Черный С. П., Бузикаева А. В., Полей Е. О., Чжо Мин У
S. P. Cherny, A. V. Buzikaeva, E. O. Poley, Kyaw Minn Oo

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА**

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF CONTROL OBJECT PARAMETERS ON THE BASIC
CHARACTERISTICS OF THE FUZZY REGULATOR**

Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keapu@knastu.ru.

Cherny Sergey Petrovich – PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electro-Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keapu@knastu.ru.

Бузикаева Алина Валерьевна – студент магистратуры Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keapu@knastu.ru.

Buzikaeva Alina Valerievna – Student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keapu@knastu.ru.

Полей Евгений Олегович – студент магистратуры Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keapu@knastu.ru.

Poley Evgeny Olegovich – Student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keapu@knastu.ru.

Чжо Мин У – студент магистратуры Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keapu@knastu.ru.

Kyaw Minn Oo – Student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keapu@knastu.ru.

Аннотация. В работе представлен анализ влияния параметров объекта регулирования на основные характеристики и настройки нечетких логических регуляторов. Основное влияние параметров объекта связано с изменением характеристик блока дефаззификации, при этом простота коррекции нечеткой системы будет обусловлена выбранным алгоритмом нечеткого логического вывода.

Summary. The paper presents an analysis of the influence of control object parameters on the main characteristics and settings of fuzzy logic controllers. The main influence of the parameters of the object is related to the change in the characteristics of the defuzzification block, while the simplicity of correction of the fuzzy system will be conditioned by the chosen algorithm of fuzzy logic inference.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, нечеткий логический регулятор, вариация параметров системы управления.

Key words: intelligent control system, fuzzy logic controller, variation of control system parameters.

УДК 681.5.01:658.5

Введение

В настоящее время системы управления, разрабатываемые или дополняемые нечеткой логикой, развиваются с высокой скоростью. Это связано с тем, что системы управления, содержащие элементы нечеткой логики, позволяют реализовывать различные сложные законы регулирования в тех случаях, когда стандартные вычислительные алгоритмы либо не применимы из-за значительных неопределенностей, либо существенно ограничены. Актуальность такой технологии заключа-

ется в тенденции увеличения сложности математических моделей реальных систем, в способности системы оперировать информацией в качественной форме, а также в формализации процессов управления, связанной с повышением их адекватности и учетом все большего числа различных факторов, оказывающих влияние на процессы принятия решений [1].

В данной работе будет рассмотрен анализ нечетких регуляторов, построенных с использованием алгоритмов Мамдани и Сугено при недетерминированном изменении внутренних параметров самой интеллектуальной системы автоматического управления.

Для анализа влияния основных параметров объекта регулирования на интеллектуальную систему будет использована модель электропривода постоянного тока с подчиненным регулированием, представленная на рис. 1.

Рис. 1. Структурная схема электропривода с подчиненным регулированием тока и скорости

На базе модели системы управления, показанной на рис. 1, производится моделирование интеллектуальной системы с использованием нечеткого подхода, в которой производится замена классического регулятора на нечеткий (см. рис. 2).

Рис. 2. Модель электропривода постоянного тока с нечетким регулятором

Нечеткий логический регулятор анализирует сигнал ошибки и его производную, и, соответственно, имеет на своем входе две лингвистические переменные input1 и input2 и одну лингвистическую переменную на выходе – output1. Функционирование регулятора осуществляется с применением основных алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено или Мамдани [2].

Рассмотрим подробней моделирование нечеткой системы с алгоритмом вывода Сугено. Лингвистические переменные input1 и input2 формализуют понятия первого и второго входных сигналов нечеткого регулятора – сигнал ошибки по току и скорость изменения ошибки по току соответственно. Выбор диапазона области определения лингвистических переменных производится по переходному процессу системы с классическим регулятором. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной распределены пять аппроксимированных функций принадлежности нечетких переменных треугольного вида.

Лингвистическая переменная $output1$ формализует понятие выходного сигнала нечеткого регулятора. В области определения базового терм-множества лингвистической переменной также распределены пять аппроксимированных функций принадлежности нечетких переменных треугольного вида [3; 4].

Нечеткая продукционная база знаний нечеткого логического регулятора представляет собой перечень из семи правил и представлена на рис. 3.

Рис. 3. Функциональная схема нечеткой системы с алгоритмом вывода Сугено

В процессе моделирования был получен график переходных процессов системы с классическим и нечетким регуляторами (см. рис. 4). Из графика видно, что основным достоинством систем с нечетким логическим регулятором является отсутствие перерегулирования и незначительное увеличение быстродействия.

Рис. 4. Переходный процесс системы с классическим и нечетким регулятором с алгоритмом вывода Сугено: 1 – система с классическим регулятором; 2 – система с нечетким регулятором

Аналогичным образом производится синтез нечеткой системы с алгоритмом вывода Мамдани.

Путем изменения параметров объекта управления, а именно увеличения коэффициента усиления тиристорного преобразователя (K_p) и постоянной времени тиристорного преобразователя (T_p) на 20 % и на 40 %, была произведена модернизация системы управления электроприводом

постоянного тока. Более наглядную форму переходных процессов отражает 40%-е изменение параметров системы; 20%-е является лишь итерационной составляющей процесса моделирования [5; 6].

Подробнее рассмотрим изменение параметров объекта управления путем увеличения на 40 % нечеткой системы управления с алгоритмом вывода Сугено. При увеличении параметров тиристорного преобразователя замечены изменения характера в переходных характеристиках системы (см. рис. 5): в статическом режиме заметны небольшие отклонения.

Рис. 5. Переходная характеристика по току при изменении параметров объекта управления на 40 %: 1 – система с классическим регулятором; 2 – система с нечетким регулятором с алгоритмом вывода Сугено

Чтобы повысить точность системы, необходимо осуществить коррекцию параметров нечеткого логического регулятора для получения переходной характеристики системы исходного вида. Для этого была проведена коррекция выходных констант для упрощенного алгоритма нечеткого вывода Сугено (см. рис. 6).

Подобным образом выполняется модернизация системы с алгоритмом вывода Мамдани.

Анализ изменений параметров функции принадлежности базового терм-множества выходной лингвистической переменной с учетом необходимой коррекции на вариацию коэффициента усиления и постоянной времени тиристорного преобразователя показывает, что существенное влияние на качество переходных характеристик системы и нечеткого регулятора в целом оказывает нечеткая переменная «Р» базового терм-множества (что представлено в табл. 1). Уменьшение этого параметра позволяет вернуть основные характеристики системы управления к исходному виду.

Аналогично была исследована нечеткая система управления с алгоритмом вывода Мамдани (см. табл. 2).

Для данного случая наибольшее влияние на качество переходных характеристик системы оказывает распределение функций принадлежности в заданном диапазоне регулирования. Существенные изменения этого диапазона связаны с более точной настройкой системы в ее статическом режиме, что согласуется с результатами анализа системы, настроенной с помощью алгоритма нечеткого логического вывода Сугено.

Рис. 6. Переходная характеристика по току скорректированной системы:
1 – система с классическим регулятором; 2 – система с измененными параметрами в нечетком регуляторе с алгоритмом вывода Сугено

Таблица 1

Изменения параметров функции принадлежности выходной лингвистической переменной системы управления с алгоритмом вывода Сугено

Переменная	MP	P	N	O	MO
Номинальные значения ($K_p = 33,75$; $T_p = 0,007$)	2500	2000	0	-2000	-2500
+20 % ($K_p = 40,5$; $T_p = 0,0084$)	2300	550	5	-2500	-3000
+40 % ($K_p = 47,25$; $T_p = 0,0098$)	2400	280	4	-2500	-2800

Таблица 2

Изменения параметров функции принадлежности выходной лингвистической переменной системы управления с алгоритмом вывода Мамдани

Переменная	MP	P	N	O	MO
Номинальные значения ($K_p = 33,75$; $T_p = 0,007$)	[1250 2500 3750]	[0 2000 2500]	[-1250 0 1250]	[-2500 -2000 0]	[-3750 -2500 -1250]
+20 % ($K_p = 40,5$; $T_p = 0,0084$)	[9 150 4800]	[0.6 10 210]	[-10 0 10]	[-210 -10 -0.6]	[-180 -150 -9]
+40 % ($K_p = 47,25$; $T_p = 0,0098$)	[6,25 65 2003]	[2,75 6,667 90]	[-1,667 2,5 6,667]	[-85 -1,667 2,25]	[-72,5 -60 -1,25]

Анализ показал, что изменение основных параметров нечеткого логического регулятора от номинальных значений K_p и T_p до 40 % оказывает существенное влияние на качество динамиче-

ских характеристик системы. Для ее возврата в исходное состояние, согласно предъявляемым требованиям, необходимо нелинейно сужать диапазон распределения функций принадлежности выходной лингвистической переменной.

Подводя итог, мы должны отметить, что регуляторы, построенные с использованием классических методов, не обладают необходимой гибкостью, особенно при внедрении в систему неопределенных 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, что влечет за собой необходимость более точной настройки при изменении внутренних параметров объекта регулирования. Данное исследование позволит в дальнейшем реализовывать процедуры по адаптивной настройке подобного класса интеллектуальных систем.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 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. – Информатика и системы управления. – 2003. – № 1(5). – С. 73-82.
- 2 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. – 2010. – № 3. – С. 45-51.
- 3 Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / В. А. Соловьев, С. П. Черный. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 280 с.
- 4 Черный, С. П. Нечеткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С. П. Черный, А. А. Гусаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № II-1(6). – С. 24-30.
- 5 Черный, С. П. Нечеткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С. П. Черный, Д. А. Новак // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. – № 4 (28). – С. 56-60.
- 6 Cherny, S. P. Another approach to enhancement of fuzzy controller intellectual capabilities / S. P. Cherny, V. A. Solovyev // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE Xplore Conference Publications. – 2017. – P. 1-4.