



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.434

## ОЦЕНКА ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

**Павлова Ю.В.,<sup>1</sup> Прокуденков Н.П.**

*ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МЭИ" (ФИЛИАЛ В ГОРОДЕ СМОЛЕНСКЕ), Смоленск, Россия, (, (214013, РФ, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1), e-mail: <sup>1</sup>nik.prok54@mail.ru*

В данной статье рассматривается применение комбинированных ПИД-регуляторов с нечеткой логикой для автоматического регулирования технологических процессов. Исследуется эффективность таких регуляторов в сравнении с классическими ПИД-регуляторами. В частности, проводится моделирование систем с различными типами объектов управления, такими как звенья первого и второго порядка с и без запаздывания. Результаты моделирования показали, что в некоторых случаях комбинированные регуляторы с нечеткой логикой могут улучшить параметры регулирования, такие как время регулирования и перерегулирование, по сравнению с традиционными ПИД-регуляторами. Однако, в системах с объектами первого порядка с запаздыванием и без него, использование нечеткой логики не дает значительных преимуществ, и применение таких регуляторов нецелесообразно.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, нечеткое регулирование, комбинированный регулятор, Matlab Simulink, автоматическое регулирование, технологические процессы.

## ASSESSMENT OF THE APPLICATION AREA OF THE COMBINED FUZZY CONTROLLER

**Pavlova Y.V.,<sup>1</sup> Prokudnikov N.P.**

*"NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY "MPEI" (BRANCH IN THE CITY OF SMOLENSK), Smolensk, Russia, (214013, Smolensk, Energeticheskiiy proezd, 1), E-MAIL: <sup>1</sup>nik.prok54@mail.ru*

This article examines the application of combined PID controllers with fuzzy logic for automatic control of technological processes. The effectiveness of such controllers is compared with traditional PID controllers. Specifically, systems with different types of controlled objects, such as first- and second-order systems with and without time delay, are modeled. The simulation results showed that in some cases, combined controllers with fuzzy logic can improve control parameters such as settling time and overshoot, compared to traditional PID controllers. However, in systems with first-order objects with and without time delay, the use of fuzzy logic does not provide significant advantages, making the application of such controllers inadvisable.

Keywords: PID controller, fuzzy control, combined controller, Matlab Simulink, automatic control, technological processes.

Среди находящихся в эксплуатации регуляторов более 90% приходится на ПИД-регуляторы. Такое широкое распространение данный вид регуляторов получил благодаря простоте построения, низкой стоимости, возможности решить большинство практических задач, а также простоте промышленного использования.

Однако при неизвестных возмущениях и недостаточных сведениях о параметрах объекта при учете транспортной задержки, не всегда удается достичь требуемого качества регулирования.

Решить проблемы такого типа позволяет нечеткое регулирование, которое является одним из перспективнейших направлений в интеллектуальном управлении. Преимуществом использования нечеткого управления является возможность настройки при недостаточном знании о параметрах объекта, в случае если идентификация слишком трудоемка или для настройки требуются знания эксперта.

Комбинация данных методов регулирования позволяет повысить качество управления технологическими объектами, но при этом повышается сложность настройки и затраты ресурсов на управление такими системами.

В среде Matlab Simulink было проведено экспериментальное моделирование систем автоматического регулирования (САР) как с четким ПИД-регулятором, так и с комбинированным нечетким регулятором, с целью выявления области применения комбинированных регуляторов.

В промышленных системах управления объект регулирования с точки зрения теории управления может быть описан звеном первого или второго порядка как с запаздыванием, так и без него. Исходя из этого рассмотрим модели с указанными типовыми объектами регулирования.

На Рисунке 1 представлена общая модель системы для исследования с объектом управления – звеном первого порядка.

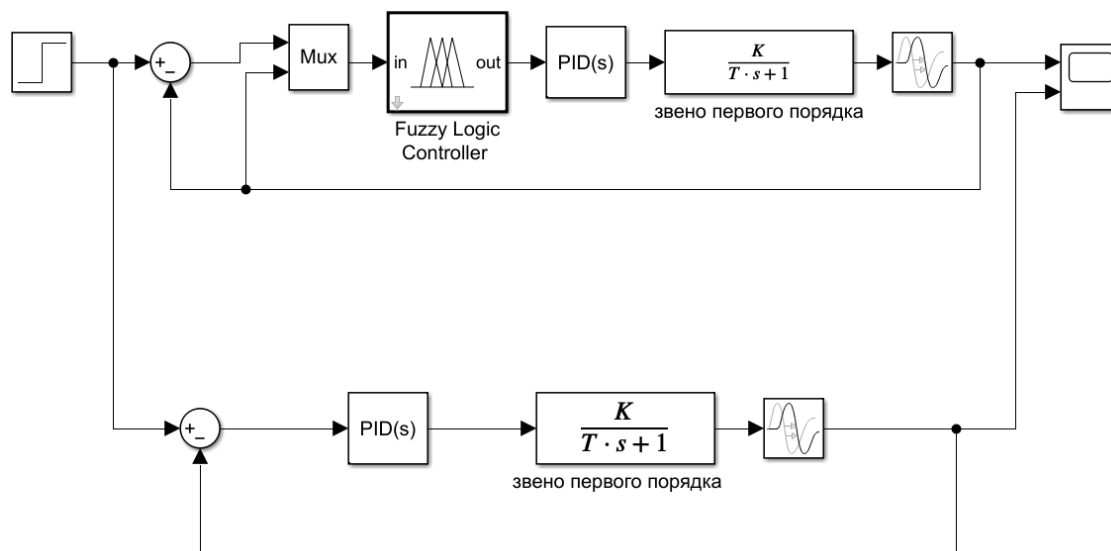


Рисунок 1 – Модель системы в общем виде

Возьмем в качестве объекта управления звено первого порядка с запаздыванием. Ниже приведена передаточная функция данного объекта управления в общем виде:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} e^{-\tau p}. \quad (1)$$

Проведем моделирование при  $K=5$ ,  $T=5$  и изменяющемся значении  $\tau = \{0,5; 0,75; 1\}$ . Результаты моделирования системы со звеном первого порядка с запаздыванием представлены в Таблице 1.

Оценка полученных результатов проводилась на основе переходного процесса, результаты сравнивались по критериям таким, как перерегулирование и время регулирования при точности регулирования равной 5%.

Таблица 1 – Результаты моделирования системы со звеном первого порядка при изменении времени запаздывания

	С модулем нечеткой логики		
	$\tau = 0,5$	$\tau = 0,75$	$\tau = 1$
Перерегулирование, %	21	44,9	77,6
Время регулирования, с	18,293	18,293	18,798
Без модуля нечеткой логики			
Перерегулирование, %	7	9	11,5
Время регулирования, с	9,758	9,758	9,356

По полученным значениям времени регулирования и перерегулирования можно сделать вывод, о том, что в данной системе обычный ПИД-регулятор дает лучшие результаты управления.

Возьмем в качестве объекта управления звено второго порядка и выясним влияние изменения коэффициента передачи объекта на параметры переходного процесса. Модель системы аналогична модели на рисунке 1, с объектом управления – звеном второго порядка. Ниже приведена передаточная функция данного объекта управления в общем виде:

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-\tau p}. \quad (2)$$

Проведем моделирование при  $\tau = 0$ ,  $T_1 = 0.5$ ,  $T_2 = 1$  и изменяющемся значении  $K = \{2; 5; 10\}$ . Результаты моделирования системы со звеном второго порядка без запаздывания представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования при изменении коэффициента усиления и временем запаздывания  $\tau = 0$

	С модулем нечеткой логики		
	$K = 2$	$K = 5$	$K = 10$
Перерегулирование, %	5,8	5,3	0
Время регулирования, с	2,6	1,7	1,5
Без модуля нечеткой логики			
Перерегулирование, %	6,7	9,2	8,6
Время регулирования, с	3,9	2,9	2,26

По полученным значениям времени регулирования и перерегулирования можно сделать вывод, о том, что в данной системе комбинированный ПИД-регулятор дает лучшие результаты управления.

Проведем моделирование на том же объекте управления при  $\tau = 0$ ,  $T_2 = 1$ ,  $K = 2$  и изменяющемся значении  $T_1 = \{0.5; 1.5; 2\}$ . Результаты моделирования системы со звеном второго порядка без запаздывания представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования при изменении постоянной времени

	С модулем нечеткой логики		
	$T_1 = 0,5$	$T_1 = 1,5$	$T_1 = 2$
Перерегулирование, %	5,8	26	32,5
Время регулирования, с	2,6	5,8	6,8
Без модуля нечеткой логики			
Перерегулирование, %	6,7	28	34
Время регулирования, с	3,9	8,3	9,5

По результатам моделирования нечеткий ПИД-регулятор продолжает показывать лучшие результаты.

Возьмем в качестве объекта управления звено второго порядка с запаздыванием и выясним влияние изменения времени запаздывания на параметры переходного процесса.

Проведем моделирование при  $K=5$ ,  $T_1 = 0.5$ ,  $T_2 = 1$  и изменяющемся значении  $\tau = \{0,1; 0,15; 0,2\}$ .

Результаты моделирования системы со звеном первого порядка с запаздыванием представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Результаты моделирования звена второго порядка с запаздыванием при изменении времени запаздывания

	С модулем нечеткой логики		
	$\tau = 0,1$	$\tau = 0,15$	$\tau = 0,2$
Перерегулирование, %	5,2	21	23
Время регулирования, с	2,1	2,25	2.9
Без модуля нечеткой логики			
Перерегулирование, %	5	22	32
Время регулирования, с	3,5	4,45	3.8

Полученные результаты говорят о том, что в системах, которые можно смоделировать с помощью звена второго порядка с запаздыванием целесообразно использовать комбинированный регулятор.

Для более наглядного сравнения двух видов регулирования на Рисунке 2 приведен график переходного процесса для звена второго порядка с запаздыванием равным  $\tau = 0.1$ , на рисунке 3 соответствующий ему график ошибки.

По графику переходного процесса видно, что время регулирования системы с нечетким ПИД-регулятором меньше, а также по графику ошибки можно определить, что и интегральный квадратичный показатель меньше, чем у обычного регулятора.

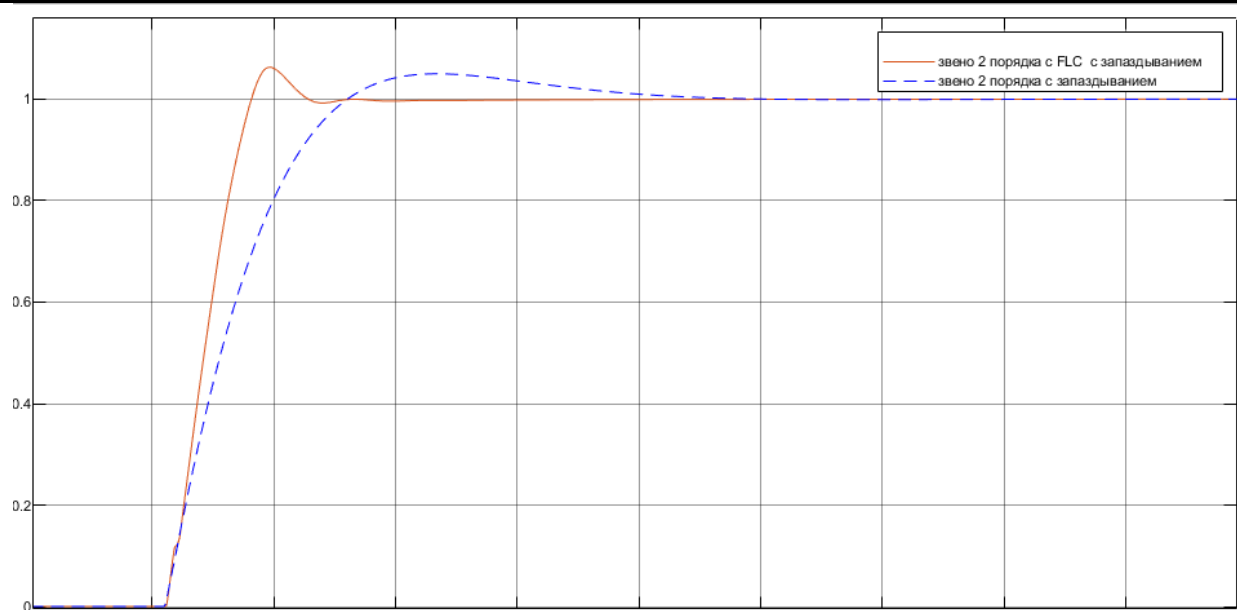


Рисунок 2 – График переходного процесса системы. при времени запаздывания  $\tau = 0,1$

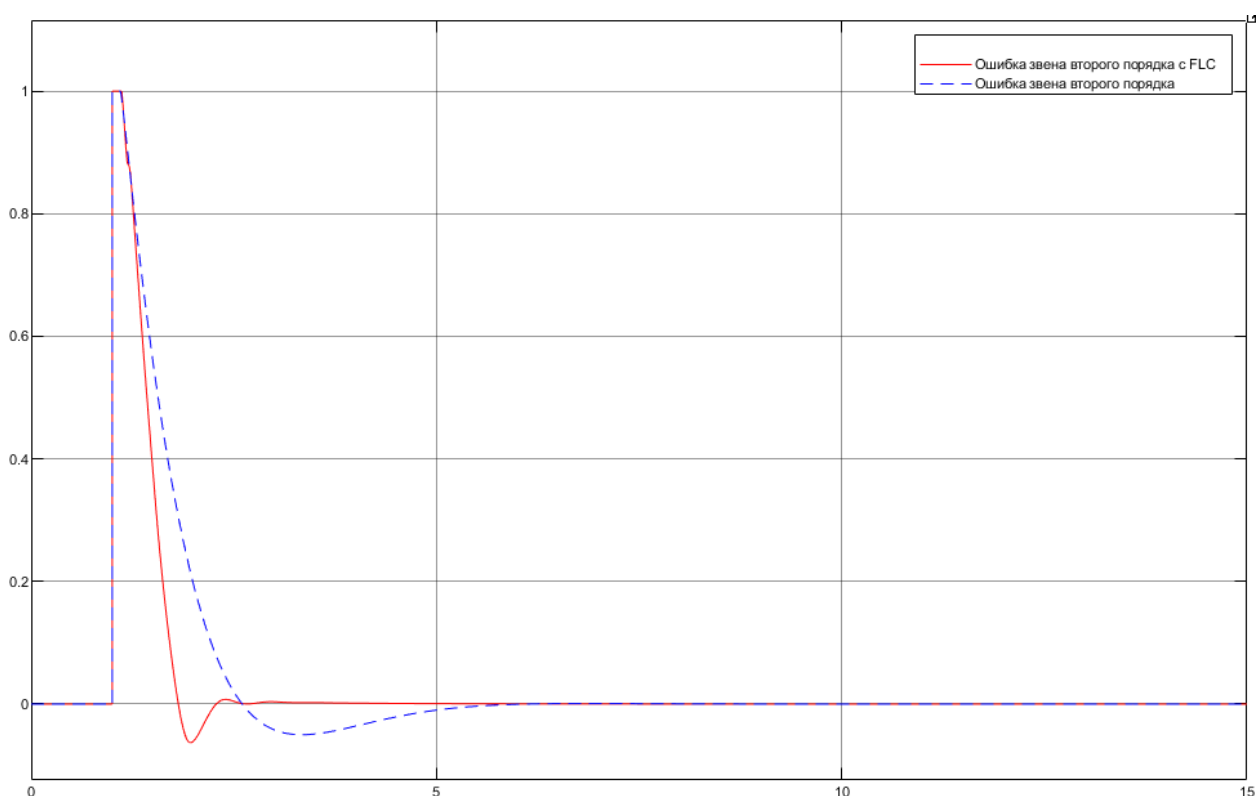


Рисунок 3 – График ошибки регулирования

Таким образом исследование показало, что для технологических систем, в которых объект управления моделируется звеном первого порядка с запаздыванием и без него использование комбинированного регулятора не приносит выигрыша в качестве регулирования. Следовательно, в таких системах нецелесообразно использование сложно регулятора с модулем нечеткой логики.

Для случая, когда объект управления описывается звеном второго порядка как с запаздыванием, так и без него, использование комбинированного ПИД- регулятора с нечеткой

логикой значительно повышает качество регулирования, а именно время регулирования и перерегулирование уменьшаются по отношению к классическому ПИД-регулятору.

В результате моделирования систем автоматического управления с различным объектом управления можно сделать вывод что комбинированный регулятор имеет смысл использовать в системах начиная со второго порядка.

### Список литературы

1. Макаров И.М., В.М. Лохин Интеллектуальные системы автоматического управления /И.М. Макаров, В.М. Лохин. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2001. – 576 с.
2. Куленко М.С., Буренин С.В. Исследование применения нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами // Вестник ИГЭУ. 2010. №2. С. 10 – 15.
3. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления: Монография. – Смоленск: СФРУК, 2013. – 153 с.
4. Павлова Ю.В., Прокуденков Н.П. Сравнительный анализ регуляторов для настройки САР. В сборнике: Информационные технологии, энергетика и экономика. 2023. С. 75-78.
5. Никитенко Е.В., Айрих И.А. Системы автоматического регулирования: Учебное пособие для студентов направления "Информатика и вычислительная техника". - Изд, 2-е. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубионск, 2016. – 73 с.
6. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю. Ф. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. И доп. Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Техн. Ун-та, 2004. 352 с
7. Николаев Е.В. Технологические объекты второго порядка с запаздыванием // Молодой ученый. 2017. №23. С. 149-152.
8. Чернодуб А.Н., Дзюба Д.А. Обзор методов нейроруправления // Проблемы программирования. 2011. №2. С. 79-94.

### References

1. Makarov I.M., Lokhin, V.M. *Intelligent Automatic Control Systems* / I.M. Makarov, V.M. Lokhin. – Moscow: FIZMALIT, 2001. – p.576.
2. Kulenko M.S., Burenin, S.V. *Study of the Application of Fuzzy Controllers in Technological Process Control Systems* // Bulletin of the IGEU. 2010. No. 2. pp. 10–15.
3. Uskov A.A. *Systems with Fuzzy Models of Control Objects: Monograph* – Smolensk: SFROK, 2013. – p.153.
4. Pavlova Yu.V., Prokudencov N.P. *Comparative Analysis of Controllers for Setting up Automatic Control Systems* in the collection: *Information Technologies, Energy, and Economics*. 2023. pp. 75-78.
5. Nikitenko E.V., Airikh I.A. *Automatic Control Systems: A Textbook for Students of the "Informatics and Computer Engineering" Program*. 2nd ed. / Rubtsov Industrial Institute. – Rubtsovsk, 2016. – p.73.
6. Lazareva T.Y., Martemyanov Yu.F. *Fundamentals of Automatic Control Theory: A Textbook*. 2nd ed., revised and supplemented. Tambov: Publishing House of Tambov State Technical University, 2004. – p.352.
7. Nikolaev E.V. *Technological Second-Order Objects with Time Delay* // Young Scientist. 2017. No. 23. pp. 149-152.

8. Chernodub A.N., Dzyuba D.A. *Review of Neurocontrol Methods* // *Programming Problems*. 2011. No. 2. pp. 79-94.
-