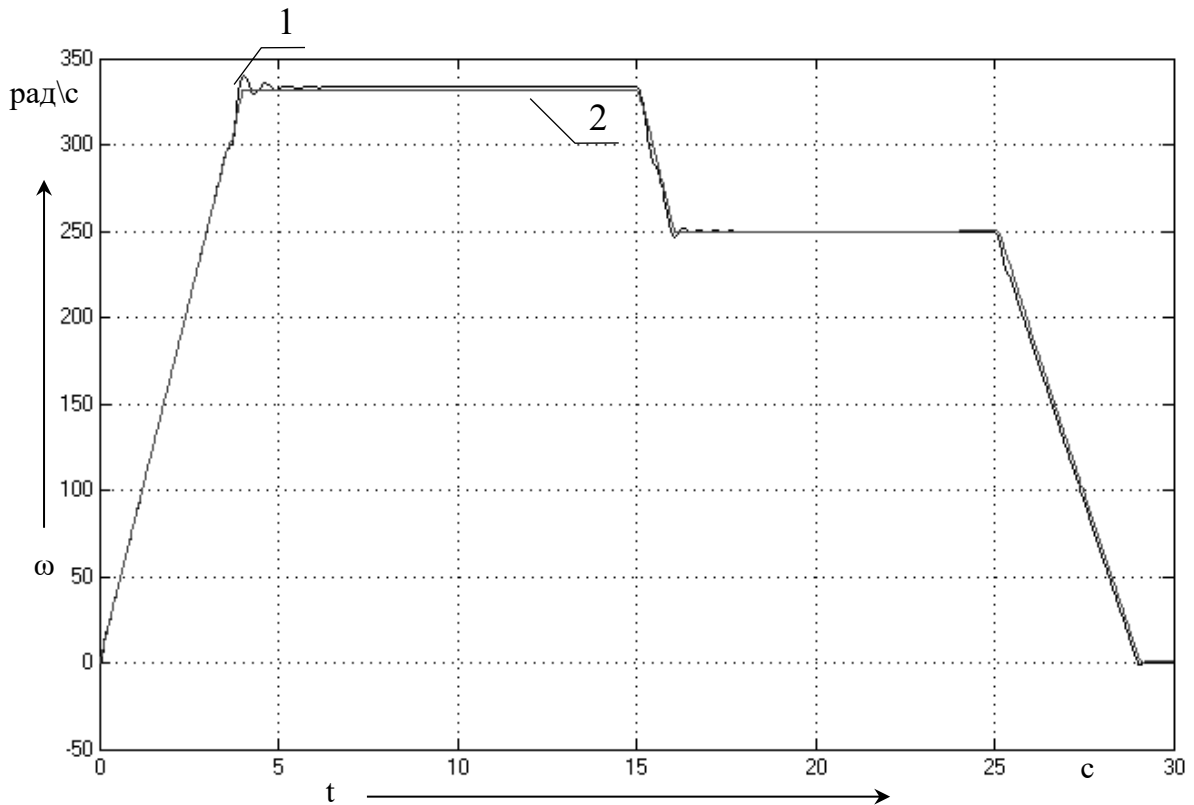
	Входной диапазон регулирования	Выходной диапазон регулирования	База знаний НЛР
mam1	[-0,17; 0,22]	[-7,4; 16,56]	1. If (input1 is «Z») then (output1 is «Z»); 2. If (input1 is «BP») then (output1 is «BP»); 3. If (input1 is «P») then (output1 is «BP»); 4. If (input1 is «N») then (output1 is «N»).
mam2 (-30%)	[-0,119; 0,154]	[-5,18; 11,592]	
mam3 (+30%)	[-0,221; 0,286]	[-9,62; 21,528]	

На основании предложенной методики был осуществлен синтез МНСУ с двухзонным регулированием скорости [85], результаты которого отображают динамические характеристики, приведенные на рисунках 4.7 и 4.8.



1 – классическая система управления; 2 – двухкаскадная система управления

Рисунок 4.7 – Динамические характеристики системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости, настроенной на режим «до номинальной скорости»



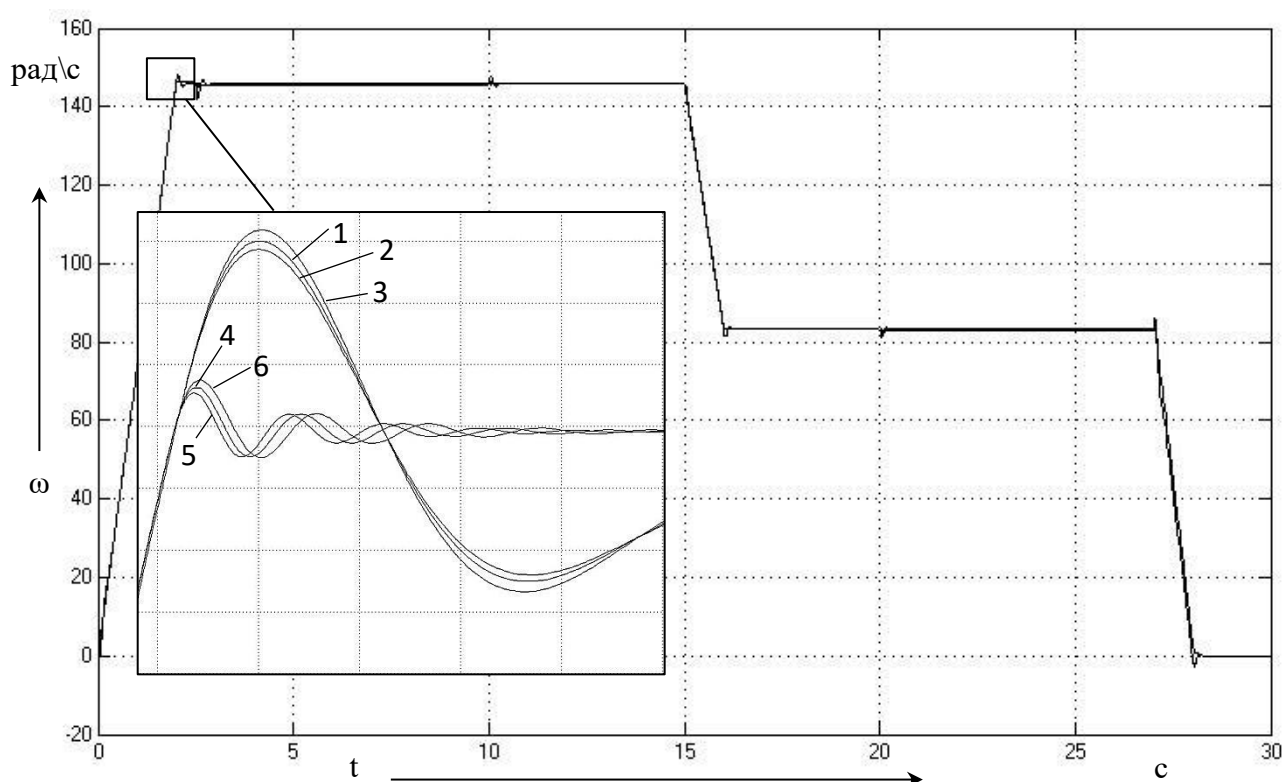
1 – классическая система управления; 2 – двухкаскадная система управления
 Рисунок 4.8 – Динамические характеристики системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости, настроенной на режим «сверх номинальной скорости»

Анализ переходных характеристик, приведенных на рисунках 4.7 и 4.8, позволяет говорить о том, что благодаря внедрению в систему двухкаскадного НЛР удалось обеспечить устойчивый к возмущениям и качественный переходный процесс системы с отсутствующим перерегулированием.

Исследование работоспособности системы управления проводилось путем анализа реакции системы на обработку управляющего сигнала сложной формы при резко переменной нагрузке на валу двигателя. Путем изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в диапазоне от -15% до 15% от номинального значения, что отражено в таблице 4.2, был проведен анализ эффективности работы МНСУ [86-89].

Таблица 4.2 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в МНСУ с комбинацией алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамдани (режим работы «до номинальной скорости»)

Диапазон изменения параметра, %	-15	0	+15
Значение K_p	25,857	30,42	34,983
Значение h_{max} классической системы	148,089	147,998	147,930
Значение h_{max} системы с МНЛР	146,875	146,813	146,773



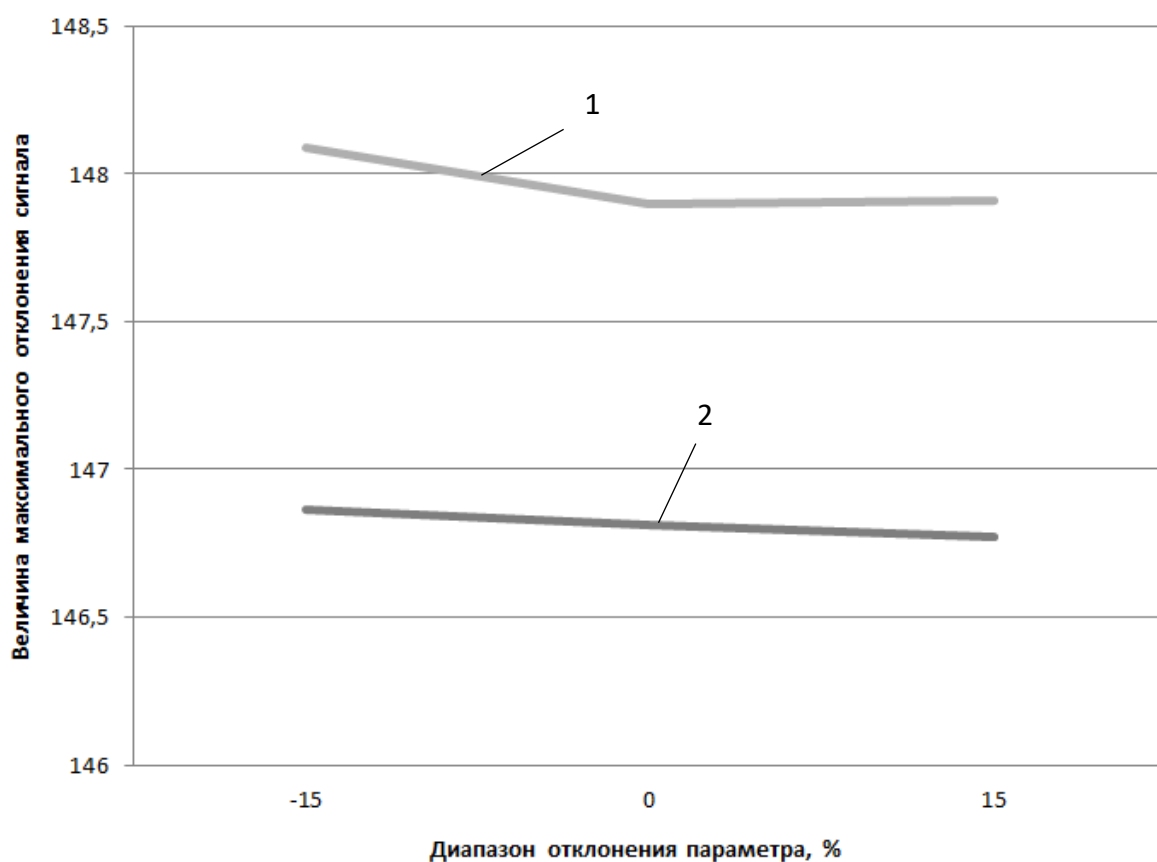
1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – МНСУ; 5 – МНСУ +15%; 6 – МНСУ -15%

Рисунок 4.9 – Переходные характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости, функционирующей в режиме работы «до номинальной скорости»

Результаты реакции моделей классической и двухкаскадной нечеткой систем управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости на отработку задающего воздействия при работе в режиме «до номинальной скорости» приведены на рисунке 4.9. Исходя из представленных результатов моделирования, можно сделать вывод, что полученная интеллектуальная система двухзонного регулирования обладает

преимуществами по быстрдействию и перерегулированию относительно классического варианта [108].

Диаграмма отклонения максимального значения выходного сигнала двухзонной системы регулирования скорости в режиме «до номинальной» приведена на рисунке 4.10. Она наглядно отображает, что изменение коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в диапазоне [-15%; 15%] от номинального значения оказывает наименьшее влияние на МНСУ по сравнению с классической системой регулирования.



1 – система с классическим регулятором,

2 – МНСУ с сочетанием алгоритмов Сугено-Мамдани

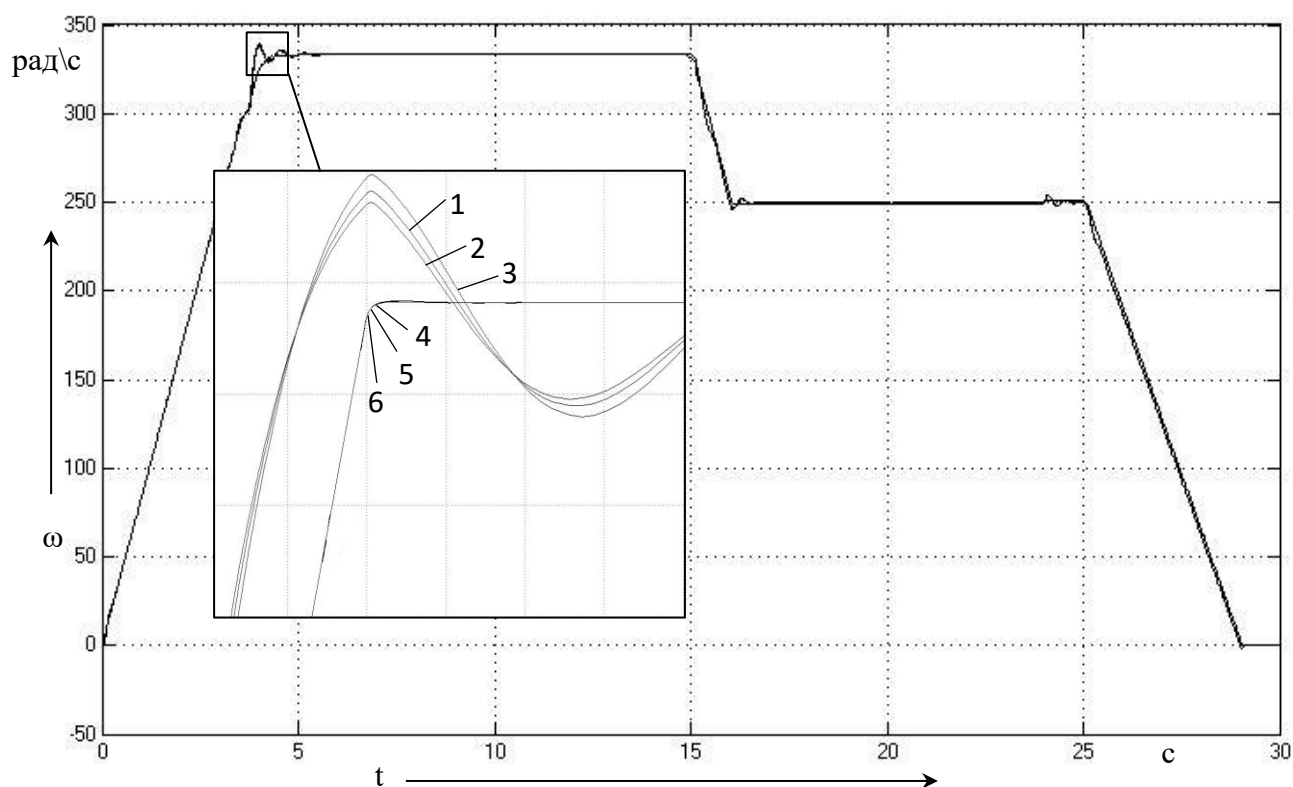
Рисунок 4.10 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в широком диапазоне значений для системы в режиме «до номинальной скорости»

В таблице 4.3 приведена вариация коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи, на основании которой сформирована диаграмма отклонения максимальной величины выходного сигнала двухзонной системы

регулирования, работающей в режиме «сверх номинальной скорости» (рисунок 4.12).

Таблица 4.3 – Нестационарность коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в МНСУ с комбинацией алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамдани (режим работы «сверх номинальной скорости»)

Диапазон изменения параметра, %	-15	0	+15
Значение K_p	25,857	30,42	34,983
Значение h_{max} классической системы	339,829	339,091	338,590
Значение h_{max} системы с МНЛР	333,334	333,334	333,334

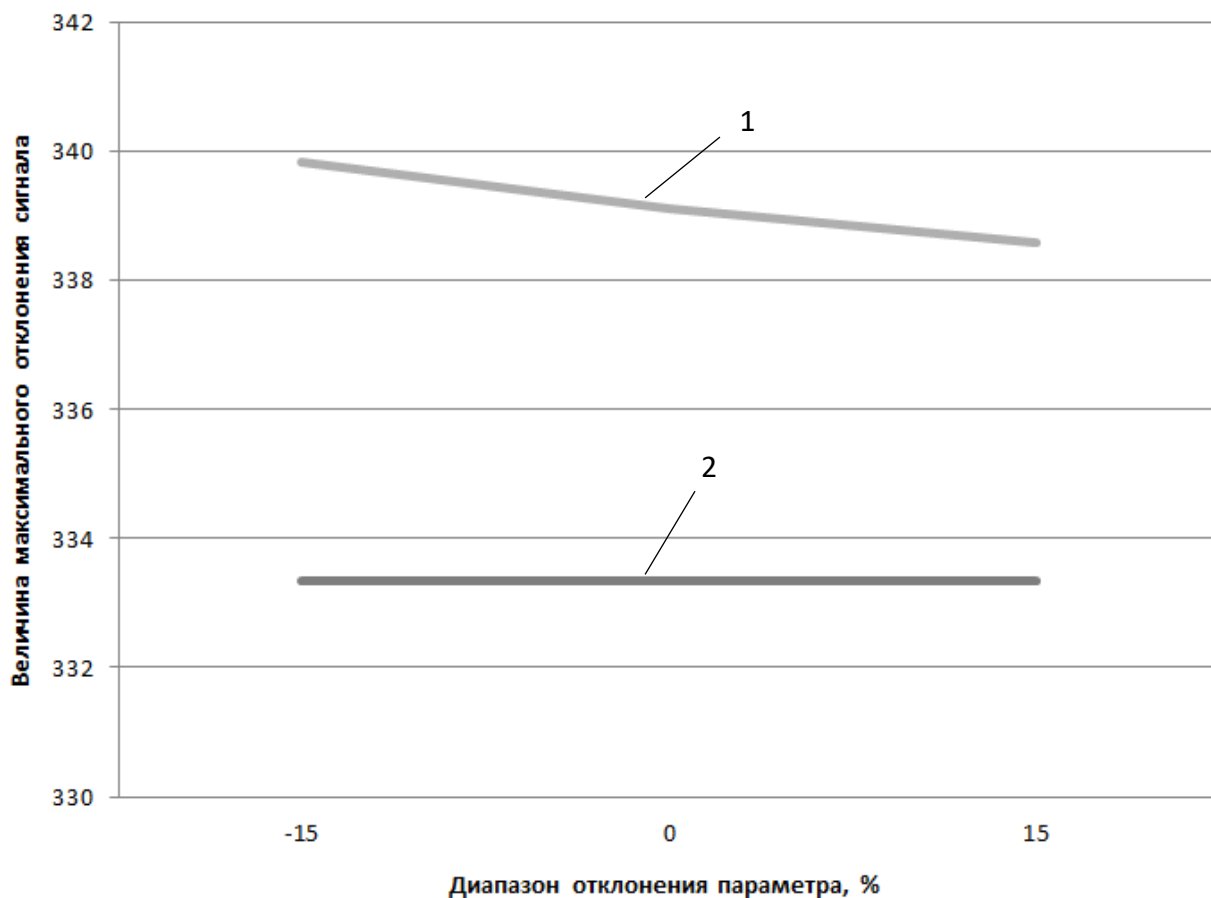


1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – МНСУ; 5 – МНСУ +15%; 6 – МНСУ -15%

Рисунок 4.11 – Переходные характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости, функционирующей в режиме работы «выше номинальной скорости»

Согласно результатам моделирования нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости при отработке задающего воздействия (рисунок 4.11) можно сделать вывод, что внедрение в систему интеллектуального регулятора, основанного на нечеткой

логике, взамен классического аналога позволило добиться улучшения стабильности протекания процесса - отсутствуют колебания, наблюдаемые на графике отработки угловой скорости с применением классического регулятора.



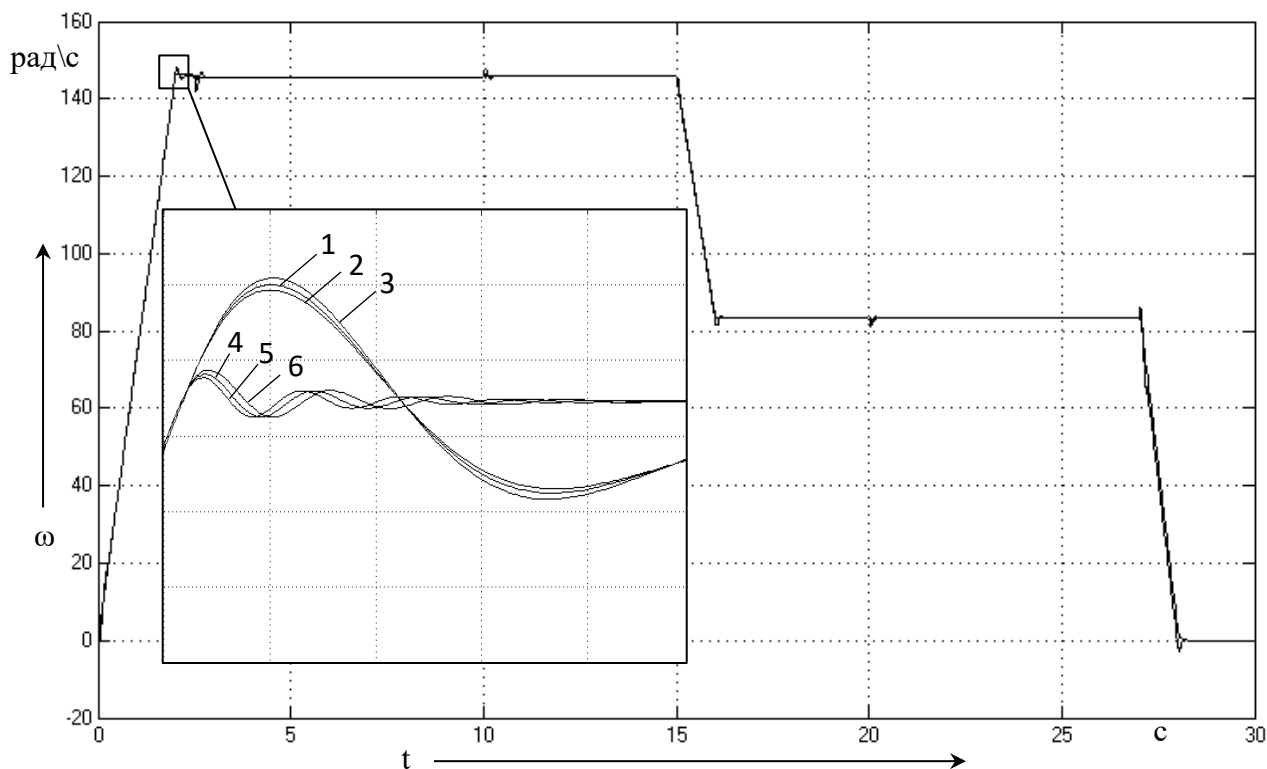
- 1 – система с классическим регулятором,
- 2 – МНСУ с сочетанием алгоритмов Сугено-Мамдани

Рисунок 4.12 - Диаграмма отклонения максимального значения сигнала при изменении коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в широком диапазоне значений в режиме «сверх номинальной скорости»

Анализ диаграммы, приведенной на рисунке 4.12, позволяет сделать выводы, что изменение режимов работы будет приводить при классической настройке к появлению отклонения от заданной величины на 1,94%. При этом внедрение в систему управления МНЛР позволит существенно снизить влияние изменения параметров объектов регулирования на качество переходных характеристик за счет повышения ее адаптивных свойств.

4.3 Моделирование двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией механизмов нечетких выводов Мамдани-Мамдани

При замене механизма нечеткого вывода в первом каскаде МНЛР, а также структурной трансформации интеллектуального блока, был осуществлен синтез МНСУ с двухзонным регулированием скорости с комбинацией механизмов нечеткого логического вывода Мамдани-Мамдани (рисунки 4.13 и 4.14). Отличительной особенностью при настройке такой МНСУ является изменение консеквентов правил в базе знаний и замена нечетких переменных в блоке дефаззификации НЛР внешнего каскада на постоянные коэффициенты [90-94, 111].



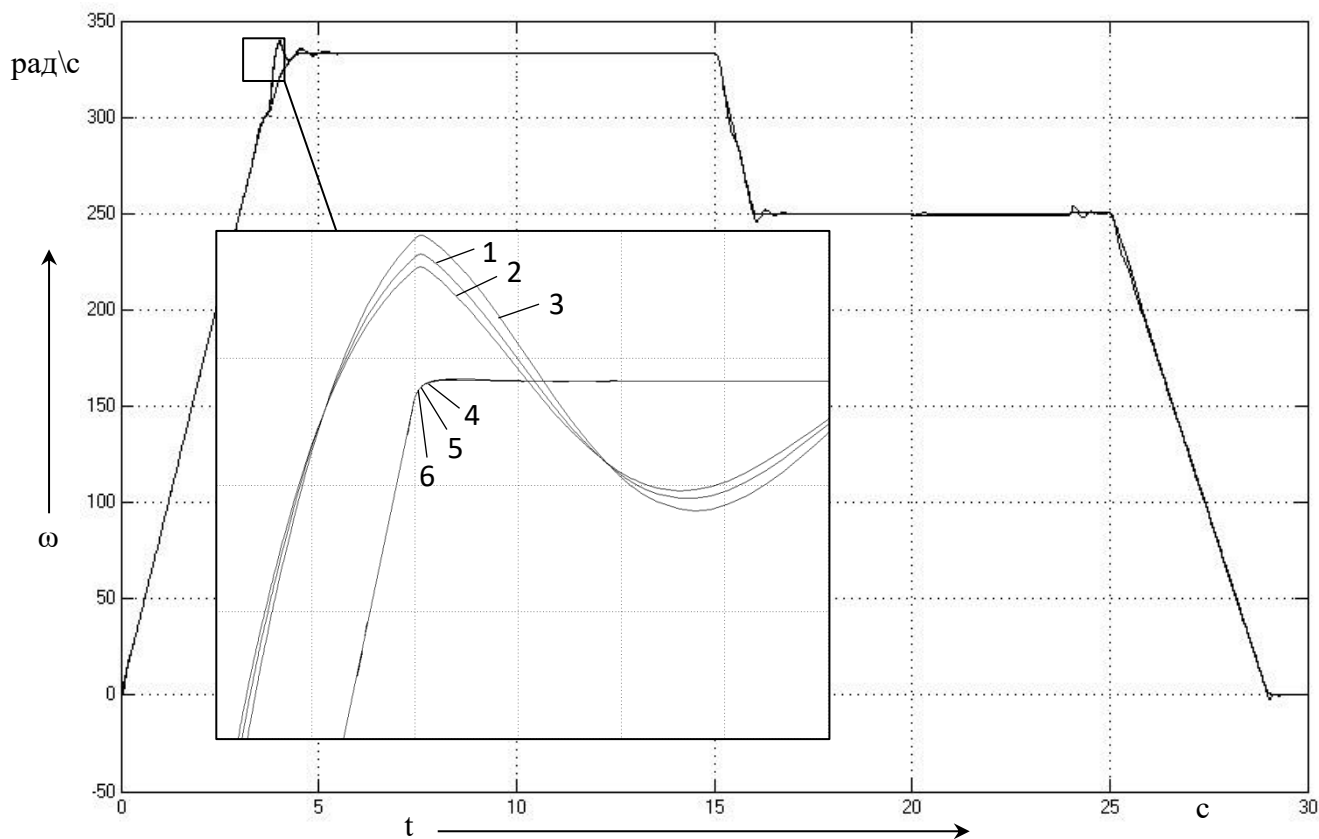
1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 – классическая система -15%; 4 – МНСУ; 5 – МНСУ +15%; 6 – МНСУ -15%

Рисунок 4.13 – Динамические характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости, функционирующей в режиме работы «до номинальной скорости»

В результате синтеза МНСУ с двухзонным регулированием скорости с комбинацией алгоритмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани были получены графики реакции системы при отработке входного воздействия. Анализ

семейства кривых, приведенных на рисунке 4.13, позволяет сделать вывод, что интеллектуальная система регулирования, построенная по предложенной методике, достигает заданного уровня значительно быстрее классической, а также обладает меньшим значением перерегулирования.

Проверка эффективности предложенной методики осуществлялась таким же образом, как и для случая, где в основу функционирования внешнего регулятора МНСУ был заложен алгоритм вывода Сугено. В результате исследования были получены одинаковые графики для МНСУ с двухзонным регулированием скорости с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамадани и Мамдани-Мамдани, следовательно, таблица 4.2 и диаграмма, изображенная на рисунке 4.10, будут правомерны для обоих случаев.



1 – классическая система; 2 – классическая система +15%; 3 - классическая система -15%; 4 – МНСУ; 5 – МНСУ +15%; 6 – МНСУ -15%

Рисунок 4.14 – Динамические характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости, функционирующей в режиме работы «выше номинальной скорости»

Аналогичным образом был осуществлен синтез двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией алгоритмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани при работе в режиме «сверх номинальной скорости», переходные характеристики которой приведены на рисунке 4.14 [95-97].

Кроме того, переходные характеристики двухкаскадной нечеткой системы управления с двухзонным регулированием скорости с комбинацией механизмов нечеткого вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани, функционирующих в режиме работы «выше номинальной скорости», совпадают, тогда и показатели качества переходного процесса (таблица 4.3) и диаграмма, построенная на основании этих данных, приведенная на рисунке 4.12, будут идентичными.

Анализ результатов моделирования интеллектуальной системы управления с двухзонным регулированием скорости указывает на правомерность применения методов мягкого вычисления при синтезе такой имитационной модели. Предложенная методика позволяет повысить свойства универсализма развитого НЛР путем увеличения числа простейших элементов вложенного каскада, при этом упрощает процедуры вывода, сокращает алгоритмическую сложность подобных регуляторов и увеличивает адаптивные свойства, а также повышает быстродействие системы в целом.

4.4 Анализ реакции системы на отработку задающего сигнала сложной формы

Путем подачи задающего сигнала сложной формы (рисунок 4.15) был осуществлен сравнительный анализ поведения системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости с различным сочетанием нечетких выводов при работе в режимах «до номинальной скорости» и «сверх номинальной скорости». Формирование управляющего воздействия на выходе МНЛР осуществляется путем суммирования составляющих вложенного каскада [98, 99, 117]. В результате синтеза МНСУ с комбинацией механизмов нечеткого

вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани были получены динамические характеристики, приведенные на рисунках 4.16 и 4.17.

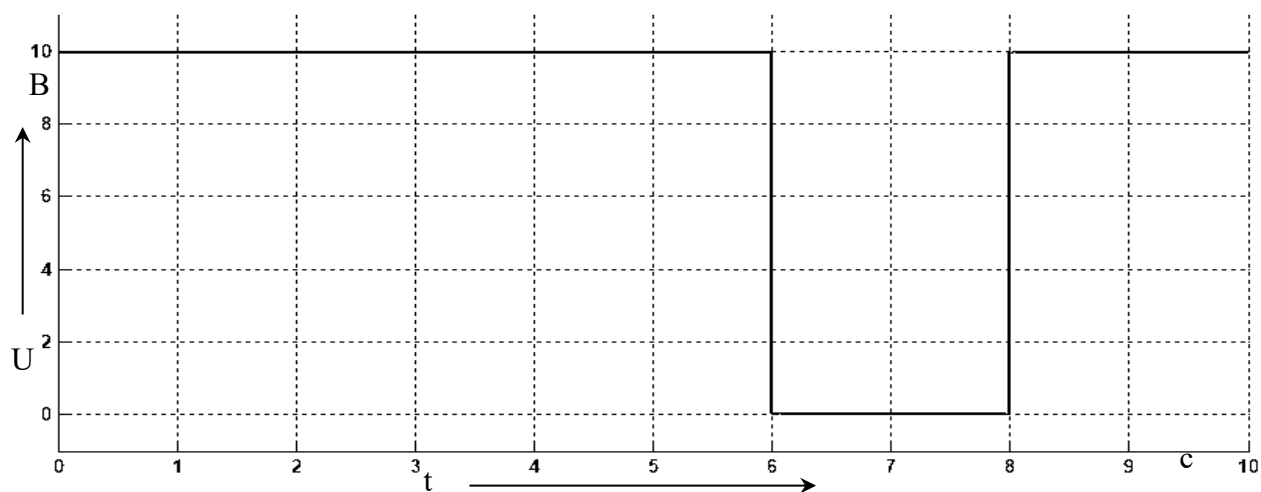
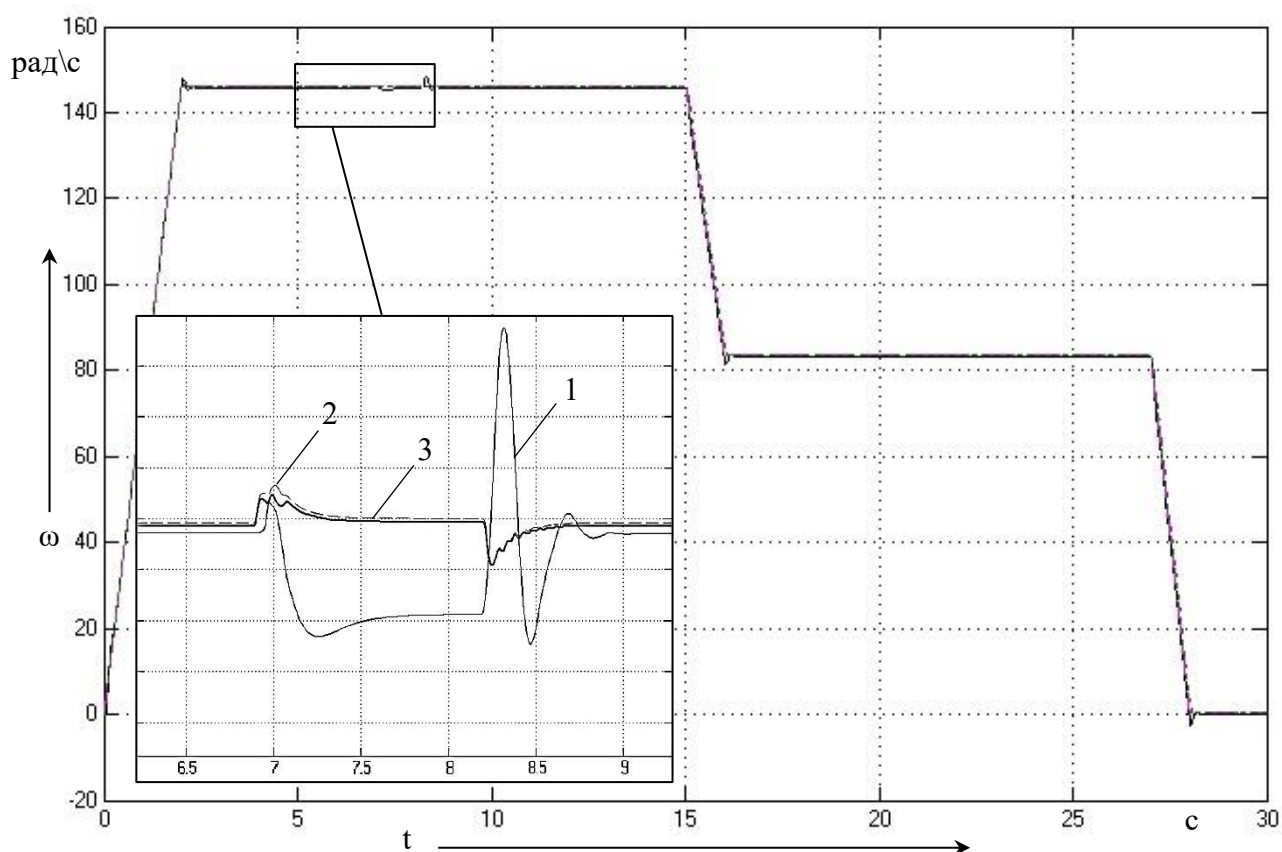


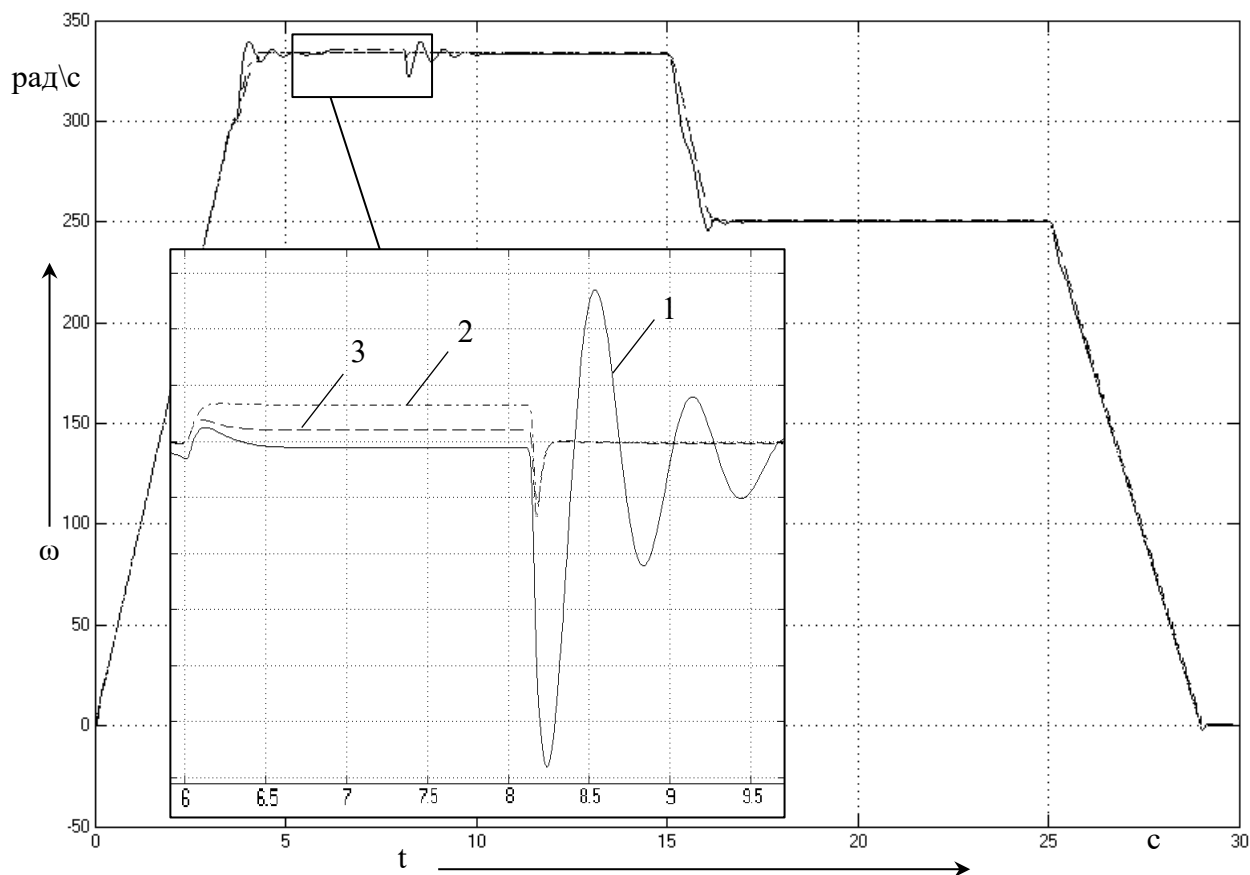
Рисунок 4.15 – Форма задающего сигнала системы



1 – классическая система, 2 – двухкаскадная система с комбинацией механизмов нечеткого вывода Сугено-Мамдани, 3 – двухкаскадная система с комбинацией механизмов нечеткого вывода Мамдани-Мамдани

Рисунок 4.16 – Динамические характеристики двухкаскадной и классической системы с двухзонным регулированием скорости при работе в режиме «до номинальной скорости» и подачей сложного ступенчатого задающего воздействия

Переходные характеристики двухзонной системы управления электрическим приводом, работающей в режиме «до номинальной скорости» (рисунок 4.16), позволяют выполнить оценку ключевых показателей качества регулирования при функционировании МНСУ с различным сочетанием алгоритмов выводов.



1 – система с классическим регулятором, 2 – МНСУ с комбинацией механизмов выводов Сугено-Мамдани, 3 – МНСУ с комбинацией механизмов выводов Мамдани-Мамдани

Рисунок 4.17 – Динамические характеристики двухкаскадной и классической системы с двухзонным регулированием скорости при работе в режиме «сверх номинальной скорости» и подачей сложного ступенчатого задающего воздействия

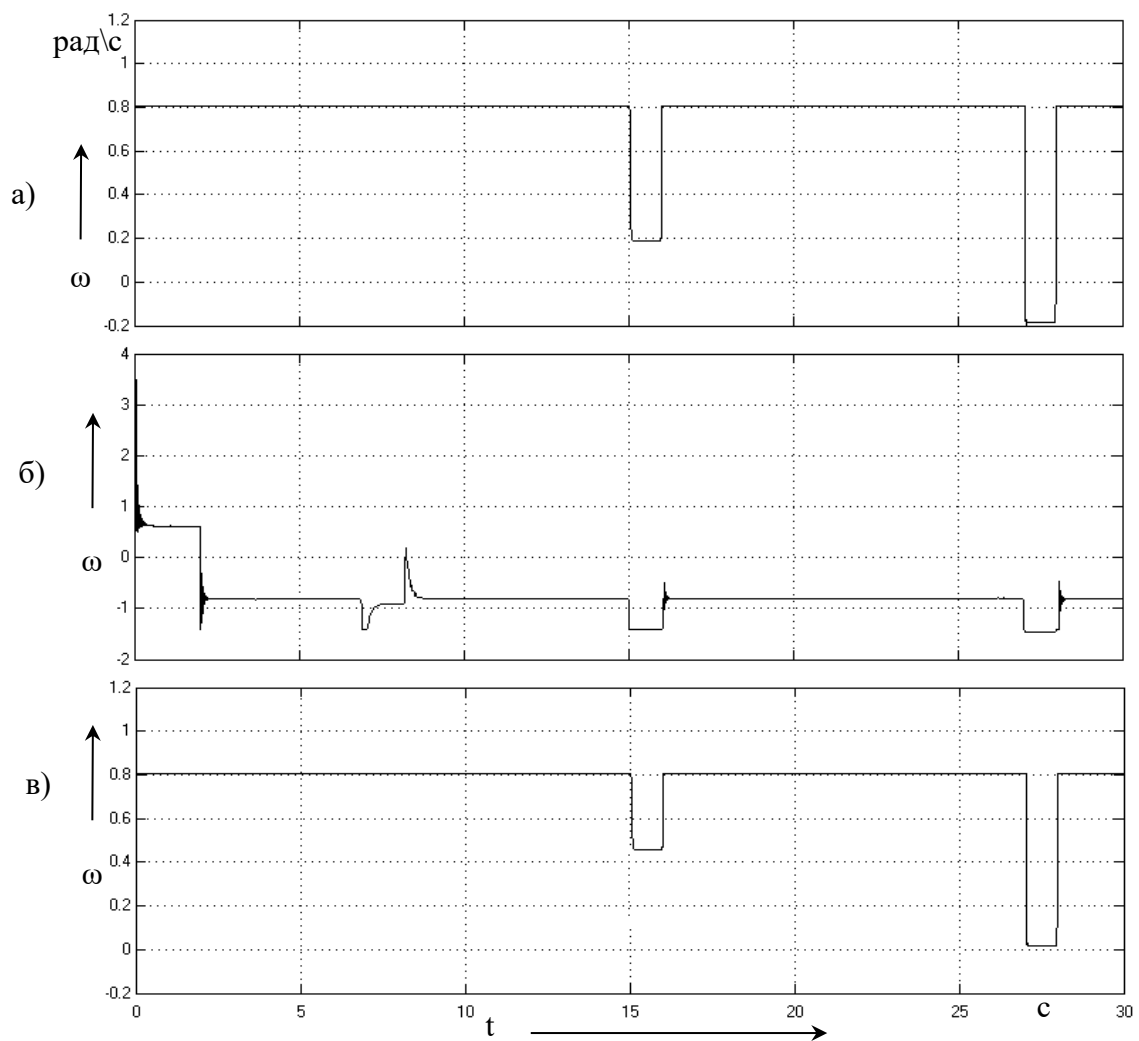
Двухкаскадная нечеткая система регулирования с комбинацией механизмов выводов Мамдани-Мамдани формирует выходной сигнал с меньшей величиной отклонения от заданного уровня при подаче ступенчатого воздействия на нее относительно интеллектуальной системы регулирования с альтернативной комбинацией механизмов выводов. Кроме того, обе интеллектуальные системы с внедренным в нее МНЛР, проявляют адаптивные

свойства и обладают лучшими показателями по быстродействию относительно классической системы управления с двухзонным регулированием скорости.

В результате синтеза многокаскадных нечетких алгоритмов по предложенной методике было проведено исследование системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости при работе в режиме «сверх номинальной», динамические характеристики которой приведены на рисунке 4.17.

Анализ переходных процессов интеллектуальной и классической системы, приведенных на рисунке 4.17, позволяет сделать вывод, что в результате подачи на вход системы сигнала ступенчатой формы (рисунок 4.15) двухкаскадная нечеткая система с комбинацией механизмов выводов Мамдани-Мамдани будет обладать меньшим отклонением от выходного уровня классически настроенной системы, в то время как МНСУ с комбинацией алгоритмов выводов Сугено-Мамдани формирует скачок большой по амплитуде. Кроме того следует отметить, что двухзонная система регулирования, настроенная классическим методом, по окончании действия задающего сигнала сложной формы дольше выходит на установившееся значение, тем самым увеличивая время регулирования системы в целом.

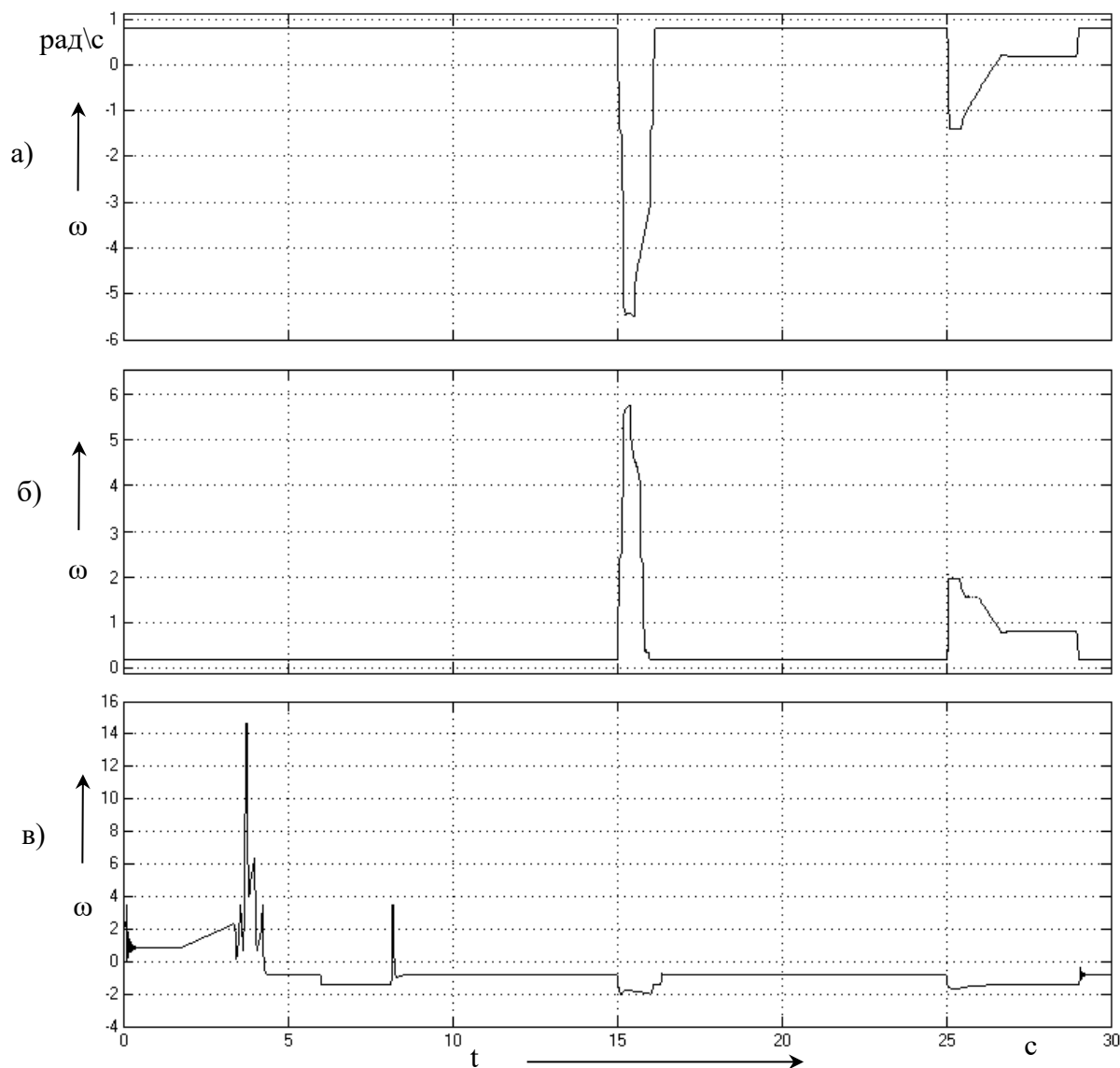
Динамические характеристики, формирующие итоговый сигнал управления на выходе МНЛР с комбинацией механизмов нечеткого вывода Сугено-Мамдани при работе системы с двухзонным регулированием скорости в режимах «до номинальной скорости» и «выше номинальной скорости», отображены на рисунках 4.18 и 4.19 соответственно.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 4.18 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления для двухкаскадной нечеткой системы управления с комбинацией механизмов вывода Сугено-Мамдани при работе в режиме «до номинальной скорости»

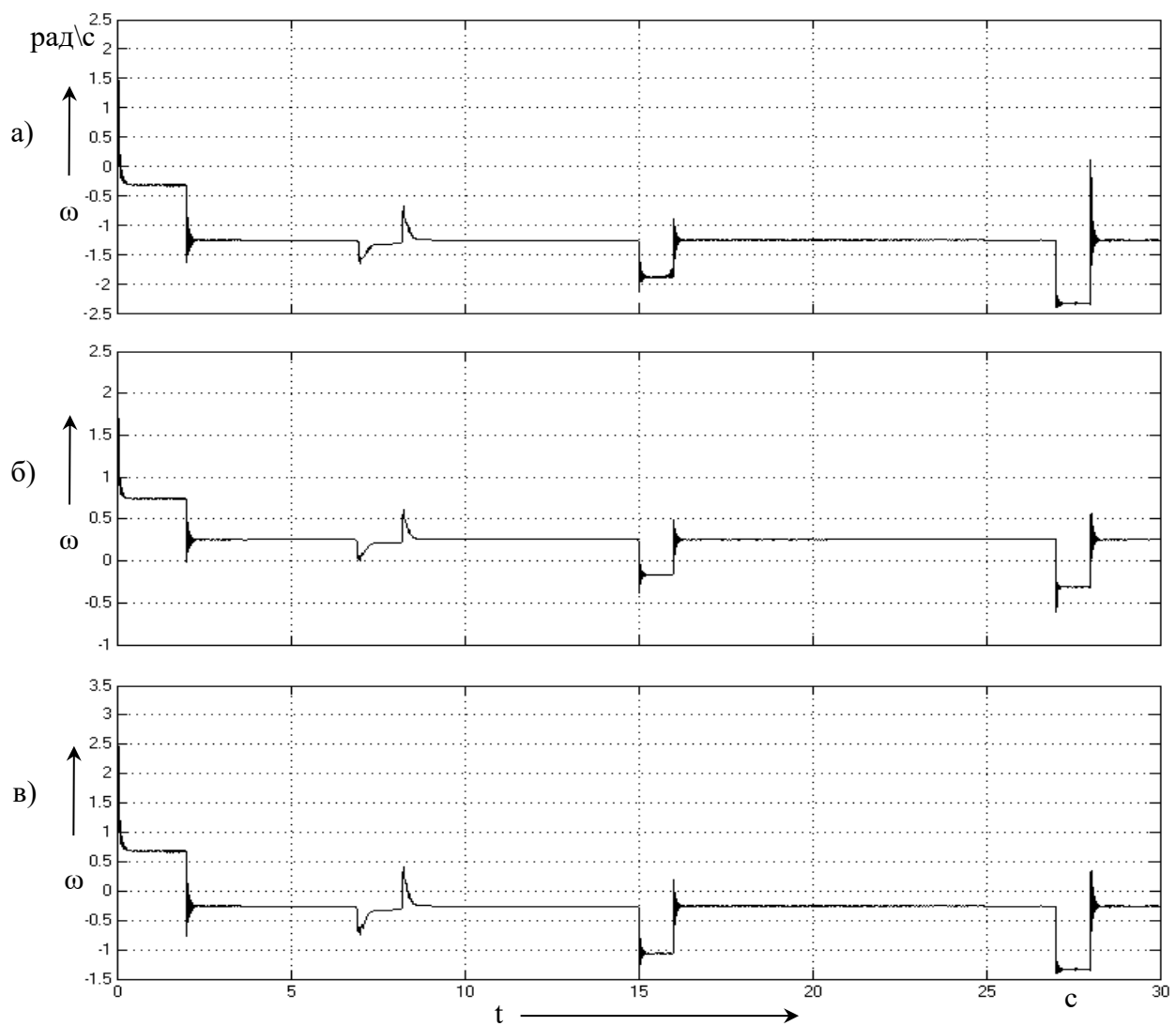
Анализ переходных характеристик, приведенных на рисунке 4.18, позволяет сделать следующие выводы: основную задачу формирования закона управления в МНСУ осуществляет НЛР «mam2», при этом НЛР «mam1» и «mam3» выполняют функцию стабилизации состояния переходного процесса системы при больших и малых значениях входного сигнала.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 4.19 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления для двухкаскадной нечеткой системы управления с комбинацией механизмов вывода Сугено-Мамдани при работе в режиме «выше номинальной скорости»

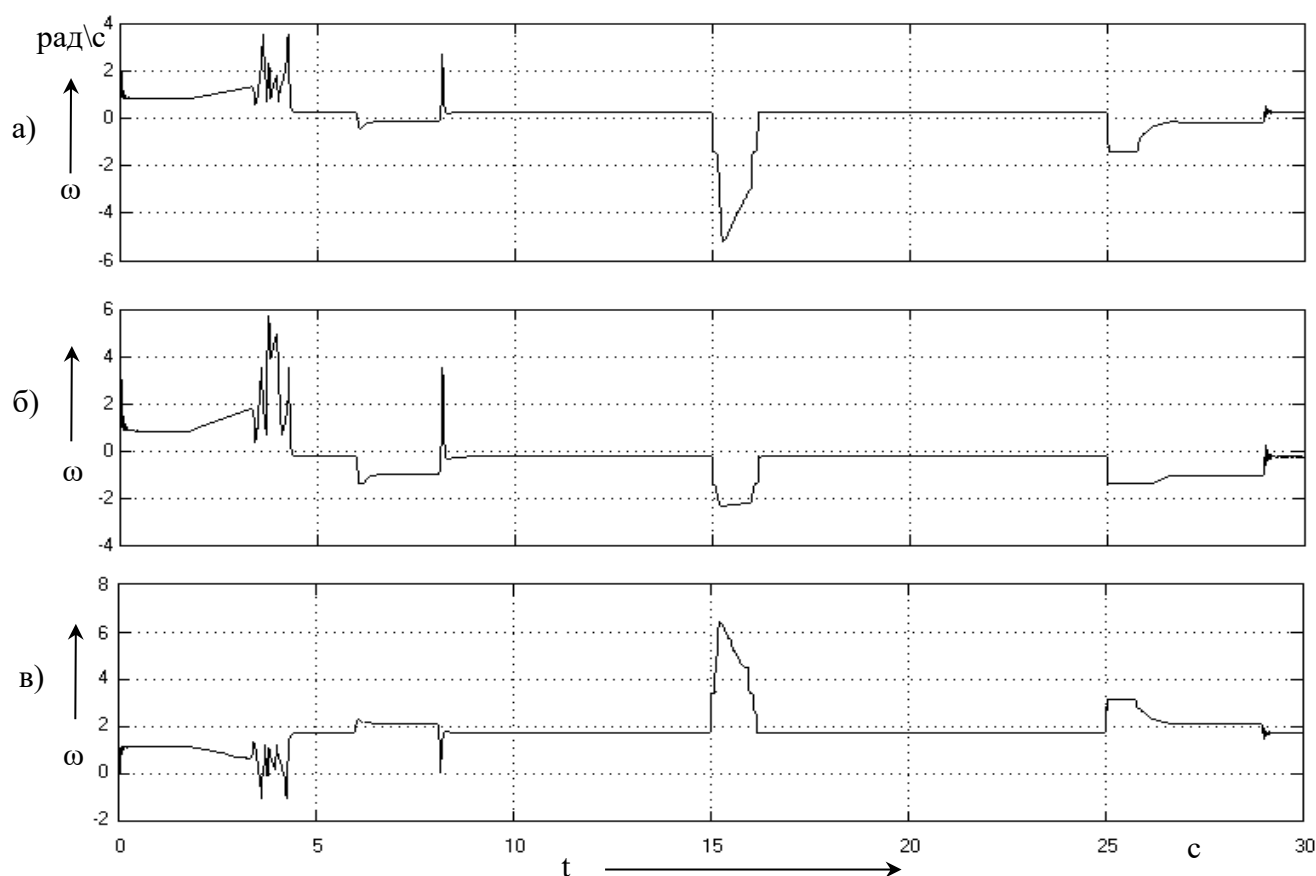
При переходе в режим работы «выше номинальной скорости» (рисунок 4.19) ключевым элементом, определяющим закон регулирования, является НЛР «mam3», а НЛР «mam2» и «mam1» реализуют свои управляющие функции в момент перехода системы из одного режима в другой.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 4.20 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления для двухкаскадной нечеткой системы управления с комбинацией механизмов вывода Мамдани-Мамдани при работе в режиме «до номинальной скорости»

Подобным образом был осуществлен синтез МНСУ с альтернативным сочетанием алгоритмов нечеткого вывода. Результаты моделирования приведены на рисунках 4.20 и 4.21. Необходимо отметить, что в обоих случаях все три НЛР формируют управляющий сигнал в моменты времени различных режимов работы электропривода.



а – НЛР «mam2», б - НЛР «mam1», в - НЛР «mam3»

Рисунок 4.21 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления для двухкаскадной нечеткой системы управления с комбинацией механизмов вывода Мамдани-Мамдани при работе в режиме «выше номинальной скорости»

В результате анализа приведенного исследования можно сделать выводы, что применение механизма нечеткого вывода Мамдани в первом каскаде МНЛР позволяет получить адаптированные переходные характеристики в результате синтеза МНСУ электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости по предложенной методике. Необходимо отметить, что применение альтернативной комбинации алгоритмов нечеткого вывода Сугено-Мамдани позволяет получить соизмеримые результаты моделирования. Таким образом, анализ результатов моделирования интеллектуальной двухзонной системы управления показал, что применение предложенной методики синтеза многокаскадных нечетких алгоритмов позволяет повысить основные показатели качества переходного процесса, что особенно явно наблюдается на участке подачи и съема задающего сигнала сложной формы.

Выводы по четвертой главе

1. Получена модель интеллектуальной системы управления двухзонным регулированием скорости, основанной на применении многокаскадного нечеткого логического регулятора с различным сочетанием алгоритмов вывода.
2. Проведено исследование работоспособности системы управления путем анализа ее реакции на изменения коэффициента усиления тиристорного преобразователя якорной цепи в заданном диапазоне.
3. Проанализировано поведение системы автоматического управления с двухзонным регулированием скорости с различным сочетанием нечетких выводов в режимах работы «до номинальной скорости» и «сверх номинальной скорости».

Заключение

Диссертационная работа посвящена разработке нового принципа построения нечетких систем управления сложными технологическими объектами. Решена актуальная научно-техническая задача, направленная на повышение интеллектуальных свойств нечетких регуляторов путем реализации вложенных иерархических структур построенных по каскадному принципу. Результаты, полученные в рамках работы, основаны на едином подходе синтеза параметров внешнего и внутреннего каскадов МНЛР. Желаемые показатели регулирования технологическим процессом достигнуты за счет гибкого расширения структуры интеллектуальной системы, а также за счет снижения алгоритмической сложности настроек регуляторов, входящих в ее структуру.

В результате исследования получены следующие научные и практические результаты:

1. Получена математическая модель развитой многокаскадной нечеткой системы управления с учетом различных механизмов вывода. Предложенные аналитические выражения позволяют выявить особенности построения развитых нечетких систем на основании выбранного алгоритма вывода внешнего каскада.

2. Реализована имитационная модель многокаскадной нечеткой системы управления сложным объектом автоматизации, позволяющая учесть факторы внутреннего и внешнего характера, а также структурные особенности соединения каскадов, функционирующих на основе различных алгоритмов нечеткого логического вывода.

3. Разработана методика синтеза многокаскадного нечеткого логического регулятора с различной наполняемостью его внутренней структуры, обеспечивающая достижения желаемых показателей качества регулирования с учетом различных особенностей и режимов функционирования объекта управления. Разработанные алгоритмы управления, реализуемые многокаскадным нечетким логическим регулятором для нелинейных объектов управления, продемонстрировали высокие показатели качества динамических характеристик системы независимо от режима работы.

Список литературы

- 1 Бесекерский, В.А. Теория автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб. : Профессия, 2004. – 749 с.
- 2 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – СПб. : Наука, 2000. – 475 с.
- 3 Бабёр, А. И. Системы автоматического управления электроприводами : учебное пособие / А. И. Бабёр. - Минск : РИПО, 2020. - 147 с.
- 4 Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 373 с.
- 5 Кисаримов, Р.А. Электропривод: Справочник / Р.А. Кисаримов. - М.: РадиоСофт, 2012. - 352 с.
- 6 Пospelов, Д. А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Д. А. Пospelова. – М.т: Наука, 1986. – 312 с.
- 7 Гладков Л. А. Генетические алгоритмы : учебник / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. — 2-е изд., исправл. и доп. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 368 с.
- 8 Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; Пер. с польск. И.Д. Рудинского - 2-е изд., стереотип. - Москва :Гор. линия-Телеком, 2013. - 384 с.
- 9 Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп: Перевод с английского. – Лаборатория базовых знаний, 2002.
- 10 Соловьев, В.А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / В.А. Соловьев, С.П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2006. – 74 с.
- 11 Zadeh L. The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems /L. Zadeh, Fuzzy Sets a. Systems. – 1983. – Vol. 11, N 3. – P. 199 – 227.

12 Braae M., Rutherford D.A. Theoretical and Linguistic Aspect of the Fuzzy Logic Controller / Automation, Perg. Press. – 1979. – Vol.12. – P. 553 – 557.

13 Соловьев, В.А. Алгоритм и программная реализация синтеза НЛР по прямым показателям качества / В. А Соловьев, А.В. Кончин //Сб. научн. трудов междунар. науч.-т. конф. – ЭЭЭ-2003. – Комсомольск-на-Амуре. – 2003. – С. 55 – 59.

14 Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин – М.: Наука, 1990. – 272 с.

15 Искусственный интеллект. – В 3т. : Системы общения и экспертные системы: справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.

16 Mamdani, E.H. Application of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant / E.H. Mamdani. - Proceedings of IEEE, №121, 1974, pp. 1585-1588.

17 Литвак, Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б.Г. Литвак – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

18 Блишун, А.Ф. Обоснование операций теории нечетких множеств / А. Ф. Блишун, С.Ю. Знатнов – В кн.: Нетрадиционные модели и системы с нечёткими знаниями.

19 Барский, А. Б. Логические нейронные сети : учебное пособие / А. Б. Барский. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - 354 с.

20 Темкин, И. О. Искусственные нейронные сети в АСУ ТП : учебник / И. О. Темкин, В. Б. Трофимов. - Москва : Издательский Дом НИТУ МИСИС, 2023. - 352 с.

21 Барский, А. Б. Введение в нейронные сети : краткий учебный курс / А. Б. Барский. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - 260 с.

22 Nguyen, D. Neural Networks for Self-Learning Control Systems / D. Nguyen – IEEE Control Systems. —1990.—Vol. 10. – P. 18 – 23.

23 Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад – М: Радио и связь, 1990. – 288 с.

24 Батыршин, И.З. Иерархическая кластеризация на основе нечисловой информации о близости. Нечисловая статистика, экспертные оценки и смежные вопросы / И.З. Батыршин – М.: Таллин, 1984. – С. 277.

25 Ивашко, В.Г. Оценки правдоподобия в производственных экспертных системах / В. Г. Ивашко, С.О. Кузнецов // Экспертные системы: состояние и перспективы. – М.: Наука, 1989. – С. 92-103.

26 Поспелов, Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д. А. Поспелов – М.: Энергия, 1981. – 231с.

27 Шекшня, В.Л. Следящие системы / В.Л. Шекшня, С.А. Хризолитова – М. : МЭИ, 1966. – 140 с.

28 Яворский, В.Н. Проектирование инвариантных следящих приводов / В.Н. Яворский – М. : Высшая школа, 1963. – 476 с.

29 Есупов, Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Н.Д. Есупов, К.А. Пупков. - Т. 3. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

30 Данилов, А. Компьютерный практикум по курсу «Теория управления» / А. Данилов - Simulink-моделирование в среде Matlab. МГУИЭ, 2002.

31 Черный, С.П. Методы оценки устойчивости нечетких систем управления / С.П. Черный, С.И. Сухоруков, Д.А. Манчук // «Вестник «ТОГУ» – Хабаровск. - 2014. - № 3(34). – С.49-54.

32 Сухоруков, С.И. Разработка интеллектуального модуля прогнозирования образования гололеда на проводах линий электропередач / С.И. Сухоруков, В.А. Соловьев, С.П. Черный, Д.О. Савельев, К.Е. Костин // Ученые записки КНАГТУ. - Комсомольск-на-Амуре. - 2015, - № III - 1(23), «Науки о природе и технике». – С.24-30.

33 Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 136с.

34 Колесников, А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Энергетические системы / А.А. Колесников, Г.Е. Веселов, А.Н. Попов и др. - М.: КД Либроком, 2019. - 248 с.

35 Ульянов, С. В. Мобильные интеллектуальные системы с роботами вертикального перемещения / С. В. Ульянов, - «Системный анализ в науке и образовании» №2, 2011.

36 Дружинина, О.В. Методы исследования устойчивости и управляемости нечетких и стохастических динамических систем / О.В. Дружинина, О.Н. Масина. - М.: ВЦ РАН, 2009.

37 Бакаев, В.В. Система управления установкой пиролиза древесины с элементами искусственного интеллекта / В.В. Бакаев, В.А. Соловьев, С.П. Черный. - Журнал 1(3) "Информатика и системы управления". - Благовещенск 2002

38 Черный, С.П. Нечеткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С.П. Черный, Д.А. Новак // Электротехнические комплексы и системы управления. - Воронеж: Издательский дом «Кварта». - 2012, - №4 (28), - С. 56-60.

39 Соловьев, В.А. Многокаскадные нечеткие системы управления мобильной установкой пиролиза древесины / В.А. Соловьев, С.П. Черный, А.И. Малюкова // Электротехнические комплексы и системы управления, Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2010, №3, С.45-51.

40 Черный, С.П. Моделирование следящей системы управления с применением многокаскадного нечеткого регулятора / С.П. Черный, И.Е. Бичаев // Электротехнические комплексы и системы управления. - Воронеж: Издательский дом «Кварта». - 2014. - №1 (33). - С. 47-54.

41 Сухоруков С.И. Система управления модулем подачи и позиционирования проволоки для роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий / С.И. Сухоруков, С.П. Черный, А.В. Бузикаева, А.Р. Овсянников. - Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2022. Т. 65. № 3. С. 66-73. (K1, RSCI)

42 Mazandarani, M. Z-differential equations / M. Mazandarani Mehran, Y. Zhao. - IEEE Trans Fuzzy Syst 2019.

43 Sancı, E. Rebalancing the assembly lines: exact solution approaches / E. Sancı, M. Azizoglu. - Int. J. Prod. Res. 55 (2017) 5991–6010.

44 Дружинина, О.В. Анализ устойчивости и стабилизация нелинейных каскадных систем с запаздыванием в терминах линейных матричных неравенств

/ О.В. Дружинина, Н.О Седова. Известия РАН. Теория и системы управления. 2017. № 1. С. 21–35.

45 Harris, C.J. Intelligent identification and control for autonomous guided vehicles using adaptive fuzzy-based algorithms / C.J. Harris, C.G. Moore. - Eng. Appl. of AI, 1989. –Vol. 2. – № 4.

46 Емельянов, С.Г. Автоматизированные нечетко-логические системы управления: Монография / С.Г. Емельянов, В.С. Титов, М.В. Бобырь. - М.: Инфра-М, 2017. - 120 с.

47 Емельянов, С.Г. Адаптивные нечетко-логические системы управления: Монография / С.Г. Емельянов. - М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2013. - 184 с.

48 Блишун, А.Ф. Обоснование операций теории нечётких множеств / А. Ф. Блишун, С. Ю. Знатнов – В кн. : Нетрадиционные модели и системы с нечёткими знаниями.

49 Hazzab, A. Real time implementation of fuzzy gain scheduling of PI controller for induction motor control / A. Hazzab, I.K. Bousserhane, M. Zerbo, P. Sicard. - Springer Neural Processing Letters, 2006, №24, pp. 203–215.

50 Letting, L.K. Optimization of a fuzzy logic controller for PV grid inverter control using S-function based PSO / L.K. Letting, J.L. Munda, Y. Hamama. - Sol. Energy, №86, 2012, pp. 1689-1700.

51 Черный С.П. Анализ возможностей снижения информационной избыточности нечетких регуляторов / С.П. Черный, А.А. Духно, Д.Ю. Чигрин, Б.Н. Толибов. - Ученые записки КнАГТУ, Комсомольск-на-Амуре, 2017, № I - 2(30), «Науки о природе и технике». – С. 12-21

52 Терехин, В. Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие / В. Б. Терехин, Ю. Н. Дементьев – Томск: ТПУ, 2013. – 307 с.

53 Якуничева, О.Н. Проектирование электропривода промышленных механизмов: Учебное пособие / О.Н. Якуничева, А.П. Прокофьева. - СПб.: Лань, 2014. - 448 с.

54 Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М.: Мир., 2009. – 324с.

55 Искусственный интеллект и принятие решений: Когнитивные исследования. Эволюционные вычисления. Интеллектуальные системы и технологии. Многокритериальный анализ решений / Под ред. С.В. Емельянова. - М.: Ленанд, 2012. - 128 с.

56 Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн.2. Системы общения и экспертные системы: справочник / Под ред. Э.В. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.

57 Искусственный интеллект.- В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы: справочник/Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990.- 304 с.

58 Иванкова, Е.П. Оптимизация распределения функций принадлежности при синтезе нечеткого регулятора для систем управления тепловыми процессами / Е.П. Иванкова, В.Г. Косицын, В.А. Соловьев, С.П. Черный - Журнал 1(5) "Информатика и системы управления". - Благовещенск 2003.

59 Савельев, Д.О. Один из подходов к решению комплексной задачи компенсации нелинейных элементов систем автоматического управления с применением теории нечетких множеств / Д.О. Савельев, С.П. Черный / Электропривод на транспорте и в промышленности: тр. II Всерос. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 20-21 сентября 2018 г.) / под ред. С.В. Власьевского. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018. – С.276-280

60 Савельев, Д.О. Компенсация совокупности естественных и искусственных нелинейностей многоканальным нечетким регулятором / Д.О. Савельев, С.П. Черный. - Производственные технологии будущего: от создания к внедрению материалы международной научно-практической конференции, г. Комсомольск-на-Амуре, 5-6 сентября 2018 г. / редкол.: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – С. 165-168

61 Жбанова, Н.Ю. Моделирование процесса варки сахара с использованием нейронечеткой переключаемой модели / Н.Ю. Жбанова. - Сборник трудов по итогам XVII Международной открытой научной конференции «Современные

проблемы информатизации в анализе и синтезе программных и телекоммуникационных систем», 2012. Вып. 17, с. 300-302.

62 Procyk, T. J. A Linguistic Self-Organizing Process Controller / T. J. Procyk, E. N. Mamdani – Automatica. – 1979. – Vol.15. – P. 15 – 30.

63 Искусственный интеллект.- В 3-х кн. Кн.3. Программные и аппаратные средства: справочник/Под ред. В.Н. Захарова, В.Ф. Хорошевского.-М.:Радио и связь, 1990.- 368 с.

64 Кандрашина, Е. Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е.Ю. Кандрашина. – М. : Наука, 1989. – 219с.

65 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Том 1. Линейные системы / Д.П. Ким. - М.: Физматлит, 2007. - 312 с.

66 Палагута, К.А. Интегрированные системы проектирования и управления / К.А. Палагута, А.С. Семенов. - М.: МГИУ, 2008. - 204 с.

67 Бакаев, В.В. Система управления установкой пиролиза древесины с элементами искусственного интеллекта / В.В. Бакаев, В.А. Соловьев, С.П. Черный. - "Информатика и системы управления". №1(3)- Благовещенск 2002

68 Соловьев, В.А. Ледообразование на линиях электропередач. Причины возникновения. Методы удаления. / В.А. Соловьев, С.И. Сухоруков, С.П. Черный. - Владивосток: Дальнаука, 2018. – 303 с.

69 Суздорф, В.И. Синтез энергосберегающего управления двигателем последовательного возбуждения / В.И. Суздорф, С.П. Черный, А.В. Бузикаева. - Ученые записки КнАГТУ 2020 № III-1(42) «Науки о природе и технике». – С. 19-29.

70 Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока: Монография / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик.. - Мн.: Техноперспектива, 2006. - 363 с.

71 Уланов, Г.М. Динамическая точность и компенсация возмущений в системах автоматического управления / Г.М. Уланов - М.: Издательство "Машиностроение", 1970. – 260 с.

72 Черный, С.П. Анализ влияния параметров объекта управления на основные характеристики нечеткого регулятора / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, Е.О. Полей, Чжо Мин У.– Ученые записки КнАГУ, Комсомольск-на-Амуре, 2018, № I – 1(33), ”Науки о природе и технике”. - С.28-33.

73 Черный, С.П. Интеллектуальные подходы к моделированию сложных объектов / С.П. Черный, А.В. Бузикаева. - Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018г.: в 2 ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – Ч.1 - 500 с.

74 Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов: Учебное пособие / Г.В. Никитенко. - СПб.: Лань, 2013. - 224 с.

75 Афанасьев, В.Н. Управление нелинейными неопределенными динамическими объектами / В.Н. Афанасьев. - М.: Изд-во URSS, 2015.

76 Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 373 с.

77 Васильев, В. И. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики: учеб. Пособие / В. И. Васильев, С. В. Ильясов. – Уфа: ФГБОУ ВО «УГАТУ», 1995. – 200с.

78 Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом // Р. А. Алиев, Н. М. Абдикеев, М. М. Шахназаров.– М.: Радио и связь, 1990.

79 Precup, R.-E. Fuzzy logic control system stability analysis based on Lyapunov's direct method / R.-E. Precup, M.-L. Tomescu, St. Preitl. - Int. J. of Computers, Communications & Control. 2009. V. IV. № 4. P. 415–426.

80 Асаи, К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, С. Иваи, Д. Ватада.- М.: Мир., 2010.- 198с.

81 Zhong, R.Y. Big Data Analytics for Physical Internetbased intelligent manufacturing shop floors / R.Y. Zhong, C. Xu, C. Chen, G.Q. Huang. - Int. J. Prod. Res. 55 (2017), pp. 2610–2621.

82 Urasov D. Second-order aperiodic link modelling with the use of Siemens programmable logical controller SCL hardware / D. Urasov, S. Cherniy, R. Bazhenov, L. Alekseeva, I. Korosteleva. - Journal of Physics: Conference Series, Volume 1661, International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020) 6-8 April 2020, Novosibirsk, Russia. DOI:10.1088/1742-6596/1661/1/012111

83 Tzafestas, S. Incremental fuzzy expert PID control / S. Tzafestas, N. P. Papanikolopoulos. - IEEE Trans. Industr. Electr, 1990. – Vol. 37. – № 5.

84 Zadeh, L. The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems / L. Zadeh, Fuzzy Sets a. Systems. – 1983. – Vol. 11, N 3. – P. 199 – 227.

85 Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003612124. Программа оптимизации распределения функций принадлежности нечеткого регулятора при заданных показателях качества системы управления / Соловьев В.А., Черный С.П., Гудим А.С.; Заявлено 16.07 2003; Зарегистрировано 11.09.2003.

86 Zadeh, L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh. - Information and Control, №8, 1965, pp. 338-353

87 Francis, R. Optimized PI+ load–frequency controller using WNN approach for an interconnected reheat power system with RFB and hydrogen electrolyser units / R. Francis, I.A. Chidambaram. - Int. J. Electr. Power Energy Syst., №67, 2015, pp. 381-392.

88 Fridman, E. Tutorial on Lyapunov-based Methods for Time-delay Systems / E. Fridman. - European J. of Control. 2014. V.20. P.271–283.

89 Assawinchaichote, W. H_∞ output feedback control design for uncertain fuzzy singularly perturbed systems: an LMI approach / W. Assawinchaichote, S.K. Nguang. - Automatica, 2004, №40, pp. 2147-2152.

90 Гудим, А.С. Интеллектуальная система управления следящим электроприводом / А.С. Гудим, В.А. Соловьев. С.П. Черный, Е.Д. Петренко.- Межвузовский сборник научных трудов «Электротехнические системы и комплексы», Магнитогорск: МГТУ, вып.16, 2009г, с.45-48

91 Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп: Перевод с английского. – Лаборатория базовых знаний, 2002.

92 Дружинина, О.В. Алгоритмы стабилизации дискретной управляемой системы с синглтон-выходом / О.В. Дружинина, О.Н. Масина. - Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 12. С. 35–41.

93 Майборода, Л.А. Статистический анализ и оптимизация следящих систем / В.Т. Кочетков, Л.А. Майборода, В.М. Пономарев и др.; под ред. А.В. Поцелуева. - Москва : Машиностроение, 1977. - 360 с. : ил.

94 Орлов, А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные / А.И. Орлов.- М.: Знание, 1980.- 64 с.

95 Хлыпало, Е.И. Нелинейные корректирующие устройства в автоматических системах / Е.И. Хлыпало. - ЛЕНИНГРАД. Издательство "ЭНЕРГИЯ". Издание 1973 года, 344 с.

96 Хлыпало, Е.И. Нелинейные системы автоматического регулирования. Расчет и проектирование / Е.И. Хлыпало. - Под ред. чл.-корр. АН СССР. Е. П. Попова. Л.: Энергия. 1967. - 451 с.

97 Владыко, А.Г. К вопросу синтеза нечетких регуляторов систем электропривода подач / А.Г. Владыко, Ю.Г. Кабалдин, В.А. Соловьев, С.П. Черный. - Нелинейная динамика, фракталы и нейронные сети в управлении технологическими системами // Сб. статей под ред. Докт. Техн. Наук, проф. Кабалдина Ю.Г. - Владивосток: Дальнаука, 2001 - 205 с.

98 Черный, С. П. Моделирование нечеткой многокаскадной системы с двухзонным регулированием / С. П. Черный, Н. Н. Духнов // 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 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 112-115. – EDN SVICSG.

99 Гудим, А.С. Особенности компенсации неоднозначных сопутствующих нелинейностей с использованием нечеткого подхода / А.С. Гудим, С.П. Черный, Д.О. Савельев. - Информатика и системы управления, 2014, №4(42) – С. 149-158.

Основные публикации автора по теме диссертации

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

100 Бузикаева, А.В. Один из подходов к моделированию двухкаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости / С.И. Сухоруков, С.П. Черный, В.А. Соловьев, А.В. Бузикаева // Электротехнические системы и комплексы. 2022, №2 (55). - С. 32-39. (ВАК, К2)

101 Бузикаева, А.В. Разработка интеллектуальной системы управления электроприводом якорной лебедки / А.В. Бузикаева, С.П. Черный, А.К. Тимофеев // Морские интеллектуальные технологии, Научный журнал, № 4 (54), т. 1, 2021. (ESCI, К2)

102 Бузикаева, А.В. Анализ многокаскадных нечётких регуляторов Сугено и Мамдани во внешнем каскаде для систем управления электроприводами переменного тока / А.В. Бузикаева, С.П. Черный // Ученые записки КнАГТУ 2020, № 7(47). – С. 76-84.

103 Бузикаева, А.В. Моделирование нечёткой системы управления электроприводом постоянного тока на основе векторно-матричного описания / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, Ю.А. Давыдов, А.И. Годяев // Ученые записки КнАГТУ 2023, № 3(67). – С. 35-41.

104 Бузикаева, А.В. Особенности моделирования нечетких систем управления с комбинированным внутренним каскадом / А.В. Бузикаева, С.П. Черный, Э.Д. Енин, А.К. Тимофеев, М.И. Шестаков // Ученые записки КнАГТУ 2020, № I-1(41) «Науки о природе и технике». – С. 73-82.

105 Бузикаева, А.В. Анализ влияния параметров объекта регулирования на коэффициенты полинома в алгоритме вывода Сугено первого порядка / С.П.

Черный, А.В. Бузикаева, М.В. Шевченко, А.К. Тимофеев // Учёные записки КНАГТУ 2019, № II-1(38) «Науки о природе и технике». – С. 21-27.

106 Бузикаева, А.В. Один из подходов к реализации модели нечёткого логического регулятора с пространственными функциями принадлежности / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, С.А. Васильченко, А.С. Гудим, Е.О. Полей // Учёные записки КНАГТУ 2018, Т. 1. № 4 (36). С. 25-32.

Публикации в международных наукометрических базах цитирований:

107 Buzikaeva, A.V. Modeling Multi-Cascade Fuzzy Controller with Integrated Implementation of Various Control Laws / S.P. Cherniy, A.V. Buzikayeva, V.I. Susdorf // Proceedings - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2019. 2019. С. 45-48. (Scopus)

108 Buzikaeva, A. Advanced Fuzzy Logic Control System Electrically Driven With Dual-Zone Speed Regulation / Alina Buzikaeva, Sergey Cherniy, Ruslan Bazhenov, Elena Lavrushina, Tatiana Gorbunova, Irina Ledovskikh // AIP Conference Proceedings 2700, 040033 (2023), doi.org/10.1063/5.0125133. (Scopus)

109 Buzikaeva, A.V. Algorithm of fuzzy controller membership function allocation at fuzzification stage / A.V. Buzikayeva, S.P. Cherniy, S.A. Vasilchenko, V.I. Susdorf // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т. 200. С. 117-125. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_13. (WOS)

110 Buzikaeva, A.V. Analysis of approaches to modelling the fuzzy control systems with extension of their functional capabilities / A.V. Buzikayeva, S.P. Cherniy, V.N. Khrulkov, V.I. Susdorf // EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 2020, ew 18: e19. DOI:10.4108/eai.13-7-2018.165496. (Scopus)

111 Buzikaeva, A.V. Intelligent control system for the complex of ultrasonic gas-oxygen burners / A.V. Buzikaeva, S.P. Cherniy, V.A. Solovyev, D.V. Urasov // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т. 200. С. 106-116. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_12. (WOS)

112 Buzikaeva, A.V. A Model of Multi-Cascade Fuzzy Logic Controller Implemented Using Different Variations of Inference Algorithms / A.V. Buzikayeva,

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

113 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664286. Программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора с алгоритмом вывода Мамдани во внешнем каскаде для формирования процедур управления мобильной пиролизной установкой / Черный С.П., Бузикаева А.В., Емельянов К.А., Тимофеев А.К. // Правообладатель: ФГБОУ ВО «КНАГУ», дата поступления заявки: 06.07.2022; дата регистрации: 27.07.2022.

114 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663048 / Программа реализации многокаскадного нечеткого регулятора с механизмом вывода Сугено во внешнем каскаде. Черный С.П., Бузикаева А.В., Емельянов К.А., Сухоруков С.И. // Правообладатель: ФГБОУ ВО «КНАГУ», дата поступления заявки: 27.06.2022; дата регистрации: 11.07.2022.

115 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680044. Программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора для электропривода постоянного тока. Черный С.П., Бузикаева А.В., Охотников А.В., Облогин Д.Ю. // Правообладатель: ФГБОУ ВО «КНАГУ», дата поступления заявки: 17.10.2022; дата регистрации: 26.10.2022.

116 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617229. Программа реализации нечеткого регулятора для системы управления маломощным электроприводом. Бузикаева А.В., Черный С.П., Хрульков В.Н. // Правообладатель: ФГБОУ ВО «КНАГУ», дата поступления заявки: 28.03.2023; дата регистрации: 06.04.2023.

Публикации в других изданиях:

117 Бузикаева, А.В. Реализация процедур управления в системе с двухзонным регулированием на основе интеллектуального подхода / А.В.

Бузикаева, А.С. Зенченко, В.В. Павлов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. Часть 1. С. 9-11.

118 Бузикаева, А.В. Моделирование интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока с различными алгоритмами вывода во внешнем каскаде / А.В. Бузикаева, С.П. Черный // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива. Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО. Под редакцией И.В. Игнатенко, С.А. Власенко. Хабаровск, 2020. С. 128-132.

119 Бузикаева, А.В. К вопросу применения многокаскадных нечетких систем управления для сложных объектов энергетики / А.В. Бузикаева // XLVII Гагаринские чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2021. С. 746.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по ИТ


(А.В. Космынин/

«16» 09 2024 г.



АКТ

о внедрении в учебный процесс

Комиссия в составе председателя - декана факультета энергетики и управления, доцента Гудима А.С., и членов комиссии: профессора кафедры ЭПАПУ, профессора Соловьева В.А., доцента кафедры ЭПАПУ, доцента Стельмашука С.В., доцента кафедры ЭПАПУ, доцента Сухорукова С.И. составили настоящий акт в том, что с 2023 года в Комсомольском-на-Амуре государственном университете внедрены в учебный процесс кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» для направлений подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», профиль «Робототехнические комплексы и системы»; 27.03.04 «Управление в технических системах», профиль «Автоматизация и управление технологическими процессами»; 27.04.04 «Управление в технических системах», профиль «Управление и информатика в технических системах» результаты диссертационной работы Бузикаевой А.В.

Вид внедренных результатов:


1. Алгоритмы многокаскадного управления технологическими объектами с учетом особенностей их функционирования;
2. Модели комбинированных нечетких логических регуляторов, сочетающие в себе различные механизмы выводов.

Результаты используются в курсах «Интеллектуальные технологии в управлении техническими системами», «Искусственный интеллект в задачах управления», а также при курсовом проектировании и при выполнении ВКР.

Председатель комиссии:


/А.С. Гудим/

Члены комиссии:


/В.А. Соловьев /


/С.В. Стельмашук/


/С.И. Сухоруков /

Начальник УМУ


/Е.Е. Поздеева/

А К Т

Об использовании научных результатов диссертационной работы Бузикаевой Алины Валерьевны на тему «Разработка и исследование принципов построения многокаскадных нечетких регуляторов на примере систем управления электроприводами»

Результаты диссертационной работы Бузикаевой Алины Валерьевны на тему «Разработка и исследование принципов построения многокаскадных нечетких регуляторов на примере систем управления электроприводами» использовались на Комсомольской дистанции электроснабжения Дальневосточной дирекции по энергообеспечению ОАО «РЖД» при проведении работ по оптимизации схемы электроснабжения устройств сигнализации, централизации, блокировки и связи в ходе проекта по реконструкции участка питающей сети Комсомольской дистанции электроснабжения ДВЖД. Применение теоретических и практических данных, полученных в ходе диссертационного исследования, для элементов и алгоритмов интеллектуальных систем управления позволило адаптировать методы принятия решений по оптимизации объектов электроснабжения.

Заместитель начальника
Комсомольской дистанции
электроснабжения ОАО «РЖД»



Барышев Сергей Валерьевич

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

4/22

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022663048

«ПРОГРАММА РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С МЕХАНИЗМОМ ВЫВОДА СУТЕНО ВО ВНЕШНЕМ КАСКАДЕ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КнАГУ») (RU)*

Авторы: *Черный Сергей Петрович (RU), Бузикаева Алина Валерьевна (RU), Емельянов Кирилл Андреевич (RU), Сухоруков Сергей Иванович (RU)*

Заявка № 2022662007

Дата поступления 27 июня 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 июля 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

6/12



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022664286

**«ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКАСКАДНОГО
НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА С
АЛГОРИТМОМ ВЫВОДА МАМДАНИ ВО ВНЕШНЕМ
КАСКАДЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕДУР
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ПИРОЛИЗНОЙ
УСТАНОВКОЙ»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КнАГУ») (RU)*

Авторы: *Черный Сергей Петрович (RU), Бузикаева Алина Валерьевна (RU), Емельянов Кирилл Андреевич (RU), Тимофеев Антон Константинович (RU)*

Заявка № 2022662885

Дата поступления 06 июля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 27 июля 2022 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022680044

«ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КнАГУ») (RU)*

Авторы: *Черный Сергей Петрович (RU), Бузикаева Алина Валерьевна (RU), Охотников Александр Владимирович (RU), Облогин Данил Юрьевич (RU)*

Заявка № 2022669303

Дата поступления 17 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 октября 2022 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023617229

«ПРОГРАММА РЕАЛИЗАЦИИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАЛОМОЩНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КНАГУ») (RU)*

Авторы: *Бузикаева Алина Валерьевна (RU), Черный Сергей Петрович (RU), Хрульков Владимир Николаевич (RU)*

Заявка № 2023616075

Дата поступления 28 марта 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 06 апреля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора для системы управления с двухзонным регулированием скорости

```
#include "dvuhzonnoe_actual_S_M.h"
#include "dvuhzonnoe_actual_S_M_private.h"
B_dvuhzonnoe_actual_S_M_T dvuhzonnoe_actual_S_M_B;
X_dvuhzonnoe_actual_S_M_T dvuhzonnoe_actual_S_M_X;
DW_dvuhzonnoe_actual_S_M_T dvuhzonnoe_actual_S_M_DW;
RT_MODEL_dvuhzonnoe_actual_S_T dvuhzonnoe_actual_S_M_M;
RT_MODEL_dvuhzonnoe_actual_S_T *const dvuhzonnoe_actual_S_M_M =
    &dvuhzonnoe_actual_S_M_M;
real_T look1_binlpxw(real_T u0, const real_T bp0[], const real_T table[],
                    uint32_T maxIndex)
{
    real_T frac;
    uint32_T iRght;
    uint32_T iLeft;
    uint32_T bpIdx;
    if (u0 <= bp0[0U]) {
        iLeft = 0U;
        frac = (u0 - bp0[0U]) / (bp0[1U] - bp0[0U]);
    } else if (u0 < bp0[maxIndex]) {
        /* Binary Search */
        bpIdx = maxIndex >> 1U;
        iLeft = 0U;
        iRght = maxIndex;
        while (iRght - iLeft > 1U) {
            if (u0 < bp0[bpIdx]) {
                iRght = bpIdx;
            } else {
                iLeft = bpIdx;
            }
            bpIdx = (iRght + iLeft) >> 1U;
        }
        frac = (u0 - bp0[iLeft]) / (bp0[iLeft + 1U] - bp0[iLeft]);
    } else {
        iLeft = maxIndex - 1U;
        frac = (u0 - bp0[maxIndex - 1U]) / (bp0[maxIndex] - bp0[maxIndex - 1U]);
    }
    return (table[iLeft + 1U] - table[iLeft]) * frac + table[iLeft];
}
static void rt_ertODEUpdateContinuousStates(RTWSolverInfo *si )
{
    static const real_T rt_ODE3_A[3] = {
        1.0/2.0, 3.0/4.0, 1.0
    };
    static const real_T rt_ODE3_B[3][3] = {
        { 1.0/2.0, 0.0, 0.0 },
        { 0.0, 3.0/4.0, 0.0 },
        { 2.0/9.0, 1.0/3.0, 4.0/9.0 }
    };
    time_T t = rtsiGetT(si);
    time_T tnew = rtsiGetSolverStopTime(si);
    time_T h = rtsiGetStepSize(si);
    real_T *x = rtsiGetContStates(si);
    ODE3_IntgData *id = (ODE3_IntgData *)rtsiGetSolverData(si);
    real_T *y = id->y;
    real_T *f0 = id->f[0];
```

```

real_T *f1 = id->f[1];
real_T *f2 = id->f[2];
real_T hB[3];
int_T i;
int_T nXc = 117;
rtsiSetSimTimeStep(si,MINOR_TIME_STEP);
(void) memcpy(y, x,
              (uint_T)nXc*sizeof(real_T));
rtsiSetdX(si, f0);
dvuhzonnoe_actual_S_M_derivatives();
hB[0] = h * rt_ODE3_B[0][0];
for (i = 0; i < nXc; i++) {
    x[i] = y[i] + (f0[i]*hB[0]);
}
rtsiSetT(si, t + h*rt_ODE3_A[0]);
rtsiSetdX(si, f1);
dvuhzonnoe_actual_S_M_step();
dvuhzonnoe_actual_S_M_derivatives();
for (i = 0; i <= 1; i++) {
    hB[i] = h * rt_ODE3_B[1][i];
}
for (i = 0; i < nXc; i++) {
    x[i] = y[i] + (f0[i]*hB[0] + f1[i]*hB[1]);
}
rtsiSetT(si, t + h*rt_ODE3_A[1]);
rtsiSetdX(si, f2);
dvuhzonnoe_actual_S_M_step();
dvuhzonnoe_actual_S_M_derivatives();
for (i = 0; i <= 2; i++) {
    hB[i] = h * rt_ODE3_B[2][i];
}
for (i = 0; i < nXc; i++) {
    x[i] = y[i] + (f0[i]*hB[0] + f1[i]*hB[1] + f2[i]*hB[2]);
}
rtsiSetT(si, tnew);
rtsiSetSimTimeStep(si,MAJOR_TIME_STEP);
}
void dvuhzonnoe_actual_S_M_Actionu1(real_T rtu_u1, real_T *rty_u2)
{
    *rty_u2 = rtu_u1;
}
void dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(real_T rtu_x, real_T *rty_Out1, real_T
    rtp_a, real_T rtp_b)
{
    *rty_Out1 = (rtu_x - rtp_a) / (rtp_b - rtp_a);
}
void dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(real_T rtu_x, real_T *rty_Out1, real_T
    rtp_b, real_T rtp_c)
{
    *rty_Out1 = 1.0 / (rtp_c - rtp_b) * (rtp_c - rtu_x);
}
void dvuhzonnoe_actual_S_M_step(void)
{
    real_T rtb_Sum1;
    real_T rtb_TotalFiringStrength;
    real_T rtb_Product13;
    real_T rtb_Sum1_d;
    real_T rtb_Product12;
    real_T rtb_Sum1_p;
    real_T rtb_Sum53;
    real_T rtb_TotalFiringStrength_l;
    real_T rtb_Product27;
    real_T rtb_Sum1_n;

```

```

real_T rtb_Product26;
real_T rtb_Sum1_m;
real_T rtb_Sum66;
real_T rtb_TotalFiringStrength_i;
real_T rtb_Product33;
real_T rtb_Sum1_dd;
real_T rtb_Product32;
real_T rtb_Sum1_o;
real_T rtb_Sum50;
real_T rtb_TotalFiringStrength_pn;
real_T rtb_Product22;
real_T rtb_Sum1_e;
real_T rtb_Product21;
real_T rtb_Sum1_k;
real_T rtb_Sum7;
real_T rtb_TotalFiringStrength_b;
real_T rtb_Product5;
real_T rtb_Sum1_l;
real_T rtb_Product4;
real_T rtb_Sum1_g;
real_T rtb_Sum37;
real_T rtb_TotalFiringStrength_h;
real_T rtb_Product16;
real_T rtb_Sum1_gd;
real_T rtb_Product15;
real_T rtb_Sum1_ku;
real_T rtb_Weighting_cj;
real_T rtb_u_pf;
real_T rtb_Step8;
real_T rtb_Weighting_b1;
real_T rtb_Divide10;
real_T rtb_u_f2;
real_T rtb_Weighting_g;
real_T rtb_Step6;
real_T rtb_u_ix;
real_T rtb_Step7;
real_T rtb_Step5;
real_T rtb_Divide13;
real_T rtb_Weighting_h;
real_T rtb_u_mf;
real_T rtb_u_dk;
int8_T rtAction;
real_T rtb_Weighting;
real_T rtb_Weighting_j;
real_T rtb_u_pk;
real_T rtb_u_fv;
real_T rtb_impMethod_pa[101];
real_T rtb_impMethod_e[101];
real_T rtb_impMethod_p[101];
real_T rtb_impMethod_db[101];
real_T rtb_Sum1_gf;
real_T rtb_Product;
real_T rtb_Sum_h;
real_T rtb_Sum_o;
real_T rtb_Sum1_h;
real_T rtb_Sum_e;
real_T rtb_Sum1_a;
int32_T i;
real_T rtb_Switch_idx_0;
real_T rtb_Switch_idx_1;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if (!(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick0+1)) {
        rtsiSetSolverStopTime(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,

```

```

        ((dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH0 + 1) *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0 * 4294967296.0));
    } else {
        rtsiSetSolverStopTime(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        ((dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick0 + 1) *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0 +
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH0 *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0 * 4294967296.0));
    }
}
if (rtmIsMinorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] = rtsiGetT
    (&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo);
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_k = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_k += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_C_d *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_k;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Weighting_cj = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable7 = look1_binlpxw(rtb_Weighting_cj,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable7_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable7_tableData, 7U);
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Weighting_b1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable8 = look1_binlpxw(rtb_Weighting_b1,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable8_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable8_tableData, 7U);
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Weighting_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable21 = look1_binlpxw
    (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn28_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn28_CSTATE,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable21_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable21_tableData, 5U);
rtb_Divide13 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain18_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable21;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product6 = rtb_Weighting_h * rtb_Divide13;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_k *
rtb_Divide13;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_k > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch2_Threshold)
{
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain16_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_k;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant2_Value;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Divide13 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_d *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_p;

```

```

rtb_Divide10 = 0.0;
rtb_Divide10 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn3_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn3_CSTATE;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable22 = look1_binlpxw(rtb_Divide10,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable22_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable22_tableData, 5U);
rtb_Divide10 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain3_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable22;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product1 = rtb_Divide13 * rtb_Divide10;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5 * rtb_Divide10;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_f = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_f += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.C_a *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_a;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Divide10 = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable29 = look1_binlpxw(rtb_Divide10,
dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable29_bp01Data,
dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable29_tableData, 7U);
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    }
    rtb_u_pf = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable30 = look1_binlpxw(rtb_u_pf,
dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable30_bp01Data,
dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable30_tableData, 7U);
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    }
}
rtb_u_mf = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_C * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE;
rtb_Weighting_g = 0.0;
rtb_Weighting_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn20_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn20_CSTATE;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable29_h = look1_binlpxw(rtb_Weighting_g,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable29_bp01Data_c,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable29_tableData_h, 5U);
rtb_Weighting_g = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain28_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable29_h;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product29 = rtb_u_mf * rtb_Weighting_g;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product30 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_f *
    rtb_Weighting_g;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5 > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch1_Threshold) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain1_Gain *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant1_Value;
}
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    }
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_f > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch10_Threshold)
{
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch10 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain26_Gain *

```

```

    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_f;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch10 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant10_Value;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Weighting_g = 0.0;
rtb_Weighting_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_f *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_b;
rtb_u_ix = 0.0;
rtb_u_ix += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn21_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn21_CSTATE;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable210 = look1_binlpxw(rtb_u_ix,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable210_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable210_tableData, 5U);
rtb_u_ix = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain30_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable210;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product25 = rtb_Weighting_g * rtb_u_ix;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product28 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u * rtb_u_ix;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch9_Threshold) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch9 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain25_Gain *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch9 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant9_Value;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_i = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_i += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_C_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_j;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_l = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_C_o *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_f;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_u_ix = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable35 = look1_binlpxw(rtb_u_ix,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable35_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable35_tableData, 7U);
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_u_f2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0];
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable36 = look1_binlpxw(rtb_u_f2,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable36_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable36_tableData, 7U);
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}

rtb_u_dk = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u2_C * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u2_CSTATE;
rtb_Step8 = 0.0;
rtb_Step8 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn29_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn29_CSTATE;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable211 = look1_binlpxw(rtb_Step8,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable211_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable211_tableData, 5U);
rtb_Step8 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain34_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable211;

```



```

dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product35 = rtb_u_dk * rtb_Step8;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product36 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_l * rtb_Step8;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_l > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch12_Threshold)
{
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch12 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain32_Gain *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_l;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch12 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant12_Value;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Step8 = 0.0;
rtb_Step8 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_C * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE;
rtb_Step7 = 0.0;
rtb_Step7 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn30_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn30_CSTATE;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable212 = look1_binlpxw(rtb_Step7,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable212_bp01Data,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable212_tableData, 5U);
rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain36_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable212;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product31 = rtb_Step8 * rtb_Step7;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product34 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_i * rtb_Step7;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_i > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch11_Threshold)
{
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch11 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain31_Gain *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5_i;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch11 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Constant11_Value;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
}
rtb_Weighting_b1 = look1_binlpxw(rtb_Weighting_b1,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable1_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable1_tableData, 6U);
rtb_Divide10 = look1_binlpxw(rtb_Divide10,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable28_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable28_tableData, 6U);
rtb_u_f2 = look1_binlpxw(rtb_u_f2,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable31_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable31_tableData, 6U);
rtb_u_ix = look1_binlpxw(rtb_u_ix,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable34_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable34_tableData, 6U);
rtb_Weighting_cj = look1_binlpxw(rtb_Weighting_cj,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable4_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable4_tableData, 6U);
rtb_u_pf = look1_binlpxw(rtb_u_pf,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable5_bp01Data,
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.DLookupTable5_tableData, 6U);
rtb_Sum1 = rtb_Weighting_b1 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u5;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Sum1 < -0.47) || (rtb_Sum1 > -0.06321)) {
        rtAction = 0;
    }
}

```

```

} else if (rtb_Sum1 == -0.3538) {
    rtAction = 1;
} else if (rtb_Sum1 < -0.3538) {
    rtAction = 2;
} else {
    rtAction = 3;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_fo;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_aw;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Sum1, &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_a, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_b);
    break;
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Sum1, &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_b, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_c);
    break;
}
rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge;
rtb_Weighting = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_m * rtb_Step7;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Sum1 < -0.47) || (rtb_Sum1 > 0.46)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Sum1 == -0.06321) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Sum1 < -0.06321) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_b = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_b;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_b = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_aov;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_b = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_lz;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Sum1, &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_b,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_a, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_b);
    break;
case 3:

```

```

    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Sum1, &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_b,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_b, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_c);
    break;
}
rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_b;
rtb_Weighting_j = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_c * rtb_Step7;
rtb_TotalFiringStrength = rtb_Weighting + rtb_Weighting_j;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if (rtb_TotalFiringStrength < 0.0) {
        rtAction = 0;
    } else {
        rtAction = 1;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_n = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_n;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.One_Value_dg;
    }
    break;
case 1:
    dvuhzonnoe_actual_S_M_Actionu1(rtb_TotalFiringStrength,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a);
    break;
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if (rtb_TotalFiringStrength < 0.0) {
        rtAction = 0;
    } else {
        rtAction = 1;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_h = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_h;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_d = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.One_Value_e;
    }
    break;
case 1:
    dvuhzonnoe_actual_S_M_Actionu1(rtb_TotalFiringStrength,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_d);
    break;
}
rtb_Step7 = (rtb_TotalFiringStrength > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Zero_Value);
if (rtb_Step7 >= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch_Threshold) {
    rtb_Switch_idx_0 = (rtb_Weighting *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2Constant_Value +
        rtb_Weighting_j *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1Constant_Value_1) /
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a;
    rtb_Switch_idx_1 = (rtb_Weighting *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1Constant_Value +
        rtb_Weighting_j *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2Constant_Value_n) /
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_d;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.MidRange_Value[0];
}

```

```

    rtb_Switch_idx_1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.MidRange_Value[1];
}
rtb_Product13 = rtb_Sum1 * rtb_Switch_idx_0;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product13 < -0.2675) || (rtb_Product13 > -0.07246)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product13 == -0.17) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product13 < -0.17) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_p = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_p;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_e = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_g4;
    }
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_e = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_hh;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_e, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_a_k,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_b_i);
    break;
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_e, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_b_i,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_c_k);
    break;
}
rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_e;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_Step7 <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_Value[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_Value[i])) {
        rtb_impMethod_pa[i] = rtb_Step7;
    } else {
        rtb_impMethod_pa[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf1_Value[i];
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product13 < -0.17) || (rtb_Product13 > 0.025)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product13 == -0.07246) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product13 < -0.07246) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_e = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_e;
}
switch (rtAction) {

```

```

case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_li;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a2 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_ao;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a2, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_a_o,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_b_i);
    break;
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a2, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_b_i,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_c_h);
    break;
}
rtb_Weighting_b1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_o *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_a2;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_Weighting_b1 <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i])) {
        rtb_impMethod_e[i] = rtb_Weighting_b1;
    } else {
        rtb_impMethod_e[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i];
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product13 < -0.0211531914893617) || (rtb_Product13 >
        0.174446808510638)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product13 == 0.0767468085106383) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product13 < 0.0767468085106383) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_d = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_d;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_dc = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_j2;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_dc = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_l5v;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_dc, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_a,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_b);
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product13,

```

```

        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_dc, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_b,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_c);
    break;
}
rtb_u_pk = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_j *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_dc;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_u_pk <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value[i])) {
        rtb_impMethod_p[i] = rtb_u_pk;
    } else {
        rtb_impMethod_p[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value[i];
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product13 < 0.025) || (rtb_Product13 > 0.22)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product13 == 0.1225) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product13 < 0.1225) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_c = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_c;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_g = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_bx;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_g = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_cf;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_g, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_a,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_b);

    break;
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_g, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_b,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_c);
    break;
}
rtb_u_fv = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_h *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_g;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_u_fv <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i])) {
        rtb_impMethod_db[i] = rtb_u_fv;
    } else {
        rtb_impMethod_db[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value[i];
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product13 < 0.1225) || (rtb_Product13 > 0.3175)) {

```

```

    rtAction = 0;
} else if (rtb_Product13 == 0.22) {
    rtAction = 1;
} else if (rtb_Product13 < 0.22) {
    rtAction = 2;
} else {
    rtAction = 3;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_o = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_o;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_c = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_cl;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_c = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_an;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rt_b_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_c, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_a,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_b);
    break;
case 3:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rt_b_Product13,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_c, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_b,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_c);
    break;
}
rtb_Step6 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_j3 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_c;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_impMethod_pa[i] >= rtb_impMethod_e[i]) ||
rtIsNaN(rtb_impMethod_e[i]))
    {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_pa[i];
    } else {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_e[i];
    }

    if (!(rtb_Switch_idx_0 >= rtb_impMethod_p[i]) ||
rtIsNaN(rtb_impMethod_p[i]))
    {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_p[i];
    }
    if (!(rtb_Switch_idx_0 >= rtb_impMethod_db[i]) || rtIsNaN
        (rtb_impMethod_db[i])) {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_db[i];
    }
    if ((rtb_Step6 <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value[i])) {
        rtb_Weighting = rtb_Step6;
    } else {
        rtb_Weighting = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value[i];
    }
}
if ((rtb_Switch_idx_0 >= rtb_Weighting) || rtIsNaN(rtb_Weighting)) {
    rtb_Weighting = rtb_Switch_idx_0;
}
}

```

```

    rtb_impMethod_pa[i] = rtb_Weighting;
}
rtb_Product = rtb_impMethod_pa[0];
for (i = 0; i < 100; i++) {
    rtb_Product += rtb_impMethod_pa[i + 1];
}
rtb_Sum1_d = rtb_Product;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if (rtb_Sum1_d <= 0.0) {
        rtAction = 0;
    } else {
        rtAction = 1;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_od = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_od;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_k = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.One_Value_a;
    }
    break;
}
rtb_Weighting_g = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_m5w *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_om;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_Weighting_g <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value_e3[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value_e3[i])) {
        rtb_impMethod_p[i] = rtb_Weighting_g;
    } else {
        rtb_impMethod_p[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf3_Value_e3[i];
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product15 < 0.025) || (rtb_Product15 > 0.22)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product15 == 0.1225) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product15 < 0.1225) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_kv = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_kv;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_coc = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Value_nz;
    }
    break;
case 1:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_coc = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Value_le;
    }
    break;
case 2:
    dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product15,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_coc, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_a_bi,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_b_jq);
}

```



```

        break;
    case 3:
        dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product15,
            &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_coc, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_b_jq,
            dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf4_c_is);
        break;
    }
    rtb_Weighting_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_f4 *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_coc;
    for (i = 0; i < 101; i++) {
        if ((rtb_Weighting_h <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value_f[i]) || rtIsNaN
            (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value_f[i])) {
            rtb_impMethod_e[i] = rtb_Weighting_h;
        } else {
            rtb_impMethod_e[i] = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf2_Value_f[i];
        }
    }
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if ((rtb_Product15 < 0.1225) || (rtb_Product15 > 0.3175)) {
        rtAction = 0;
    } else if (rtb_Product15 == 0.22) {
        rtAction = 1;
    } else if (rtb_Product15 < 0.22) {
        rtAction = 2;
    } else {
        rtAction = 3;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_hz = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_hz;
}
switch (rtAction) {
    case 0:
        if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
            dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_bg = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_gn;
        }
        break;
    case 1:
        if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
            dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_bg = dvuhzonnoe_actual_S_M_P._Value_nv;
        }

        break;
    case 2:
        dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem3(rtb_Product15,
            &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_bg, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_a_gl,
            dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_b_fq);
        break;
    case 3:
        dvuhzonnoe_a_IfActionSubsystem2(rtb_Product15,
            &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_bg, dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_b_fq,
            dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_c_m);
        break;
}
rtb_Weighting_b1 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Weight_Value_jd *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_bg;
for (i = 0; i < 101; i++) {
    if ((rtb_impMethod_pa[i] >= rtb_impMethod_db[i]) || rtIsNaN
        (rtb_impMethod_db[i])) {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_pa[i];
    } else {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_db[i];
    }
}

```

```

    if (!((rtb_Switch_idx_0 >= rtb_impMethod_p[i]) ||
rtIsNaN(rtb_impMethod_p[i])))
    {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_p[i];
    }
    if (!((rtb_Switch_idx_0 >= rtb_impMethod_e[i]) ||
rtIsNaN(rtb_impMethod_e[i])))
    {
        rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_e[i];
    }
    if ((rtb_Weighting_b1 <= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value_f[i]) || rtIsNaN
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value_f[i])) {
        rtb_Weighting = rtb_Weighting_b1;
    } else {
        rtb_Weighting = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.mf5_Value_f[i];
    }
    if ((rtb_Switch_idx_0 >= rtb_Weighting) || rtIsNaN(rtb_Weighting)) {
        rtb_Weighting = rtb_Switch_idx_0;
    }
    rtb_impMethod_pa[i] = rtb_Weighting;
}
rtb_Product = rtb_impMethod_pa[0];
for (i = 0; i < 100; i++) {
    rtb_Product += rtb_impMethod_pa[i + 1];
}
rtb_Sum1_ku = rtb_Product;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    if (rtb_Sum1_ku <= 0.0) {
        rtAction = 0;
    } else {
        rtAction = 1;
    }
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_o5 = rtAction;
} else {
    rtAction = dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_o5;
}
switch (rtAction) {
case 0:
    if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_ot = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.One_Value_pa;
    }
    break;
case 1:
    dvuhzonnoe_actual_S_M_Actionu1(rtb_Sum1_ku,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_ot);
    break;
}
if (((((rtb_Step6 + rtb_Step8) + rtb_Weighting_g) + rtb_Weighting_h) +
    rtb_Weighting_b1 > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Zero_Value_dz) >=
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Switch_Threshold_mu) {
    for (i = 0; i < 101; i++) {
        rtb_impMethod_pa[i] *= dvuhzonnoe_actual_S_M_P.xdata_Value_a[i];
    }
    rtb_Switch_idx_0 = rtb_impMethod_pa[0];
    for (i = 0; i < 100; i++) {
        rtb_Switch_idx_0 += rtb_impMethod_pa[i + 1];
    }
    rtb_Step6 = rtb_Switch_idx_0 / dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Merge_ot;
} else {
    rtb_Step6 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.MidRange_Value_a;
}
rtb_Weighting = rtb_Step5 + rtb_Step6;
rtb_Step5 = 0.0;

```

```

rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_dd *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gf;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain12 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain12_Gain *
rtb_Step5;
rtb_Step5 = 0.0;
rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_iw *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_de;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain14 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain14_Gain *
rtb_Step5;
rtb_Step5 = 0.0;
rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_lw *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_h;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain21 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain21_Gain *
rtb_Step5;
rtb_Step5 = 0.0;
rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_bb *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_j;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain23 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain23_Gain *
rtb_Step5;
rtb_Step5 = 0.0;
rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_n *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_di;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain6 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain6_Gain * rtb_Step5;
rtb_Step5 = 0.0;
rtb_Step5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_k *
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_o;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain8 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Gain8_Gain * rtb_Step5;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation11_UpperSat) {
    rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation11_UpperSat;
} else {
    if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation11_LowerSat) {
        rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation11_LowerSat;
    }
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum26 = rtb_Sum_h - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_jw *
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable24;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_o *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dc + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_l *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum26;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation14_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation14 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation14_UpperSat;
} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation14_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation14 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation14_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation14 = rtb_Sum_h;
}
if (rtb_Sum_o > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation15_UpperSat) {
    rtb_Sum_o = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation15_UpperSat;
} else {
    if (rtb_Sum_o < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation15_LowerSat) {
        rtb_Sum_o = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation15_LowerSat;
    }
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum19 = rtb_Sum_o - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_go *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable23;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_en *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_bb + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_bg *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum19;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation16_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation16 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation16_UpperSat;
}

```

```

} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation16_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation16 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation16_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation16 = rtb_Sum_h;
}
if (rtb_Divide10 > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation18_UpperSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation18_UpperSat;
} else if (rtb_Divide10 < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation18_LowerSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation18_LowerSat;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = rtb_Divide10;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum36 = rtb_Switch_idx_0 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_ip * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable26;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_e4 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lb + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_bv *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum36;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation21_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation21 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation21_UpperSat;
} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation21_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation21 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation21_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation21 = rtb_Sum_h;
}
if (rtb_Step7 > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation22_UpperSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation22_UpperSat;
} else if (rtb_Step7 < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation22_LowerSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation22_LowerSat;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = rtb_Step7;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum30 = rtb_Switch_idx_0 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_ha * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable25;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_dg *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dcn + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_c *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum30;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation23_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation23 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation23_UpperSat;
} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation23_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation23 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation23_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation23 = rtb_Sum_h;
}
if (rtb_Divide13 > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation26_UpperSat) {
    rtb_Divide13 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation26_UpperSat;
} else {
    if (rtb_Divide13 < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation26_LowerSat) {
        rtb_Divide13 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation26_LowerSat;
    }
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum49 = rtb_Divide13 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_dx * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable28;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_ng *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gg + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum49;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation29_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation29 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation29_UpperSat;
}

```

```

} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation29_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation29 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation29_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation29 = rtb_Sum_h;
}
if (rtb_u_ix > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation30_UpperSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation30_UpperSat;
} else if (rtb_u_ix < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation30_LowerSat) {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation30_LowerSat;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = rtb_u_ix;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum43 = rtb_Switch_idx_0 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_be * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable27;
rtb_Sum_h = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_hs *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lm + dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_p *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum43;
if (rtb_Sum_h > dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation31_UpperSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation31 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation31_UpperSat;
} else if (rtb_Sum_h < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation31_LowerSat) {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation31 =
        dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Saturation31_LowerSat;
} else {
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation31 = rtb_Sum_h;
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step5_Time)
{
    rtb_Step5 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step5_Y0;
} else {
    rtb_Step5 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step5_YFinal;
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step6_Time)
{
    rtb_Step6 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step6_Y0;
} else {
    rtb_Step6 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step6_YFinal;
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step7_Time)
{
    rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step7_Y0;
} else {
    rtb_Step7 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step7_YFinal;
}
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step8_Time)
{
    rtb_Step8 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step8_Y0;
} else {
    rtb_Step8 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step8_YFinal;
}
rtb_u_ix = 0.0;
rtb_u_ix += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_ap *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ep;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum10 = rtb_u_ix - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product10;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum11 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product9 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable9;
rtb_u_ix = fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product10);
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step4_Time)
{
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step4_Y0;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step4_YFinal;
}

```

```

}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum12 = rtb_Switch_idx_0 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_pa * rtb_u_ix;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum20 = rtb_Weighting_j -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_aa * rtb_u_pk;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum22 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_id *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fp - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product8;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum24 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product3 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable13;
if (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] < dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step3_Time)
{
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step3_Y0;
} else {
    rtb_Switch_idx_0 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.Step3_YFinal;
}
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum25 = rtb_Switch_idx_0 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_cw5 * fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product8);
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum27 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_bo *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_h4 - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product11;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum28 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product18 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable20;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum29 = rtb_Step6 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_de *
    fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product11);
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum31 = rtb_Weighting /
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Switch5 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_ad *
    rtb_u_f2;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum33 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_cw *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ad - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product17;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum34 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product14 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable18;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum35 = rtb_Step5 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_o *
    fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product17);
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum39 = rtb_Sum_e - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_gk *
    rtb_u_dk;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum40 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_gr *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_nz - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product19;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum41 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product24 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable26_k;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum42 = rtb_Step8 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_m *
    fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product19);
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum44 = rtb_Sum1_h - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_n *
    rtb_u_pf;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum46 = dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_am *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ms - dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product23;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum47 = dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product20 -
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.DLookupTable24_f;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum48 = rtb_Step7 - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_mu *
    fabs(dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Product23);
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum52 = rtb_Sum1_a - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_g2
    * rtb_u_mf;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum9 = rtb_Sum1_gf - dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_Gain_om
    * rtb_u_fv;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn11 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn11 +=
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn11_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn11_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn11 +=
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn11_D * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain14;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn13 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn13 +=
    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn13_C *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn13_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn13 +=

```

```

    dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn13_D * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain12;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn4 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn4_C
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn4_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn4_D
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain23;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn5 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn5_C
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn5_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn5 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn5_D
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain8;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn6 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn6 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn6_C
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn6_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn6 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn6_D
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain21;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn7 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn7 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn7_C
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn7_CSTATE;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn7 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn7_D
    * dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain6;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_g = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_lz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_jx;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_ga *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum9;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_a4 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_a4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_lj *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ee;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_a4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_bn *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum20;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_ja = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_ja += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_lx *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ch;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_ja += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_jk *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum39;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_p = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_n1 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ic;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_ak *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum31;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_l = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_e3 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_db;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_ja *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum52;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_h = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_C_ia *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_f0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_D_gc *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum44;
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    rt_UpdateTXYLogVars(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo,
        (dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t));
}
if (rtmIsMajorTimeStep(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)) {
    {
        if ((rtmGetTFinal(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)!=-1) &&
            !((rtmGetTFinal(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)-
                (((dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick1+
                    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH1* 4294967296.0)) *
                    0.6)) > (((dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick1+
                    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH1*

```

```

        4294967296.0)) * 0.6) * (DBL_EPSILON))) {
            rtmSetErrorStatus(dvuhzonnoe_actual_S_M_M, "Simulation finished");
        }
    }

    rt_ertODEUpdateContinuousStates(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo);
    if (!(++dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick0)) {
        ++dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH0;
    }
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.t[0] = rtsiGetSolverStopTime
        (&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo);
    {
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick1++;
        if (!dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTick1) {
            dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.clockTickH1++;
        }
    }
}

void dvuhzonnoe_actual_S_M_derivatives(void)
{
    XDot_dvuhzonnoe_actual_S_M_T *_rtXdot;
    _rtXdot = ((XDot_dvuhzonnoe_actual_S_M_T *)
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.derivs);
    _rtXdot->u5_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->u5_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE;
    _rtXdot->u5_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum4;
    _rtXdot->u5_CSTATE_k = 0.0;
    _rtXdot->u5_CSTATE_k += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_o *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_k;
    _rtXdot->u5_CSTATE_k += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum16;
    _rtXdot->u_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->u_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE;
    _rtXdot->u_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum15;
    _rtXdot->TransferFcn28_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->TransferFcn28_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn28_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn28_CSTATE;
    _rtXdot->TransferFcn28_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn27;
    _rtXdot->u_CSTATE_p = 0.0;
    _rtXdot->u_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_n *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_p;
    _rtXdot->u_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum3;
    _rtXdot->TransferFcn3_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->TransferFcn3_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn3_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn3_CSTATE;
    _rtXdot->TransferFcn3_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn2;
    _rtXdot->_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE;
    _rtXdot->_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum63;
    _rtXdot->_CSTATE_a = 0.0;
    _rtXdot->_CSTATE_a += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_o *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_a;
    _rtXdot->_CSTATE_a += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum57;
    _rtXdot->u0_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->u0_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE;
    _rtXdot->u0_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum56;
    _rtXdot->TransferFcn20_CSTATE = 0.0;
    _rtXdot->TransferFcn20_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn20_A *
        dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn20_CSTATE;
}

```



```

_rtXdot->TransferFcn20_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn19;
_rtXdot->u_CSTATE_b = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_b += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_nb *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_b;
_rtXdot->u_CSTATE_b += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum62;
_rtXdot->TransferFcn21_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn21_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn21_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn21_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn21_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn17;
_rtXdot->u5_CSTATE_j = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_l *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_j;
_rtXdot->u5_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum76;
_rtXdot->u5_CSTATE_f = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_f += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_d *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_f;
_rtXdot->u5_CSTATE_f += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum70;
_rtXdot->u2_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->u2_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u2_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u2_CSTATE;
_rtXdot->u2_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum69;
_rtXdot->TransferFcn29_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn29_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn29_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn29_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn29_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn26;
_rtXdot->u1_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->u1_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE;
_rtXdot->u1_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum75;
_rtXdot->TransferFcn30_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn30_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn30_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn30_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn30_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn24;
_rtXdot->u_CSTATE_f = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_f += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_f;
_rtXdot->u_CSTATE_f += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum64;
_rtXdot->u_CSTATE_fy = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_fy += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_g *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fy;
_rtXdot->u_CSTATE_fy += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum54;
_rtXdot->u_CSTATE_d = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_d += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_m *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_d;
_rtXdot->u_CSTATE_d += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum5;
_rtXdot->u_CSTATE_m = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_m += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_p *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_m;
_rtXdot->u_CSTATE_m += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum58;
_rtXdot->u1_CSTATE_c = 0.0;
_rtXdot->u1_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A_j *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_c;
_rtXdot->u1_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum77;
_rtXdot->u_CSTATE_i = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_i += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_c *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_i;
_rtXdot->u_CSTATE_i += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum67;
_rtXdot->u0_CSTATE_j = 0.0;
_rtXdot->u0_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A_b *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_j;
_rtXdot->u0_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum71;
_rtXdot->_CSTATE_e = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_e += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_d *

```

```

    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_e;
_rtXdot->_CSTATE_e += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum13;
_rtXdot->_CSTATE_o = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_k *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_o;
_rtXdot->_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum17;
_rtXdot->_CSTATE_e2 = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_e2 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_e2;
_rtXdot->_CSTATE_e2 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation9;
_rtXdot->_u_CSTATE_g = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_d *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_g;
_rtXdot->_u_CSTATE_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation6;
_rtXdot->_u_CSTATE_d4 = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_d4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_j *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_d4;
_rtXdot->_u_CSTATE_d4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation40;
_rtXdot->_u_CSTATE_dp = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_dp += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_pz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dp;
_rtXdot->_u_CSTATE_dp += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation38;
_rtXdot->_u0_CSTATE_o = 0.0;
_rtXdot->_u0_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A_c *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_o;
_rtXdot->_u0_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation48;
_rtXdot->_u1_CSTATE_ct = 0.0;
_rtXdot->_u1_CSTATE_ct += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A_m *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_ct;
_rtXdot->_u1_CSTATE_ct += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation46;
_rtXdot->_u_CSTATE_fs = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_fs += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_a *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fs;
_rtXdot->_u_CSTATE_fs += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum65;
_rtXdot->_u_CSTATE_dt = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_dt += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_f *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dt;
_rtXdot->_u_CSTATE_dt += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum59;
_rtXdot->_u1_CSTATE_c3 = 0.0;
_rtXdot->_u1_CSTATE_c3 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A_ma *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_c3;
_rtXdot->_u1_CSTATE_c3 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum78;
_rtXdot->_u0_CSTATE_p = 0.0;
_rtXdot->_u0_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A_l *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_p;
_rtXdot->_u0_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum72;
_rtXdot->_u_CSTATE_e = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_e += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ic *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_e;
_rtXdot->_u_CSTATE_e += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum6;
_rtXdot->_CSTATE_p = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_l *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_p;
_rtXdot->_CSTATE_p += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum18;
_rtXdot->_CSTATE_h = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_b *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_h;
_rtXdot->_CSTATE_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_o;
_rtXdot->_u_CSTATE_px = 0.0;
_rtXdot->_u_CSTATE_px += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_gj *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_px;
_rtXdot->_u_CSTATE_px += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_e;
_rtXdot->_u_CSTATE_pi = 0.0;

```

```

_rtXdot->u_CSTATE_pi += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fp *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_pi;
_rtXdot->u_CSTATE_pi += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_j;
_rtXdot->u_CSTATE_c = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fe *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_c;
_rtXdot->u_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_a;
_rtXdot->u0_CSTATE_c = 0.0;
_rtXdot->u0_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A_o *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_c;
_rtXdot->u0_CSTATE_c += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u0;
_rtXdot->u1_CSTATE_g = 0.0;
_rtXdot->u1_CSTATE_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A_h *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_g;
_rtXdot->u1_CSTATE_g += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u1;
_rtXdot->TransferFcn17_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn17_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn17_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn17_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn17_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain29;
_rtXdot->TransferFcn19_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn19_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn19_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn19_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn19_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain27;
_rtXdot->TransferFcn2_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn2_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn2_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn2_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn2_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain2;
_rtXdot->TransferFcn24_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn24_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn24_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn24_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn24_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain35;
_rtXdot->TransferFcn26_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn26_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn26_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn26_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn26_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain33;
_rtXdot->TransferFcn27_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn27_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn27_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn27_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn27_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain17;
_rtXdot->_CSTATE_d = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_d += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_h *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_d;
_rtXdot->_CSTATE_d += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum14;
_rtXdot->u_CSTATE_ft = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ft += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_l *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ft;
_rtXdot->u_CSTATE_ft += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum2;
_rtXdot->u0_CSTATE_ox = 0.0;
_rtXdot->u0_CSTATE_ox += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u0_A_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_ox;
_rtXdot->u0_CSTATE_ox += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum68;
_rtXdot->u1_CSTATE_l = 0.0;
_rtXdot->u1_CSTATE_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u1_A_i *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_l;
_rtXdot->u1_CSTATE_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum73;
_rtXdot->u_CSTATE_ii = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ii += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_g3 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ii;
_rtXdot->u_CSTATE_ii += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum55;
_rtXdot->u_CSTATE_n = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fu *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_n;
_rtXdot->u_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum60;

```

```

_rtXdot->u_CSTATE_k = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_k += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_pm *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_k;
_rtXdot->u_CSTATE_k += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum10;
_rtXdot->TransferFcn8_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn8_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn8_A *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn8_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn8_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn7;
_rtXdot->_CSTATE_n = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_bj *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_n;
_rtXdot->_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum11;
_rtXdot->u_CSTATE_ip = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ip += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_nu *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ip;
_rtXdot->u_CSTATE_ip += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum22;
_rtXdot->TransferFcn9_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn9_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn9_A *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn9_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn9_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn5;
_rtXdot->_CSTATE_a0 = 0.0;
_rtXdot->_CSTATE_a0 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P._A_p *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_a0;
_rtXdot->_CSTATE_a0 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum24;
_rtXdot->u_CSTATE_eg = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_eg += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_dg *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_eg;
_rtXdot->u_CSTATE_eg += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum27;
_rtXdot->TransferFcn14_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn14_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn14_A *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn14_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn14_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn13;
_rtXdot->u5_CSTATE_n = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_m *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_n;
_rtXdot->u5_CSTATE_n += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum28;
_rtXdot->u_CSTATE_gn = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_gn += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_k *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gn;
_rtXdot->u_CSTATE_gn += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum33;
_rtXdot->TransferFcn15_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn15_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn15_A *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn15_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn15_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn11;
_rtXdot->u5_CSTATE_je = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_je += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_c *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_je;
_rtXdot->u5_CSTATE_je += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum34;
_rtXdot->u_CSTATE_l = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_py *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_l;
_rtXdot->u_CSTATE_l += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum40;
_rtXdot->TransferFcn10_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn10_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn10_A *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn10_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn10_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn6;
_rtXdot->u5_CSTATE_kb = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_kb += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_a *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_kb;
_rtXdot->u5_CSTATE_kb += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum41;
_rtXdot->u_CSTATE_nt = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_nt += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_gi *
  dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_nt;

```

```

_rtXdot->u_CSTATE_nt += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum46;
_rtXdot->TransferFcn12_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn12_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn12_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn12_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn12_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.TransferFcn4;
_rtXdot->u5_CSTATE_fb = 0.0;
_rtXdot->u5_CSTATE_fb += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u5_A_b *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_fb;
_rtXdot->u5_CSTATE_fb += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum47;
_rtXdot->u_CSTATE_gw = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_gw += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ct *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gw;
_rtXdot->u_CSTATE_gw += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum35;
_rtXdot->u_CSTATE_dg = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_dg += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_nz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dg;
_rtXdot->u_CSTATE_dg += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum38;
_rtXdot->u_CSTATE_e1 = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_e1 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_e *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_e1;
_rtXdot->u_CSTATE_e1 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum29;
_rtXdot->u_CSTATE_if = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_if += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_nf *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_if;
_rtXdot->u_CSTATE_if += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum48;
_rtXdot->u_CSTATE_a = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_a += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_at *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_a;
_rtXdot->u_CSTATE_a += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum51;
_rtXdot->u_CSTATE_kg = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_kg += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_p0 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_kg;
_rtXdot->u_CSTATE_kg += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum42;
_rtXdot->u_CSTATE_mb = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_mb += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_g4 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_mb;
_rtXdot->u_CSTATE_mb += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum25;
_rtXdot->u_CSTATE_fj = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_fj += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_pi *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fj;
_rtXdot->u_CSTATE_fj += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum8;
_rtXdot->u_CSTATE_kk = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_kk += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_kp *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_kk;
_rtXdot->u_CSTATE_kk += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum12;
_rtXdot->u_CSTATE_gf = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_gf += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_cz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gf;
_rtXdot->u_CSTATE_gf += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation23;
_rtXdot->u_CSTATE_de = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_de += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_gn *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_de;
_rtXdot->u_CSTATE_de += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation21;
_rtXdot->u_CSTATE_h = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ne *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_h;
_rtXdot->u_CSTATE_h += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation31;
_rtXdot->u_CSTATE_j = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_nv *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_j;
_rtXdot->u_CSTATE_j += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation29;
_rtXdot->u_CSTATE_di = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_di += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fw *

```

```

    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_di;
_rtXdot->u_CSTATE_di += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation16;
_rtXdot->u_CSTATE_o = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_b *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_o;
_rtXdot->u_CSTATE_o += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Saturation14;
_rtXdot->u_CSTATE_dc = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_dc += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_bn *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dc;
_rtXdot->u_CSTATE_dc += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum26;
_rtXdot->u_CSTATE_bb = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_bb += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_o *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_bb;
_rtXdot->u_CSTATE_bb += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum19;
_rtXdot->u_CSTATE_lb = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_lb += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_eu *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lb;
_rtXdot->u_CSTATE_lb += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum36;
_rtXdot->u_CSTATE_dcn = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_dcn += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ab *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dcn;
_rtXdot->u_CSTATE_dcn += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum30;
_rtXdot->u_CSTATE_gq = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_gq += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_n4 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gq;
_rtXdot->u_CSTATE_gq += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum49;
_rtXdot->u_CSTATE_lm = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_lm += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fc *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lm;
_rtXdot->u_CSTATE_lm += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum43;
_rtXdot->u_CSTATE_ep = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ep += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_dk *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ep;
_rtXdot->u_CSTATE_ep += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_g;
_rtXdot->u_CSTATE_fp = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_fp += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_h *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fp;
_rtXdot->u_CSTATE_fp += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_a4;
_rtXdot->u_CSTATE_h4 = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_h4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_hz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_h4;
_rtXdot->u_CSTATE_h4 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_ja;
_rtXdot->u_CSTATE_ad = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ad += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_mq *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ad;
_rtXdot->u_CSTATE_ad += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_p;
_rtXdot->u_CSTATE_nz = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_nz += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_fq *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_nz;
_rtXdot->u_CSTATE_nz += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_l;
_rtXdot->u_CSTATE_ms = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ms += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ja *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ms;
_rtXdot->u_CSTATE_ms += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.u_h;
_rtXdot->TransferFcn11_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn11_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn11_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn11_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn11_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain14;
_rtXdot->TransferFcn13_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn13_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn13_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn13_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn13_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain12;
_rtXdot->TransferFcn4_CSTATE = 0.0;

```

```

_rtXdot->TransferFcn4_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn4_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn4_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn4_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain23;
_rtXdot->TransferFcn5_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn5_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn5_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn5_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn5_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain8;
_rtXdot->TransferFcn6_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn6_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn6_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn6_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn6_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain21;
_rtXdot->TransferFcn7_CSTATE = 0.0;
_rtXdot->TransferFcn7_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.TransferFcn7_A *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn7_CSTATE;
_rtXdot->TransferFcn7_CSTATE += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Gain6;
_rtXdot->u_CSTATE_jx = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_jx += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ae *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_jx;
_rtXdot->u_CSTATE_jx += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum9;
_rtXdot->u_CSTATE_ee = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ee += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_jz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ee;
_rtXdot->u_CSTATE_ee += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum20;
_rtXdot->u_CSTATE_ch = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ch += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_pq *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ch;
_rtXdot->u_CSTATE_ch += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum39;
_rtXdot->u_CSTATE_ic = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_ic += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_ky *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ic;
_rtXdot->u_CSTATE_ic += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum31;
_rtXdot->u_CSTATE_db = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_db += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_d3 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_db;
_rtXdot->u_CSTATE_db += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum52;
_rtXdot->u_CSTATE_f0 = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_f0 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_p4 *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_f0;
_rtXdot->u_CSTATE_f0 += dvuhzonnoe_actual_S_M_B.Sum44;
_rtXdot->u_CSTATE_o0 = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_o0 += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_mz *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_o0;
_rtXdot->u_CSTATE_o0 += 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_hm = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_hm += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_lg *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_hm;
_rtXdot->u_CSTATE_hm += 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_bq = 0.0;
_rtXdot->u_CSTATE_bq += dvuhzonnoe_actual_S_M_P.u_A_pa *
    dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_bq;
_rtXdot->u_CSTATE_bq += 0.0;
}
void dvuhzonnoe_actual_S_M_initialize(void)
{
    rt_InitInfAndNaN(sizeof(real_T));
    (void) memset((void *)dvuhzonnoe_actual_S_M_M, 0,
        sizeof(RT_MODEL_dvuhzonnoe_actual_S__T));

    {
        rtsiSetSimTimeStepPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
            &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.simTimeStep);
        rtsiSetTPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo, &rtmGetTPtr
            (dvuhzonnoe_actual_S_M_M));
    }
}

```

```

    rtsiSetStepSizePtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0);
    rtsiSetdXPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.derivs);
    rtsiSetContStatesPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo, (real_T **)
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.contStates);
    rtsiSetNumContStatesPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Sizes.numContStates);
    rtsiSetErrorStatusPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        (&rtmGetErrorStatus(dvuhzonnoe_actual_S_M_M)));
    rtsiSetRTModelPtr(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo,
        dvuhzonnoe_actual_S_M_M);
}
rtsiSetSimTimeStep(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo, MAJOR_TIME_STEP);
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.intgData.y =
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.odeY;
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.intgData.f[0] =
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.odeF[0];
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.intgData.f[1] =
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.odeF[1];
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.intgData.f[2] =
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.odeF[2];
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.contStates = ((X_dvuhzonnoe_actual_S_M_T *)
    &dvuhzonnoe_actual_S_M_X);
rtsiSetSolverData(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo, (void *)
    &dvuhzonnoe_actual_S_M_M->ModelData.intgData);
rtsiSetSolverName(&dvuhzonnoe_actual_S_M_M->solverInfo, "ode3");
rtmSetTPtr(dvuhzonnoe_actual_S_M_M, &dvuhzonnoe_actual_S_M_M-
>Timing.tArray[0]);
rtmSetTFinal(dvuhzonnoe_actual_S_M_M, 30.0);
dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0 = 0.6;
{
    static RTWLogInfo rt_DataLoggingInfo;
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo = &rt_DataLoggingInfo;
}
{
    rtliSetLogXSignalInfo(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, (NULL));
    rtliSetLogXSignalPtrs(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, (NULL));
    rtliSetLogT(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, "tout");
    rtliSetLogX(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, "");
    rtliSetLogXFinal(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, "");
    rtliSetLogVarNameModifier(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, "rt_");
    rtliSetLogFormat(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, 0);
    rtliSetLogMaxRows(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, 1000);
    rtliSetLogDecimation(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, 1);
    rtliSetLogY(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, "");
    rtliSetLogYSignalInfo(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, (NULL));
    rtliSetLogYSignalPtrs(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, (NULL));
}
(void) memset(((void *) &dvuhzonnoe_actual_S_M_B), 0,
    sizeof(B_dvuhzonnoe_actual_S_M_T));
{
    (void) memset((void *)&dvuhzonnoe_actual_S_M_X, 0,
        sizeof(X_dvuhzonnoe_actual_S_M_T));
}
(void) memset((void *)&dvuhzonnoe_actual_S_M_DW, 0,
    sizeof(DW_dvuhzonnoe_actual_S_M_T));
rt_StartDataLoggingWithStartTime(dvuhzonnoe_actual_S_M_M->rtwLogInfo, 0.0,
    rtmGetTFinal(dvuhzonnoe_actual_S_M_M),
    dvuhzonnoe_actual_S_M_M->Timing.stepSize0, (&rtmGetErrorStatus
    (dvuhzonnoe_actual_S_M_M)));
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_b = -1;

```



```

dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_by = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ee = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_av = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_j5 = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ai = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_pl = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_cb = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_bj = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ael = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_mp = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ld = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ix = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ev = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_du = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_fa = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_oq = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_fg = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ft = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ou = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_f0 = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ph = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_gm = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_ao = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_mr = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_pz = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_kv = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_hz = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_DW.If_ActiveSubsystem_o5 = -1;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_k = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn28_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_p = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn3_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_a = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn20_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_b = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn21_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_j = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_f = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u2_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn29_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn30_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_f = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fy = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_d = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_m = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_c = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_i = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_j = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_e = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_o = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X._CSTATE_e2 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_g = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_d4 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dp = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_o = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_ct = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_fs = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dt = 0.0;

```

```

dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_c3 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_p = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_e = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_p = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_h = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_px = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_pi = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_c = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_c = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_g = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn17_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn19_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn2_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn24_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn26_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn27_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_d = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ft = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u0_CSTATE_ox = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u1_CSTATE_l = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ii = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_n = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_k = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn8_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_n = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ip = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn9_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.CSTATE_a0 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_eg = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn14_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u5_CSTATE_n = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_bb = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lb = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_dcn = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_gq = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_lm = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ep = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ad = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_nz = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ms = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn11_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn13_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn4_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn5_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn6_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.TransferFcn7_CSTATE = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_jx = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ee = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ch = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_ic = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_db = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_f0 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_o0 = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_hm = 0.0;
dvuhzonnoe_actual_S_M_X.u_CSTATE_bq = 0.0;
}
void dvuhzonnoe_actual_S_M_terminate(void)
{
}

```