

УДК 681.60-50

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ  
ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

**Х.А.Бахриева<sup>1</sup>, М.Г. Маннопова<sup>2</sup>, Э.Э.Журамбеков<sup>3</sup>**

*доцент, PhD Alfraganus university, adish\_adisha@mail.ru*

*ассистент, Alfraganus university, m.mannapova.94@gmail.com*

*магистрант 1-курса Alfraganus university, elyorjorambeko@gmail.com*

В статье рассматриваются вопросы создания адаптивной системы управления динамическими объектами на базе нейро-нечеткой технологии. Данная технология применена для активной идентификации и создания алгоритмов управления температурой перегретого пара барабанного котла при наличии возмущений, связанных с изменением нагрузки. Нейро-нечеткая модель регулятора представлена в виде многослойной нейронной сети без обратных связей, отличающаяся простой реализацией на практике.

Мақолада нейро-ноқатый технологиялар базаси асосида динамик объектларни бошқаришнинг мослашувчан тизимини яратиш масалалари кўрилади. Ушбу технология фаол идентификация учун ва юкни ўзгариши билан боғлиқ алмаштиришларда барабан қозонларининг қиздирилган буғи температураси бошқариш алгоритмларини яратишда қўлланилган. Нейро-кайтыймас регулятор тескари боғланишисиз купкатламли нейрон тур шаклида тасвирланган булиб, уни амалиётга тадбик қилиш кулайдир.

Article deals with the creation of an adaptive control system for dynamic objects based on neuro-fuzzy technology. This technology is used for active identification and creation of algorithms for controlling the temperature of

superheated steam of a drum-type boiler in the presence of perturbations associated with changing the load. Neuro-fuzzy controller model is represented as a multilayer neural network without feedback, which distinguishes simple implementation in practice.

**Введение.** Алгоритмы функционирования автоматизированных систем управления, разработанные на стадии проектирования, как правило, в значительной степени отличаются от оптимальных значений параметров традиционных регуляторов. Это связано с несовершенством математических моделей объектов. Известно, что получение математических моделей систем управления экспериментальным путем на действующих сложных объектах является трудной задачей. Эти трудности связаны с влиянием внешних и параметрических возмущений, часть которых имеет нестационарный характер и не подлежит контролю [1].

В связи с этим возникает необходимость применения адаптивных интеллектуальных систем управления сложными многорежимными динамическими объектами к которым относятся барабанные котлы, с применением нейро-нечеткой технологии и необходимой мерой для повышения эффективности управления производством в целом.

**Обзор литературы.** В качестве объекта регулирования рассмотрим автоматическую систему регулирования (АСР) температуры перегретого пара барабанного котла [1,2]. Задача управления пароперегревателем заключалась в обеспечении заданного температурного режима в паровом тракте котла. Изменение температуры пара осуществляется за счет увеличения или уменьшения количества впрыскиваемой в пароохладитель воды с целью стабилизации заданного значения температуры пара на выходе пароперегревателя (рис. 1).

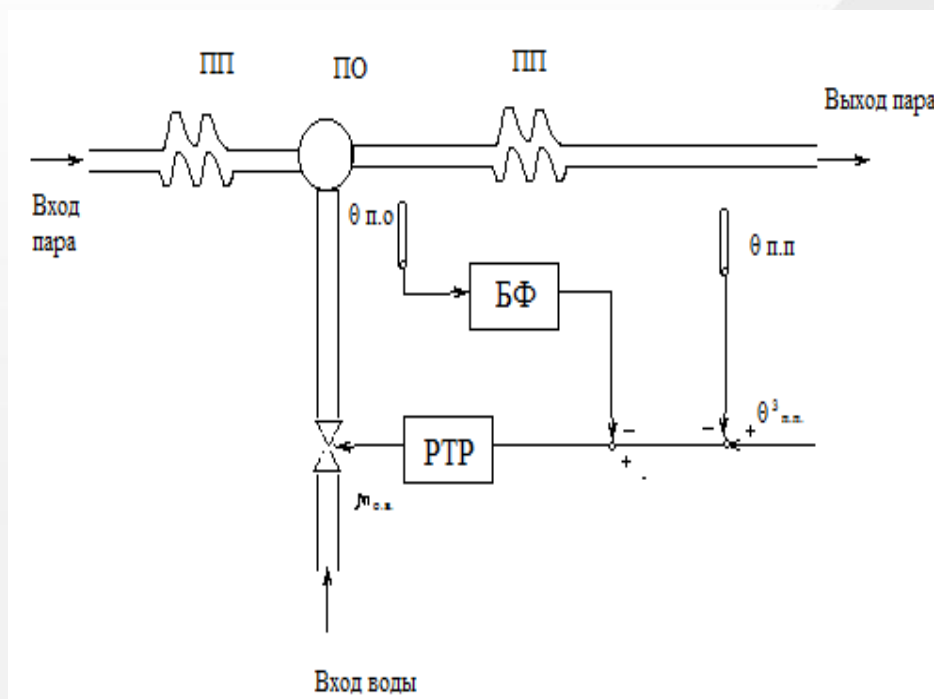


Рис. 1. АСР температуры перегретого пара:

ПП - пароперегреватель, ПО - пароохладитель, БФ – блок формирования сигнала (дифференциатор), РТР - регулятор температуры,  $\theta$  п.о. - температура пара после пароохладителя,  $\theta$  п.п. - температура пара после пароперегревателя,  $\theta^3$  п.п. - задание

В существующих теплоэнергетических объектах преимущественно применяют типовую каскадную систему регулирования температуры перегретого пара, в состав которых входят управляющий контур пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора и дополнительный контур измерения вспомогательной регулируемой величины сформированной в блоке формирования сигнала.

Анализ эксплуатационных характеристик пароперегревателя показывает, что объект управления имеет переменную величину транспортного запаздывания, его динамические свойства существенно зависят от содержания кислорода в выходящих газах, загрязнения поверхностей нагрева, а также от режимных факторов - нагрузки, вида и сорта сжигаемого топлива, состояния поверхностей нагрева, избытка воздуха и т. п. [2]. Кроме того получение математической модели температуры перегрева пара обычно связано с аппроксимацией кривых разгона,

полученных экспериментально, вследствие чего математическое описание априори становится неточным.

Исследование научных публикаций в области адаптивных АСР в динамических системах [1,2] позволило сделать вывод, что широкое распространение получили традиционные методы активной идентификации и связанные с ними алгоритмы расчета оптимальных настроек ПИ- и ПИД-регуляторов по анализу комплексной частотной характеристики объектов или режима автоколебаний.

Следует отметить, что для рассматриваемой АСР температуры пара, автоколебательный процесс недопустим из-за требований технологического регламента, поскольку отклонение температуры пара от нормы может привести к преждевременному износу оборудования турбины.

Таким образом, возникает научная задача поиска оптимальных методов идентификации объекта в случаях изменения его нагрузки и алгоритмов расчета настроек ПИ-регуляторов, для обеспечения ожидаемого переходного процесса (перерегулированием  $G < 30\%$ , степенью затухания  $\psi = (0,75 - 0,95)$ , с минимальным временем регулирования  $T_p$ ) [1,2].

В настоящее время широкую популярность в теории адаптивного управления получили научные подходы, связанные с использованием интеллектуальных систем [5,6], основанные на гибридном применении нейронных регуляторов и нейронных сетей которые послужили толчком к возникновению нового научного направления - гибридных, или нейро-нечетких сетей (ГС, ННС) [4].

Рассмотрение данной технологии применительно к идентификации и адаптации АСР температуры перегретого пара является актуальной научной задачей.

Структурная схема, предложенная в статье нейро-нечеткой адаптивной системы регулирования, представлена на рисунке 2. При этом передаточная функция состоит из нескольких инерционных звеньев с запаздыванием вида:

$$W(s) = \frac{K}{(T(s)+1)} e^{\tau(s)} \quad \text{со значениями, изменяющимися на}$$

протяжении времени в определенном диапазоне в зависимости от вида нагрузки или режима работы парового котла.

**Результат.** Нейро-нечеткая модель регулятора представляет собой многослойную нейронную сеть без обратных связей, в которой входы ( $K, T, \tau$ ) представлены в виде лингвистических переменных.

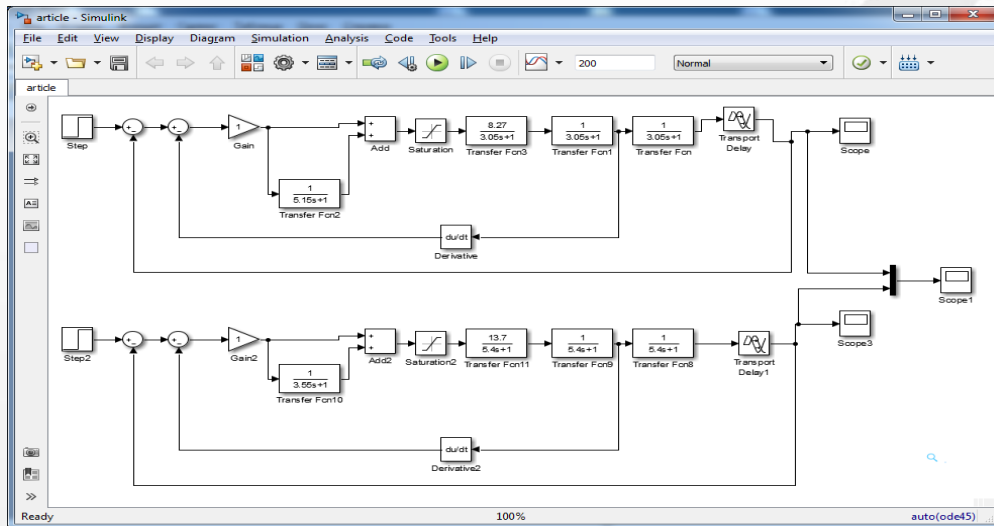
Для аппроксимации зависимости представляющий причинно-следственную связь между  $K, T, \tau$  и  $K_p, T_u$  был выбран и тип функции принадлежности (трапецеидальный и треугольный), описывающий входные значения.

Таким образом нейро-нечеткой моделью было реализовано отображение параметров ПИ-регулятора по характеристикам объекта регулирования:  $S^k = f(x^k) = f(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k), k = 1, 2, \dots, N$ , при наличии обучающего множества  $((x^1, y^1), \dots, (x^N, y^N))$ .

Для моделирования неизвестной функции  $f$  используется алгоритм Сугено с базой знаний следующего типа:  $\Pi_i$ : ЕСЛИ  $x_1$  является  $A_{i1}$  И  $x_2$  является  $A_{i2}$  И  $x_1$  является  $A_{in}$ , ТО  $T_{ik} = S_i, i=1, 2, \dots, m$ , где  $A_{ij}$  - нечеткие множества треугольной формы, описывающие технологические режимы процесса (малое (М), среднее (С), большое (Б)),  $S_i$  — выходные значения регулятора [4].

Степень истинности  $\mu$  правила  $i$  определяется с помощью операции конъюнкции. Выход нечеткой системы определялся методом центра тяжести [5]:

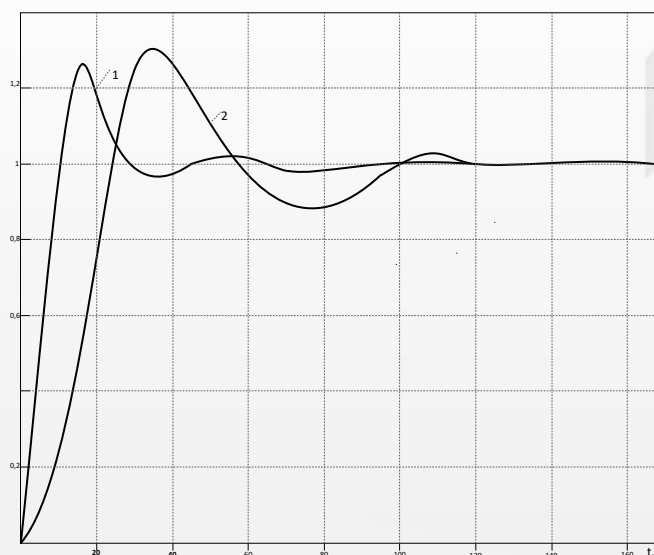
$$T_{ilk} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i S_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i}$$



*Рис. 2. Схема адаптивных АСР с ПИ-регуляторами и нелинейными элементами*

На основе разработанной системы регулирования формализована имитационная модель и произведен вычислительный эксперимент в Matlab [4,7].

Анализ переходных процессов (рис.3) показал, что при влиянии параметрического возмущения, гибридная система обладает меньшим временем регулирования ( $T_{p1}=138$  с) по сравнению с традиционной адаптивной АСР ( $T_{p2}=163$  с), а также перерегулирование гибридной АСР  $G^{TP}=28\%$ , традиционной  $G^{TP}=50\%$ , степень затухания гибридной  $\psi^{Tp} = 0,91$ , традиционной  $\psi^{Tp} = 0,68$ , т.е. предложенная гибридная АСР является оптимальной и энергоэкономной.



*Рис.3. Переходные процессы по каналу регулирования: 1-нейронечеткий АСР (при номинальной нагрузке), 2 – нейронечеткой АСР (при изменении нагрузки)*

**Закключение.** Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что предложенная интеллектуально-адаптивная АСР температуры перегретого пара обладает следующими преимуществами:

- 1) быстротой процесса нахождения оптимальных настроек ПИ-регулятора каскадной АСР с возможностью их аппроксимации и экстраполяции;
- 2) меньшими первым отклонением и временем переходного процесса регулирования;
- 3) возможностью оптимального функционирования каскадной АСР во всех режимах парового барабанного котла;
- 4) возможностью использования в процессах адаптации различных АСУ ТП и АСР с ПД и ПИД- регуляторами в теплоэнергетике.

### Литература

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления /В.Я.Ротач.-М.: МЭИ,2008.-396 с.

2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций /Г.П. Плетнев. -М.: Энергоиздат,1986.-368 с.
3. Леоненков А.Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А.Ю. Леоненков.-С.-Птб.:БХВ,2003.-720 с.
4. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А. Имитационное моделирование системы управления динамическим объектом на основе синергетического подхода /«Автоматизация. Современные Технологии» №1, 2018 С. 22-25
5. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов,Н.Н. Борисов .- М.:Горячая линия –Телеком,2001.-382 с.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, пер.с польск. И.Д. Рудинского .-М.: Горячая линия –Телеком, 2006 .-452 с.
7. Siddikov I., Iskandarov Z. Synthesis of adaptive-fuzzy control system of dynamic in conditions of uncertainty of information // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol.5, Issue 1, January 2018. PP 5089-5093
8. Siddikov I., Iskandarov Z. Synthesis of adaptive-fuzzy control system of dynamic in conditions of uncertainty of information // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol.5. Issue 1. January 2018. PP 5089-5093.
9. Siddikov Isamidin Hakimovich, Bakhrieva Xurshida Askarxodjaevna Designs Neuro-Fuzzy Models in Control Problems of a Steam Heater // Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering 6(5), 2019.-P. 359-365. (№29; Scopus; IF:0.283).
10. Siddikov Isamidin Hakimovich, Umurzakova Dilnoza Maxamadjonovna and Bakhrieva Hurshida Askarxodjaevna Adaptive system offuzzy-logical regulation by temperature mode of a drum boiler // IIUM Engineering Journal, Vol.21, №.1, 2020.-P. 182-192. (№6; Scopus; IF:0.281).