

УДК 004.052

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ В КОЛОННЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЭФИРНЫХ КОМПОНЕНТОВ В СРЕДЕ MATLAB-SIMULINK

Назаров Марат Ильдарович
магистр 2-го курса, кафедры электрооборудование и автоматика промышленных предприятий

Вильданов Рауф Гибадуллович
д-р техн. наук, профессор кафедры электрооборудование и автоматика промышленных предприятий
Филиал «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате, 453250, Россия, Республика Башкортостан

В системах автоматического управления важно обеспечить высокое качество регулирования при изменениях нагрузки в объекте регулирования. Классический ПИД – регулятор не справляется с задачей поддержания регулируемого параметра на уровне заданного значения еще из – за большой инерционности объекта (постоянная времени объекта больше 300 сек.). В работе разработана адаптивная система управления для объекта температуры в колонне переработки эфирных компонентов. Произведен расчет начальных настроечных параметров классического ПИД – регулятора. Выполнено моделирование ПИД – регулятора в MATLAB-SIMULINK и получен график переходного процесса. Создана динамическая модель регулятора на базе нечеткой логики в оболочке MATLAB-SIMULINK. Блок нечеткой Фаззи-блок применяет базу данных настройки и имеет способ нечеткого вывода. Рассчитаны таблицы данных для коэффициента пропорциональной составляющей K_p , интегральной составляющей K_i и д K_d . Фаззи - настройка регулятора позволила понизить коэффициент перерегулирования, уменьшить время процесса. Показано, что адаптивный регулятор является более быстродействующим

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, СРЕДА MATLAB-SIMULINK, ПИД - РЕГУЛЯТОР, АДАПТИВНЫЙ РЕГУЛЯТОР, БЫСТРОДЕЙСТВИЕ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-179-008>

UDC 004.052

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE FUZZY TEMPERATURE CONTROLLER IN THE PROCESSING COLUMN OF ESSENTIAL COMPONENTS IN THE MATLAB-SIMULINK ENVIRONMENT

Nazarov Marat Ildarovich
2nd year master of the Department of Electrical Equipment and Automation of Industrial Enterprises

Vildanov Rauf Gibadulloevich
Dr.Sci.Tech., Professor of the Department of Electrical Equipment and Automation of Industrial Enterprises
Branch of "Ufa state petroleum technological University" in the city of Salavat, Russia, Bashkortostan Republic

In automatic control systems, it is important to ensure high quality control when the load changes in the control object. The classic PID controller cannot cope with the task of maintaining the controlled parameter at the level of the set value due to the large inertia of the object (the time constant of the object is more than 300 seconds). The paper developed an adaptive control system for the temperature object in the ester components processing column. The calculation of the initial tuning parameters of the classical PID - controller is made. The simulation of the PID controller in MATLAB-SIMULINK was performed and the graph of the transient process was obtained. A dynamic controller model based on fuzzy logic in the MATLAB-SIMULINK shell has been created. The fuzzy fuzzy block adopts a tuning database and has a fuzzy inference method. The tables of data for the coefficient are calculated: the proportional component K_p , the integral component K_i and d K_d . Fuzzy - adjusting the regulator made it possible to reduce the overshoot coefficient and reduce the process time. The adaptive controller has been shown to be faster

Keywords: MODELING, MATLAB-SIMULINK ENVIRONMENT, PID CONTROLLER, ADAPTIVE CONTROLLER, PERFORMANCE

В системах автоматического управления важно обеспечить высокую точность измерений и защиту от помех при передаче сигнала. Классический ПИД – регулятор не всегда справляется с задачей поддержания регулируемого параметра на уровне заданного значения еще из – за большой инерционности объекта (так для объекта регулирования температуры в колонне переработки эфирных компонентов постоянная времени объекта больше 300 сек.).

Для синтеза ПИД - регулятора получили передаточную функцию объекта управления по кривой разгона температуры в колонне. Произвели расчет оптимальных настроек ПИД-регулятора – K_p базовые параметры ПИД - регулятора (пропорциональный коэффициент), T_i (постоянная интегрирования), T_d (постоянная дифференцирования) Зиглера-Никольса с транспортным запаздыванием.

Рассчитали параметры регулятора для объекта регулирования температуры:

$$K_p = \frac{1,2T}{K \cdot \tau} = \frac{1,2 \cdot 64,009}{18,75 \cdot 8} = 0,53.$$

$$T_i = 2 \tau = 2 \cdot 8 = 16.$$

$$T_d = 0,42 \tau = 0,42 \cdot 8 = 3,36.$$

Структурная ПИД – регулятора приведена ниже.

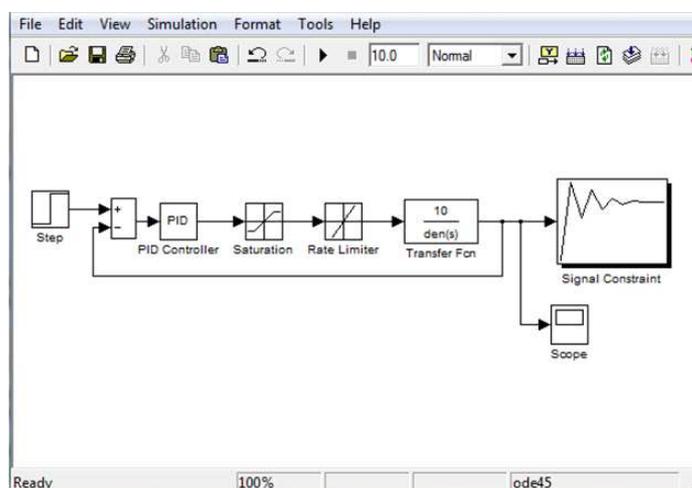


Рисунок 1 – Структурная схема

Субмодель ПИД - регулятора приведена ниже.

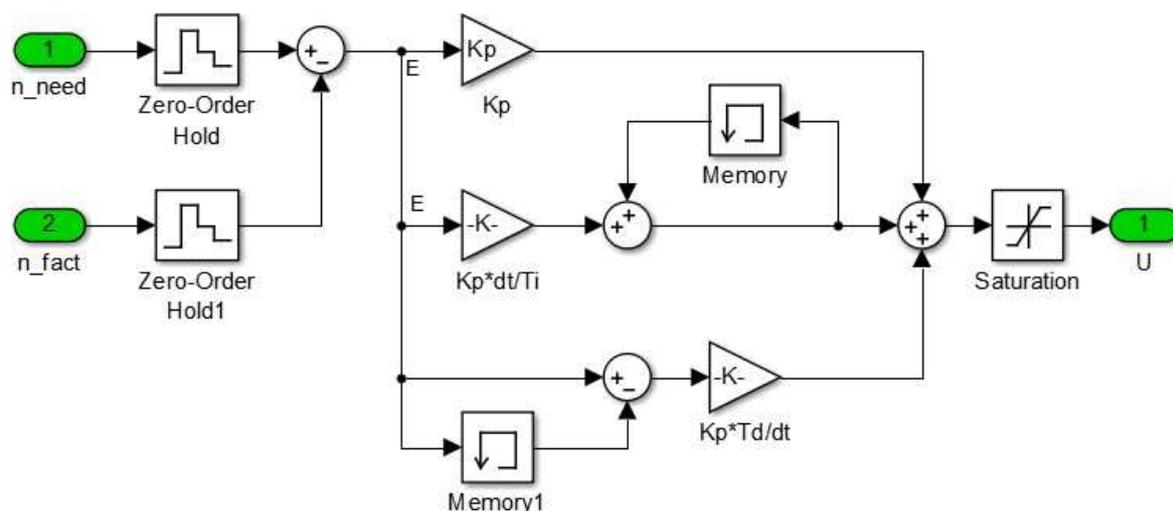


Рисунок 2 – Субмодель

В данной модели имеются дополнительные элементы. Zero Order Hold блок, предназначенный для дискретизации входных параметров с необходимой частотой. Фактически это можно представить в виде интервала времени, с которым данная система управления опрашивает датчики. Saturation даёт ограничения по параметру выхода. Следует обратить внимание, что частота дискретизации в настройках Simulink, через которую программа определяет дифференциальные уравнения, различается от той частоты дискретизации, которую вводим при расчёте конечных разностей в уравнениях. Для этого необходимо использовать заведомо известную частоту в блоках Memory, которые управляют единичной задержкой на время, равное частоте дискретизации, необходимо поставить галочку на «Inheritsampletime».

Переходный процесс приведен на рисунке 3.

Управление на основе нечеткой логики применяется при недостаточности информации об объекте управления, но при наличии опыта управления, в нелинейных системах, идентификация которых занимает длительное время, а также когда необходимо знать и применять дополнительные опыт эксперт. Рассмотрим, например, ректификационную

колонну, для которой впервые был разработан регулятор на основе нечеткой логики, математическая модель которого имеет множество эмпирических коэффициентов, которые сильно различаются и с большим трудом поддаются распознаванию. Также опытный оператор умело управляет этими объектами, используя указания для инструментов и опыт. [1].

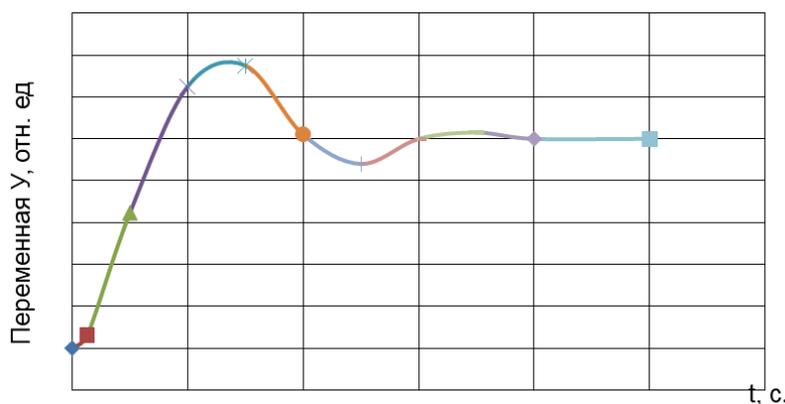


Рисунок 3 – Переходный процесс ПИД – регулятора

Нечеткая логика в ПИД-регуляторах в основном используется двумя способами: для настройки самого регулятора и для установки настройки коэффициента ПИД-регулятора. Оба варианта могут быть использованы в контроллере.

Законы ПИ- и ПИД-регулирования обычно используются для настройки контроллеров на нечеткую логику. Сигнал ошибки, приращение ошибки, квадрат ошибки и интеграл ошибки используются в качестве входных сигналов для системы нечетких контактов. Использование нечеткого ПИД-регулятора создает проблемы, так как он должен иметь трехмерную таблицу правил в соответствии с тремя членами в уравнении ПИД, которую крайне сложно заполнить с помощью ответов экспертов. [2].

Настройка осуществляется оператором по правилам или автоматически, с использованием блока нечеткой логики. Нечеткий блок использует набор правил конфигурации и методов нечеткого вывода. Нечеткая

настройка уменьшает перебег, сокращает время установления и увеличивает надежность ПИД-регулятора [2].

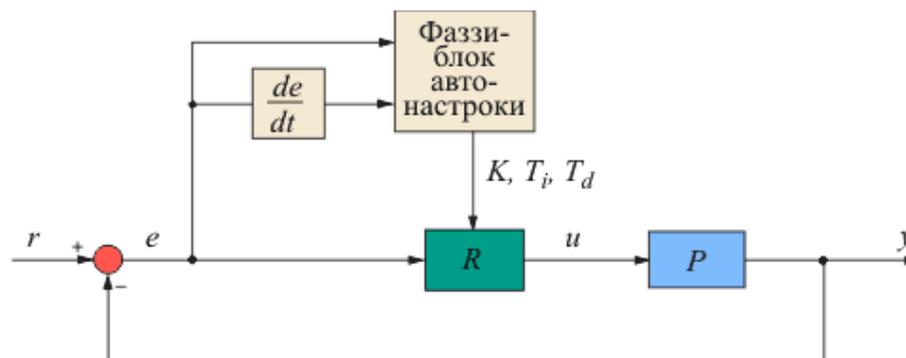


Рисунок 4 – Структура ПИД-регулятора с устройством автоматической настройки на основе нечеткой логики

Процесс автонстройки регулятора с помощью нечеткой логики осуществляется путем поиска начальных приближений коэффициентов регулятора K_p , T_i , T_d . Обычно это делается по методу Циглера-Николса, основанному на периоде собственных колебаний в замкнутой системе и усилении контура. Затем формулируется целевая функция, необходимая для нахождения оптимальных значений параметров настройки методами оптимизации. [3-6].

Процесс настройки контроллера состоит из нескольких шагов. Сначала выбираются диапазоны входных и выходных сигналов модуля автонстройки, затем формат функций принадлежности исследуемых параметров, правила нечетких выводов, механизм вывода, метод расфазировки и шкалы диапазонов факторов. необходимо пересчитать четкие переменные в нечетких.

Правила выбора ПИД-коэффициентов ра:

– увеличение K_p приведет к ускорению переходного процесса, снижению устойчивости и уменьшению статической ошибки;

– уменьшение K_p приводит к задержке переходного процесса, повысить стабильность (уменьшить колебания) и увеличить статическую погрешность;

– уменьшение K_p ведёт к увеличению K_i (ввиду приведенной структуры ПИД – регулятора $K_i \sim \frac{1}{T_i}$, значит данное правило справедливо для уменьшения T_i) сводится к уменьшению статической ошибки и к увеличению его калибруемости;

– уменьшение K_i (увеличение T_i) ведет к расширению статической ошибки и уменьшает его колебательность;

– уменьшение K_i (увеличение T_i) ведет к расширению статической ошибки и уменьшает его колебательность;

– увеличение K_d ($K_d \sim T_d$, следовательно справедливо для увеличения T_d) приводит к росту стабильности процесса и его скорости, но при этом регулятор становится подверженным к высоким статическим шумам;

– уменьшение K_d (уменьшение T_d) снижает устойчивость и скорость процесса, но при этом высокочастотный шум оказывает меньшее влияние на процесс управления.

Таким образом, мы получаем следующие модели для настройки параметров:

– чем выше ошибка по модулю рассогласования и её производная, тем выше должна быть K_p и тем ниже K_i и K_d ;

– чем ниже ошибка по модулю рассогласования и её производная, тем ниже должна быть K_p и тем выше K_i и K_d .

Нечёткие логические переменные в данном регуляторе представляют набор термов от нулевого значения до неопределенного положительного значения (отрицательными коэффициенты ПИД - регулятора не могут быть) [Z, SP, MP, LP].

Кроме того, таблицы правил (таблицы 1 и 2) симметричны относительно нулевого значения ошибки несоответствия и ее производной. Кроме того, таблицы правил для K_i интегрального члена и K_d дифференциального члена одинаковы.

Максимальные значения для каждого коэффициента производится аналогичным способом как к обычному ПИД-регулятору. Переходный процесс регулятора приведён на рисунке 5.

Таблица 1 – Правила для K_p

P		Величина ошибки, E								
		← +			0	- →				
		LP	MP	SP	Z	SN	MN	LN		
Производная ошибки, dE	↑ +	LP	LP	LP	MP	SP	MP	LP	LP	
		MP	LP	MP	SP	SP	SP	MP	LP	
		SP	MP	SP	SP	Z	SP	SP	MP	
	0	Z	SP	SP	Z	Z	Z	SP	SP	
		↓ ·	SN	MP	SP	SP	Z	SP	SP	MP
			MN	LP	MP	SP	SP	SP	MP	LP
	LN		LP	LP	MP	SP	MP	LP	LP	

Таблица 2 – Правила для K_i и K_d

I, D		Величина ошибки, E								
		← +			0	- →				
		LP	MP	SP	Z	SN	MN	LN		
Производная ошибки, dE	↑ +	LP	Z	Z	SP	MP	SP	Z	Z	
		MP	Z	SP	MP	MP	MP	SP	Z	
		SP	SP	MP	MP	LP	MP	MP	SP	
	0	Z	MP	MP	LP	LP	LP	MP	MP	
		↓ ·	SN	SP	MP	MP	LP	MP	MP	SP
			MN	Z	SP	MP	MP	MP	SP	Z
	LN		Z	Z	SP	MP	SP	Z	Z	



Рисунок 5 – Переходный процесс нечеткого ПИД - регулятора

Как видно из рисунка 5, адаптивный нечетко логический регулятор лучше справляется с задачей управления инерционным объектом, обеспечивая меньшее перерегулирование и время установления регулируемой температуры на уровне заданного значения.

В ходе исследования были получены следующие результаты:

- проанализированы виды помех и пути их распространения в автоматических системах управления;
- разработаны классический ПИД – и адаптивный нечеткий регуляторы для уменьшения перерегулирования и времени установления регулируемой температуры;
- проведено моделирование регуляторов в динамической среде MATLAB-SIMULINK, получены графики переходного процесса по каналу управления;
- показано, что адаптивный нечетко логический регулятор является более быстродействующим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кудинов Ю.И. Построение и настройка нечеткого адаптивного ПИД-регулятора / Кудинов Ю.И., Колесников В.А., Дургарян И.С., Пащенко А.Ф. , Белова О.Н. // Информатика и системы управления. -2016.- №3((49)).-С.86-96.

2 Вильданов Р.Г. Моделирование автоматической системы регулирования с fuzzy-регулятором / Вильданов Р.Г., Бикметов А.Г., Самошкин А.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-13483/>

3 Ибрагимов И.Г. Разработка датчика для контроля напряженно-деформированного состояния металлических конструкций / Ибрагимов И.Г., Вильданов Р.Г. // Нефтегазовое дело. – 2008. – Т. 6. – № 1. – С. 126-128.

4 Вильданов Р.Г. Разработка датчиков потерь на перемагничивание для контроля напряженно-деформированного состояния металлических конструкций / Вильданов Р.Г. // Контроль. Диагностика. 2008. – № 10. – С. 48-50.

5 Вильданов Р.Г. Разработка конструкций датчиков потерь на перемагничивание // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. – № 5. – С. 21–24. 5 [5]

6 Vildanov R G, Khismatullin A S, Luneva N N. The investigation of magnetization reversal loss sensor //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. - С. 01210

REFERENCES

1 Kudinov Ju.I. Postroenie i nastrojka nechetkogo adaptivnogo PID-reguljatora / Kudinov Ju.I., Kolesnikov V.A., Durgarjan I.S., Pashhenko A.F. , Belova O.N. // Informatika i sistemy upravlenija. -2016.- №3((49)).-S.86-96.

2 Vil'danov R.G. Modelirovanie avtomaticheskoy sistemy regulirovanija s fuzzy-reguljatorom / Vil'danov R.G., Bikmetov A.G., Samoshkin A.I. // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-13483/>

3 Ibragimov I.G. Razrabotka datchika dlja kontrolja naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metallicheskih konstrukcij / Ibragimov I.G., Vil'danov R.G. // Neftgazovoe delo. – 2008. – Т. 6. – № 1. – S. 126-128.

4 Vil'danov R.G. Razrabotka datchikov poter' na peremagnichivanie dlja kontrolja naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metallicheskih konstrukcij / Vil'danov R.G. //Kontrol'. Diagnostika. 2008. – № 10. – S. 48-50.

5 Vil'danov R.G. Razrabotka konstrukcij datchikov poter' na peremagnichivanie // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. – 2012. – № 5. – S. 21–24. 5 [5]

6 Vildanov R G, Khismatullin A S, Luneva N N. The investigation of magnetization reversal loss sensor //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. - S.