

Черный С. П., Бузикаева А. В., Шевченко М. В., Тимофеев А. К.
S. P. Cherny, A. V. Buzikaeva, M. V. Shevchenko, A. K. Timofeev

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ
НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛИНОМА В АЛГОРИТМЕ ВЫВОДА СУГЕНО ПЕРВОГО
ПОРЯДКА**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF PARAMETERS OF OBJECT UNDER CONTROL
ON POLINOM RATIO IN THE OUTPUT ALGORITHM OF SUGENO OF FIRST ORDER**

Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: keparu@knastu.ru.

Mr. Sergey P. Cherny – PHD in Engineering, associate Professor, Electric drive and automation of industrial installations Department of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: keparu@knastu.ru.

Бузикаева Алина Валерьевна – магистрантка Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: keparu@knastu.ru.

Ms. Alina V. Buzikaeva – Master's Degree student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: keparu@knastu.ru.

Шевченко Матвей Валерьевич – магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: keparu@knastu.ru.

Mr. Matvey V. Shevchenko – Master's Degree student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: keparu@knastu.ru.

Тимофеев Антон Константинович – магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: keparu@knastu.ru.

Mr. Anton K. Timofeev – Master's Degree student of Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: keparu@knastu.ru.

Аннотация. В работе представлен анализ влияния параметров объекта регулирования на основные характеристики и настройки нечёткого регулятора Сугено. Основное влияние параметров объекта связано с изменением выходного многоточечного множества, при этом простота коррекции нечёткой системы будет обусловлена выбранным алгоритмом нечёткого логического вывода.

Summary. The paper presents an analysis of the influence of the parameters of the object under control on the main characteristics and settings of the fuzzy Sugeno controller. The main influence of the object's parameters is related to the change in the output multipoint set, while the simplicity of correcting a fuzzy system will be determined by the selected algorithm of fuzzy inference.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, нечёткий 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

Анализ задач современной теории управления позволяет выделить проблему, заключающуюся в необходимости построения такой математической модели, которая позволяла бы учитывать неполноту и неточность исходных данных, а также существенные недостатки математического описания самого объекта регулирования. Такая методика позволит расширить интеллектуальные и информационные возможности систем автоматического управления, реализованных с применением технологии мягких вычислений.

В работе приведён синтез и анализ нечёткого логического регулятора Сугено первого порядка при изменении внутренних параметров самой интеллектуальной системы управления – постоянной времени и коэффициента усиления тиристорного преобразователя.

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

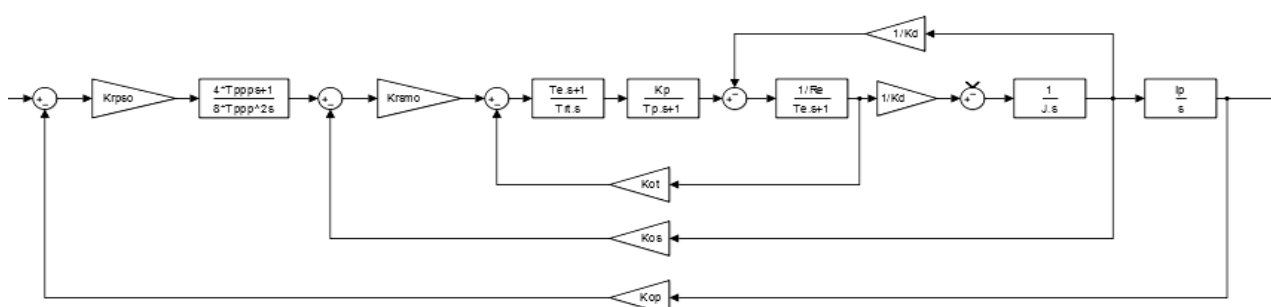


Рис. 1. Модель системы автоматического регулирования положения

Моделирование нечёткой системы автоматического управления с использованием технологии мягких вычислений выполняется на базе системы (см. рис. 2), где выполняется замена классического регулятора положения интеллектуальным.

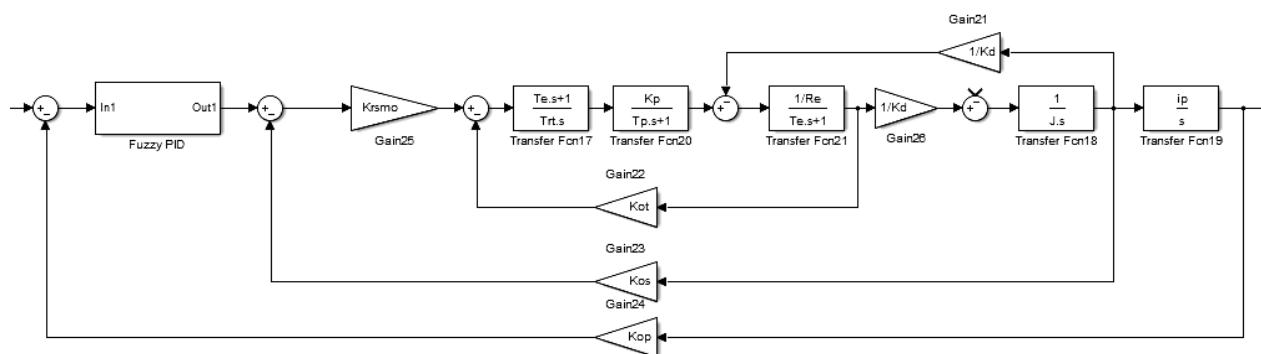


Рис. 2. Модель системы с интеллектуальным регулятором

Синтез интеллектуальной системы управления заключён в настройке блоков фазификации и дефазификации, составлении базы знаний регулятора, состоящей из набора нечётких продукционных правил. Нечёткий логический регулятор состоит из трёх лингвистических переменных на входе (P , I и D), которые анализируют сигнал ошибки, и одной лингвистической переменной, формализующей выходной сигнал, которая анализирует производную сигнала ошибки. Реализация интеллектуального регулятора выполняется с применением алгоритма вывода Сугено [1; 2].

Лингвистические переменные, формализующие понятия первой, второй и третьей входных величин нечёткого регулятора соответственно, реализованы с использованием пяти аппроксими-

рованных функций принадлежности треугольного вида, различающихся между собой диапазонами распределения этих величин в блоке фазсификации.

Лингвистическая переменная output 1, формализующая понятие выходной величины нечёткого регулятора, также реализуется с применением пяти многоточечных множеств [3; 4].

База знаний нечёткого логического регулятора состоит из пяти продукционных правил, которые связывают входные и выходные значения лингвистических переменных (см. рис. 3).

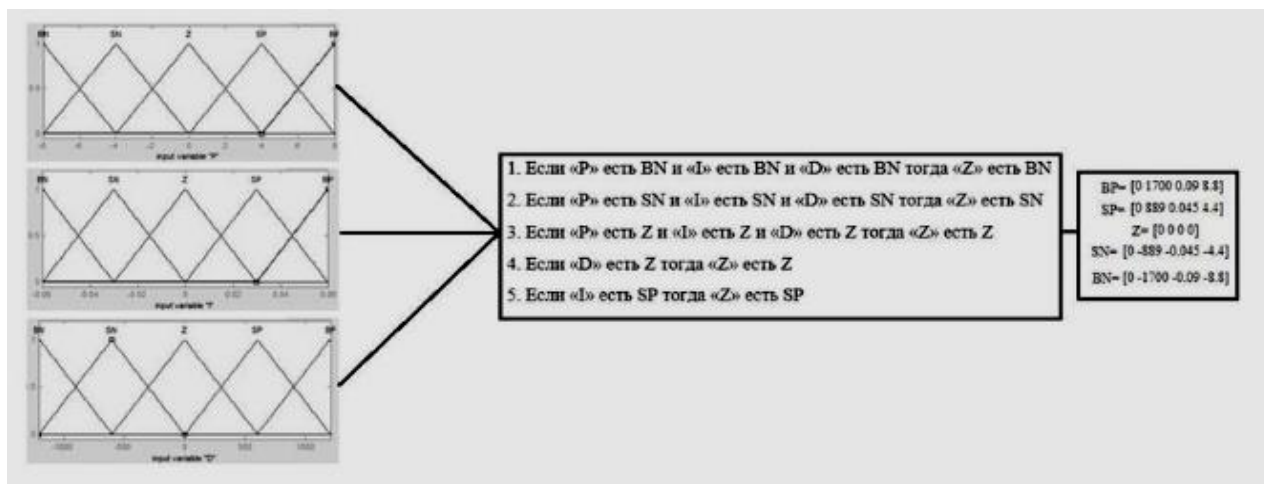


Рис. 3. База знаний нечёткого регулятора с алгоритмом вывода Сугено

В результате моделирования системы автоматического регулирования положения был получен график переходных процессов с классическим и интеллектуальным регуляторами, анализ которых определяет основные достоинства такой методики применением технологии мягких вычислений, а именно существенным снижением перерегулирования относительно классической системы управления и более высокими показателями по быстродействию (см. рис. 4).

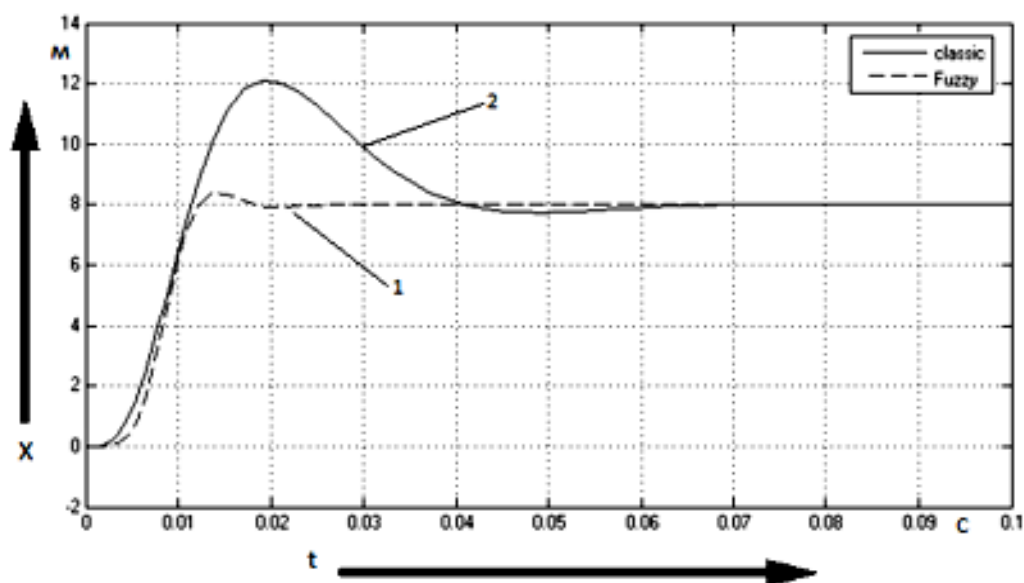


Рис. 4. График переходных процессов системы автоматического регулирования положения:
 1 – выходной сигнал системы с НЛР; 2 – выходной сигнал классической системы

При изменении основных параметров объекта регулирования (увеличение и уменьшение коэффициента усиления тиристорного преобразователя (K_p) на 15, 30, 45 и 60 % и постоянной времени тиристорного преобразователя (T_p) на 25, 40 и 60 %) была выполнена модернизация системы автоматического управления (САУ). Наглядно отображает форму переходного процесса 45%-е изменение параметров объекта регулирования [5; 6].

Путём уменьшения параметров объекта регулирования на 70 % была выполнена модернизация нечёткой системы управления с алгоритмом вывода Сугено, результаты моделирования которой проиллюстрированы на рис. 5 и 6.

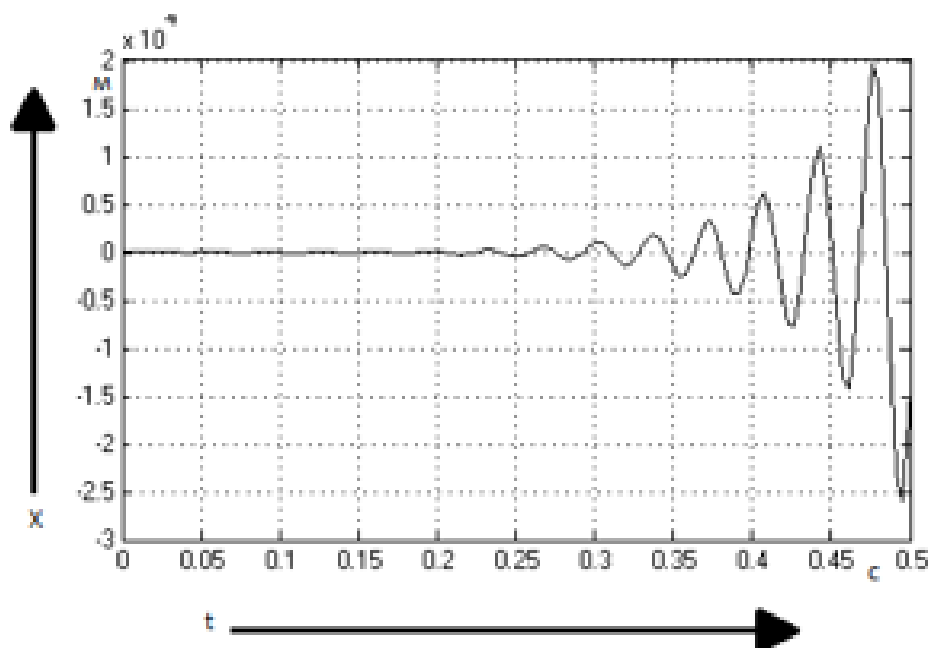


Рис. 5. Переходный процесс системы автоматического регулирования положения с линейным регулятором

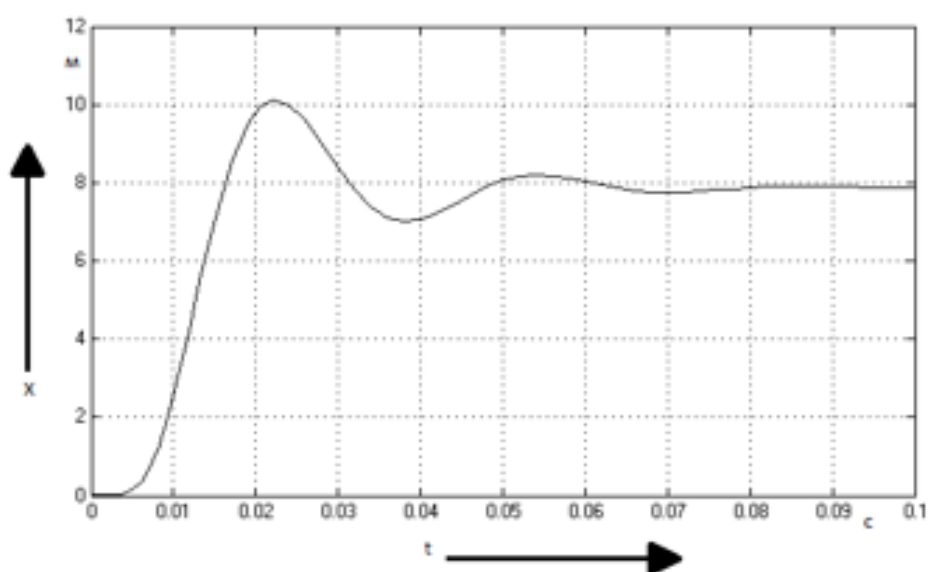


Рис. 6. Переходный процесс системы автоматического регулирования положения с нечётким регулятором

Анализ графиков переходных процессов, представленных на рис. 5 и 6, позволяет сделать вывод о том, что система автоматического регулирования положения с линейным регулятором при уменьшении коэффициента тиристорного преобразователя на 70 % от номинальных 100 % становится неустойчивой, в то время как система автоматического регулирования положения с нечетким регулятором продолжает обрабатывать входное воздействие, но с наличием незначительной статической ошибки, равной 0,5.

Рекомендации по настройке выходной лингвистической переменной приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменения параметров функции принадлежности
выходной лингвистической переменной системы при изменении (K_p)

Номинальные значения	BN	SN	Z	SP	BP
$K_p=27,5$ 100 %	[0 -1700 -0,09 -8,8]	[0 -851,4 -0,045 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 851,4 0,045 4,4]	[0 1700 0,09 8,8]
$K_p=31,62$ 115 %	[0 -1710 -0,09 -8,8]	[0 -852 -0,0419 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 852 0,0419 4,4]	[0 1700 0,09 8,8]
$K_p=35,75$ 130 %	[0 -1710 -0,09 -8,8]	[0 -805,5 -0,039 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 805,5 0,039 4,4]	[0 1710 0,09 8,8]
$K_p=39,87$ 145 %	[0 -1710 -0,09 -8,8]	[0 -851,4 -0,045 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 851,4 0,045 4,4]	[0 1710 0,09 8,8]
$K_p=20,62$ 75 %	[0 -1310 -0,09 -8,8]	[0 -663,5 -0,045 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 663,5 0,045 4,4]	[0 1310 0,09 8,8]
$K_p=16,5$ 60 %	[0 -1210 -0,09 -8,8]	[0 -608,1 -0,045 -4,415]	[0 0 0 0]	[0 608,1 0,045 4,415]	[0 1210 0,09 8,8]
$K_p=12,37$ 30 %	[0 -1110 -0,09 -8,8]	[0 -595,9 -0,045 -4,415]	[0 0 0 0]	[0 595,9 0,045 4,415]	[0 1110 0,09 8,8]

Изменения параметров функции принадлежности выходной лингвистической переменной системы при изменении (T_p) показаны в табл. 2.

Таблица 2

Изменения параметров функции принадлежности
выходной лингвистической переменной системы при изменении (T_p)

Номинальные значения	BN	SN	Z	SP	BP
$T_p=0,001$ 100 %	[0 -1700 -0,09 -8,8]	[0 -851,5 -0,0456 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 851,5 0,0456 4,4]	[0 1700 0,09 8,8]
$T_p=0,00125$ 125 %	[0 -1710 -0,09 -8,8]	[0 -663,8 -0,0455 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 663,8 0,0455 4,4]	[0 1710 0,09 8,8]
$T_p=0,00140$ 140 %	[0 -1710 -0,09 -8,8]	[0 -660,1 -0,0453 -4,415]	[0 0 0 0]	[0 660,1 0,0453 4,415]	[0 1710 0,09 8,8]
$T_p=0,00075$ 75 %	[0 -1690 -0,09 -8,8]	[0 -860 -0,04429 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 860 0,04429 4,4]	[0 1690 0,09 8,8]
$T_p=0,00060$ 60 %	[0 -1624 -0,09 -8,8]	[0 -815 -0,04429 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 815 0,04429 4,4]	[0 1624 0,09 8,8]
$T_p=0,00045$ 45 %	[0 -1620 -0,09 -8,8]	[0 -812 -0,04428 -4,4]	[0 0 0 0]	[0 812 0,04428 4,4]	[0 1620 0,09 8,8]

Результаты моделирования интеллектуальной системы с совместным регулированием контуров положения наглядно показывают качество реализации основных параметров. В данном случае качество динамических характеристик переходного процесса зависит от поэтапного увеличения и уменьшения основных параметров системы регулирования (коэффициента усиления и постоянной времени тиристорного преобразователя) и распределения функций принадлежности в заданном диапазоне регулирования.

Приведённый анализ результатов моделирования интеллектуальной системы управления с алгоритмом нечёткого вывода Сугено первого порядка показал, что при любых внешних и внутренних воздействиях на систему, связанных либо с её нестационарностью, либо с недетерминированными изменениями внешних условий, качество регулирования остаётся на высоком уровне и система проявляет достаточные робастные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация распределения функций принадлежности при синтезе нечёткого 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 нечёткие 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.

Черный С. П., Бузикаева А. В., Шевченко М. В., Тимофеев А. К.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛИНОМА
В АЛГОРИТМЕ ВЫВОДА СУГЕНО ПЕРВОГО ПОРЯДКА

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. Нечёткая многокаскадная система управления электроприводом постоянного тока / С. П. Черный, А. А. Гусаров // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № II-1(6). – С. 24-30.
5. Черный, С. П. Нечёткая 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.