

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СЕТЬЮ

В. С. Михайленко, канд. техн. наук, доцент;

Р. Ю. Харченко, ассистент,*

Одесская государственная академия холода, г. Одесса,

E-mail: vlad_mihailenko@mail.ru

**Одесская национальная морская академия, г. Одесса,*

E-mail: romannn30@gmail.com

Для автоматизированных систем управления технологическими процессами сложных объектов синтезирован адаптивный нечеткий регулятор, действующий на основе разработанной прогнозирующей нейронечеткой сети. Сравнительный анализ аperiodических переходных процессов показал преимущество адаптивной системы по сравнению с типовой нечеткой САР.

Ключевые слова: идентификация, адаптация, фазификация, экстраполяция, нейронная сеть, лингвистическая переменная.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Известно, что для систем автоматического регулирования (САР) сложными объектами традиционным является наличие зависимости, реализуемой обратной связью между входными и выходными переменными (заданием и выходом объекта). При этом выявление данной зависимости в аналитическом виде не всегда представляется возможным по причине недостатка информации о моделируемой проблемной области либо в связи со сложным учетом многообразия факторов, оказывающих влияние на объект управления. Для успешного решения подобных задач разработан специальный математический аппарат – нейронные сети (НС) [1]. Преимуществом моделей управления сложными объектами, созданных на основе данного аппарата, является возможность получения новой информации, например, о характере переходного процесса регулирования, в форме некоторого прогноза. При этом разработка нейронной сети осуществляется посредством ее обучения на основе информации, полученной от эксперта, средств измерения или компьютерных экспериментов. Еще одним перспективным научным направлением для решения сложно структурированных задач управления в настоящее время является теория гибридных нейронных сетей, или нечетких сетей [2]. Нечеткие нейронные сети объединяют в себе преимущества нейронных сетей и систем нечеткого вывода, что позволяет представлять модели управления в форме правил нечеткой продукции и успешно решать поставленные задачи. Исходя из этого, анализ современного математического аппарата применительно к реализации в адаптивных системах управления сложными объектами является актуальной задачей.

Целью исследования является синтез адаптивного нечеткого регулятора, действующего на основе прогнозирующей нейронечеткой сети.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В задачу нечеткой сети, или гибридной сети (ГС), будут входить наблюдение за процессом управления и оценка его показателей качества, сбор данных о процессе и самообучение с целью получения прогноза о качестве управления при воздействии на объект неконтролируемых и глубоких возмущений. Оператор (ЛПР), или нечеткий регулятор, получая

такой прогноз, смогут работать на опережение до возникновения аварийной ситуации и ухудшения процесса управления. С помощью такого прогноза эксперт может произвести замену правил в базе правил нечеткого регулятора, или блок адаптации самостоятельно сможет выбрать требуемые правила нечеткой продукции и стабилизировать процесс регулирования без участия оператора технологического процесса.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АДАПТИВНОЙ САР

Принцип действия нечеткой адаптивной САР подробно рассмотрен в работе [2]. Отметим, что нейросетевые и нечеткие адаптивные системы управления были исследованы такими учеными, как Алиев, Ротштейн, Тэрано и др. [1-3]. Но в отличие от известных структур нечетких адаптивных САР нами предлагается введение дополнительного канала адаптации с дифференциатором, сигнал которого проходит с выхода объекта на базу правил адаптации с гибридной сетью (рис.1). В структуре базы правил адаптации находится нечеткая адаптивная нейронная сеть типа (ANFIS) [4], назначением которой является составление прогноза о характере переходных процессов управления и выбор новых правил P , для базы правил нечеткого регулятора в случае, если система управления будет стремиться к неустойчивому состоянию или критерии качества будут неудовлетворительными. Для ускорения процесса адаптации предлагается управляющее воздействие u^A подавать непосредственно на вход объекта, т.е. на его исполнительные устройства.

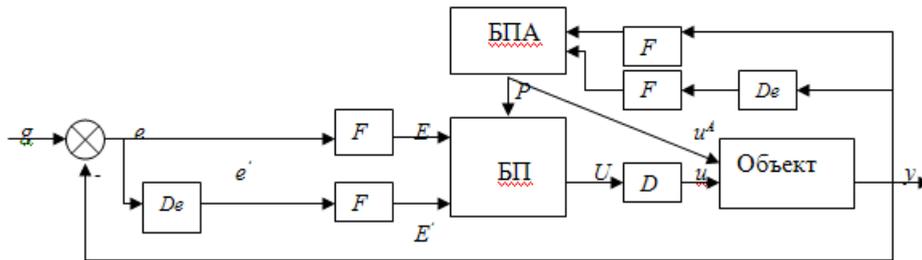


Рисунок 1 – Структура нейронечеткой адаптивной САР: g – задание; e – ошибка; De – дифференциатор; F – блок фаззификации; БП – база правил; БПА – база правил адаптации (ГС); P – адаптивное правило; U – управление; D – блок дефаззификации; u^A – адаптивное управление; y – выход

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ САР

Для разработки БПА или обучения ГС авторами проводились этапы фаззификации входных лингвистических переменных, определяющих качество переходного процесса (первое отклонение, время регулирования) (см. рис. 2-4). В качестве объекта исследования принимается тепловой объект, описанный наиболее распространенным в теплоэнергетике инерционным звеном с запаздыванием вида

$$w(s) = \frac{1}{25s + 1} e^{-1.5s}.$$

По нашему мнению, использование нечеткого регулятора в основном контуре более эффективно по сравнению с традиционными (ПИ, ПИД) или робастными регуляторами [5] при управлении объектами с нелинейными свойствами и при влиянии глубоких внешних и внутренних возмущений.

В процессе приведения к нечеткости использованы функции принадлежности трапециевидной формы (малая М, средняя С, большая В)[4].

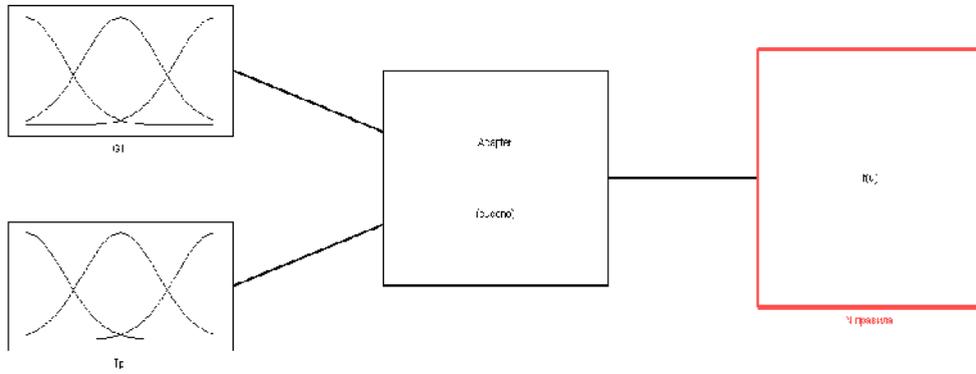


Рисунок 2 – Структура БПА

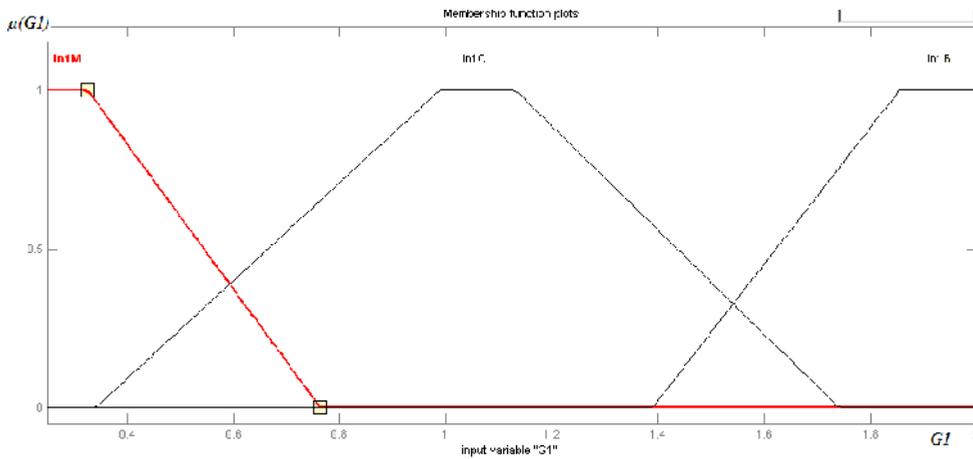


Рисунок 3 – Функции принадлежности ЛП «первое отклонение»

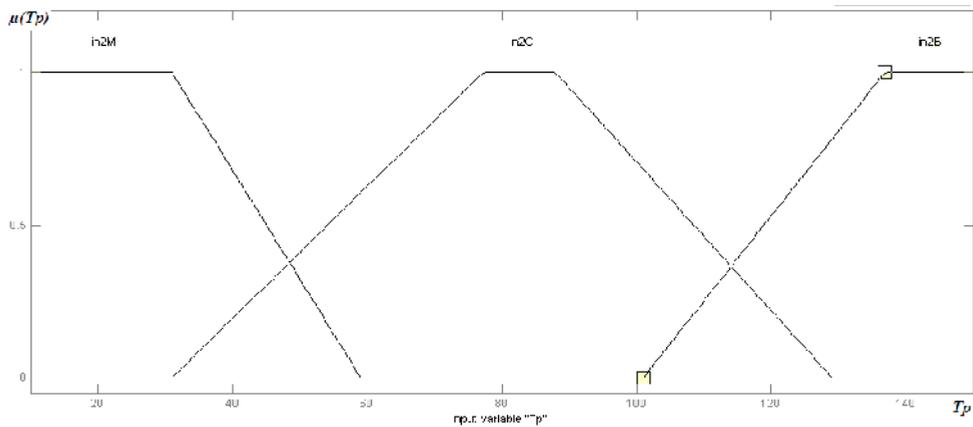


Рисунок 4 – Функции принадлежности ЛП «время регулирования»

Структура ННС, разработанная авторами в программе anfisedit (MatLab), показана на рис. 5.

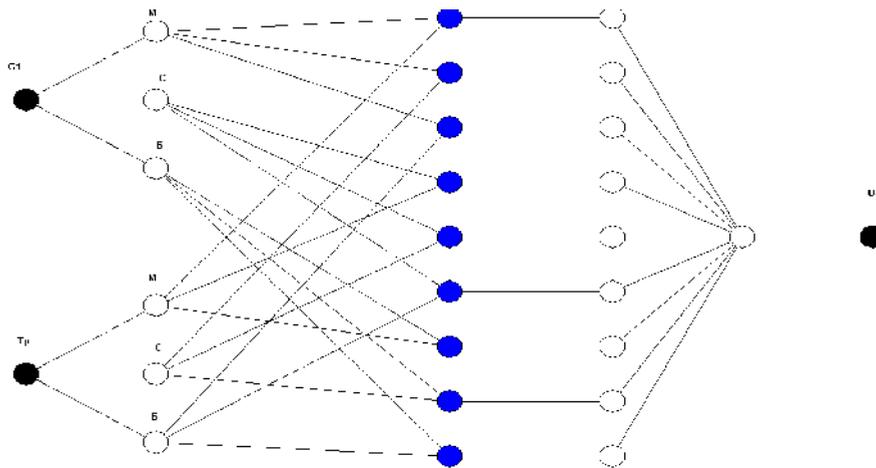


Рисунок 5 – Компьютерная структура ННС (БПА)

В процессе обучения ННС использовался гибридный метод с количеством циклов 30.

В условиях пусконаладочных работ или супервизорной системы управления ГС производит рекомендации по выбору нового правила адаптации наладчику АСУ ТП (рис. 6). Так, при первом отклонении $G_1 = 1,13$ и времени регулирования $T_p = 80$ с, ГС рекомендует правило № 3. База правил блока адаптации, разработанная авторами, представлена в табл. 1. Нечеткий регулятор настроен согласно рекомендациям [6]. Правила нечеткой продукции в базе правил адаптера составлены в результате компьютерных экспериментов и имеют следующий вид: «ЕСЛИ первое отклонение малое И производная времени регулирования средняя, ТО адаптивное управление среднее», ИНАЧЕ т.д. (см. табл. 1).

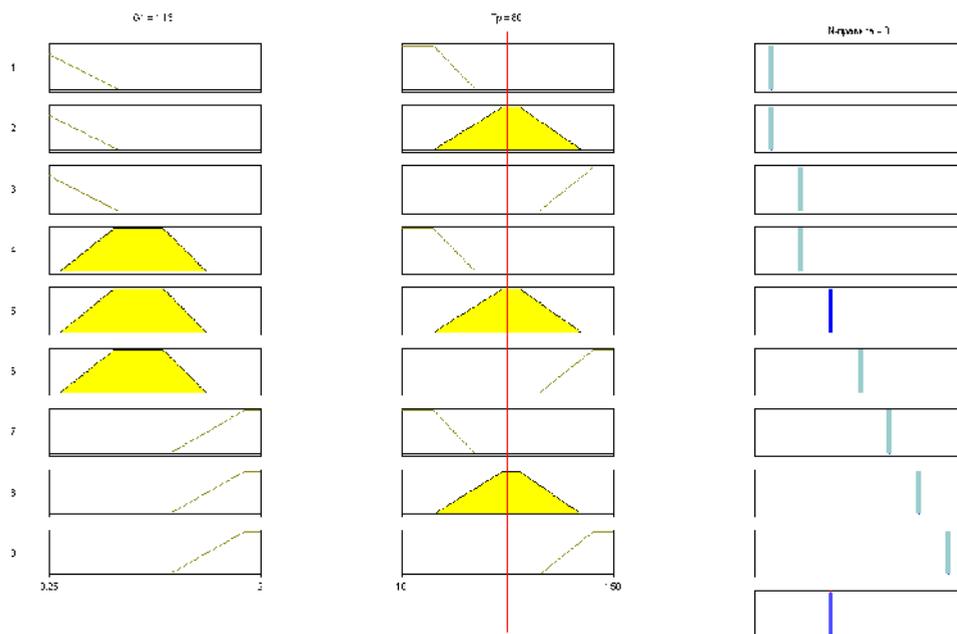


Рисунок 6 – Окно программы ANFIS с рекомендацией по замене правила в БП

Таблица 1 – База правил нечеткого адаптера

1	$IF (G_1 \text{ is } M) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } C) \text{ then } (U_a \text{ is } C)$
2	$IF (G_1 \text{ is } M) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } B) \text{ then } (U_a \text{ is } C)$
3	$IF (G_1 \text{ is } C) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } M) \text{ then } (U_a \text{ is } C)$
4	$IF (G_1 \text{ is } C) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } C) \text{ then } (U_a \text{ is } C)$
5	$IF (G_1 \text{ is } C) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } B) \text{ then } (U_a \text{ is } B)$
6	$IF (G_1 \text{ is } B) \text{ and } (dT_p/dt \text{ is } B) \text{ then } (U_a \text{ is } B)$

Для решения задачи аппроксимации математической зависимости, которая описывает переходный процесс регулирования, с целью получения прогноза о качестве протекания процесса предлагается использовать нейронную сеть. Нейронная сеть производит запоминание значений критериев качества процесса регулирования, соответствующих влиянию параметрических возмущений (новым значениям передаточной функции объекта), например, при изменении нагрузки. В дальнейшем НС производит экстраполяцию показателей качества, т.е. прогноз развития процесса управления, позволяя наладчику АСУ ТП предотвратить аварийную ситуацию.

В табл. 1 С, М, В - нечеткие множества «малое», «среднее», «большое». Функции принадлежности выходной переменной адаптивного управляющего воздействия БПА представлены на рис. 7.

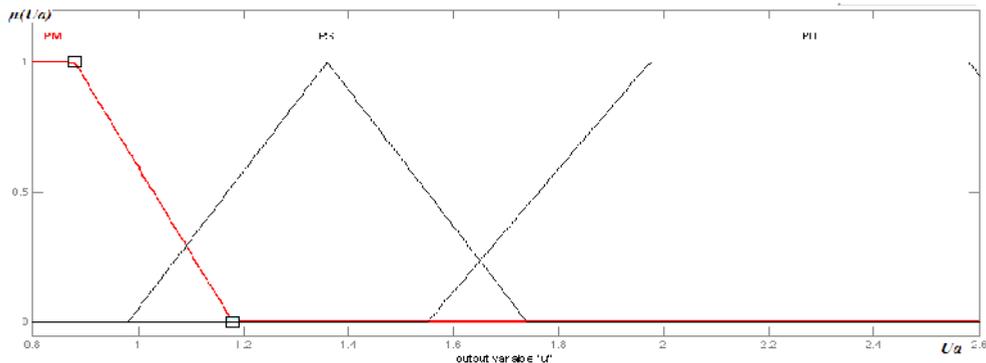


Рисунок 7 – Функции принадлежности «выход адаптера»

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для анализа работы предложенной системы был приведен компьютерный эксперимент. Для моделирования нечеткого контроллера (Fuzzy Logic Controller) и проведения компьютерного эксперимента в среде *Matlab (Simulink)* (рис. 8) использовались результаты исследований по разработке баз правил для нечеткого регулятора, приведенные в работе [7]. По структуре нечеткой адаптивной САР с двумя обратными связями на вход нечеткого регулятора (Fuzzy Controller) подаются два сигнала (ошибка (e); скорость изменения ошибки (e')). А на вход блока адаптации – сигналы о текущем значении выходного воздействия и его производной. В процессе проведения компьютерного эксперимента, отражающего схему рисунка 8, были использованы количество, тип функций принадлежности и правила для базы правил нечеткого регулятора и базы правил адаптации, успешно реализованные в работах [11-15]. Адаптивная САР действует по каналу задания $g = 0,7$. Переходные процессы с выхода нечеткой адаптивной САР и типовой нечеткой САР без адаптера показаны на рисунке 9.

канал внешнего возмущения

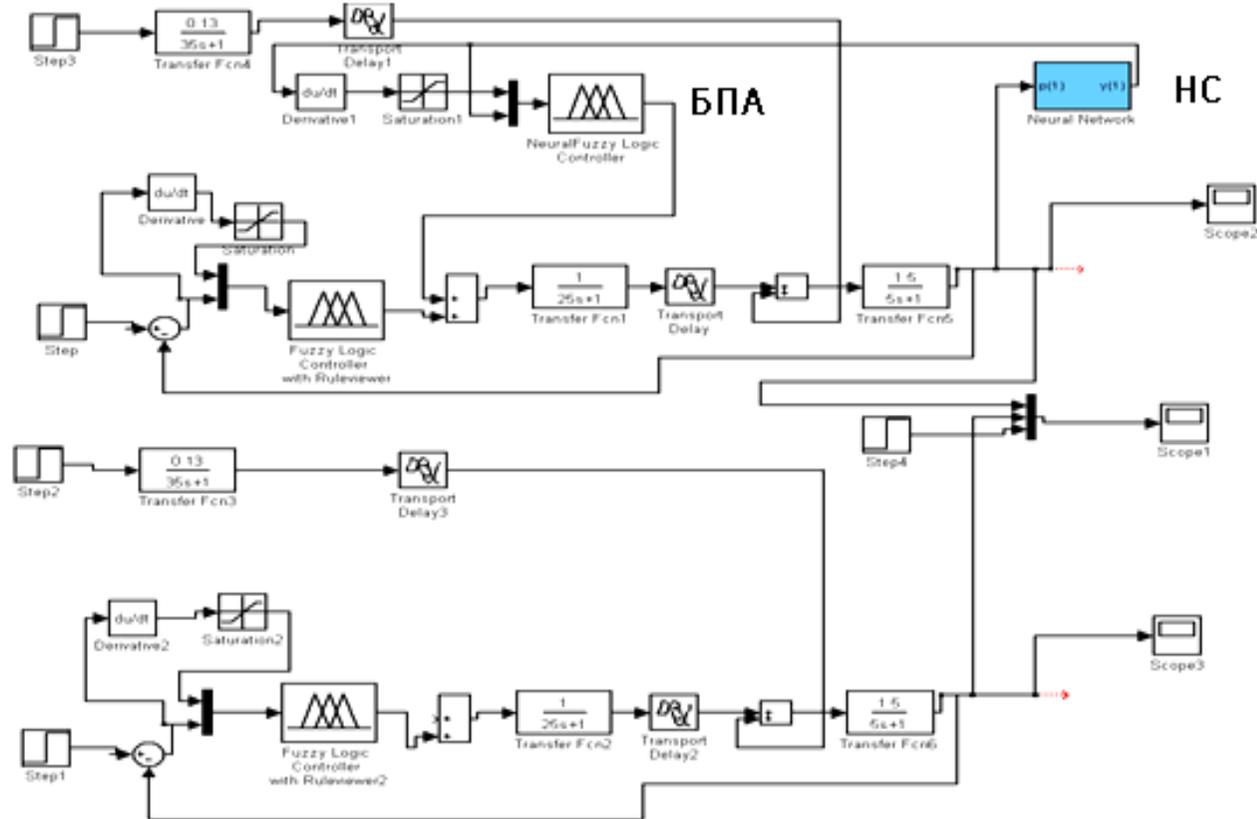


Рисунок 8 – Компьютерные модели нейронечеткой адаптивной и типовой нечеткой САР, реализованные в Simulink

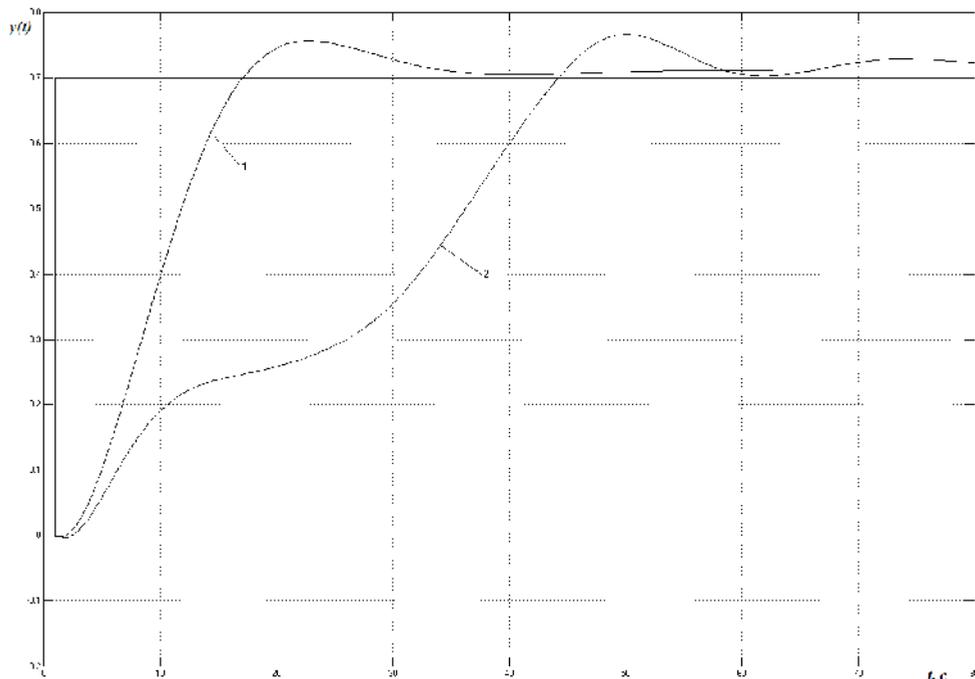


Рисунок 9 – Переходные процессы по каналу задания при влиянии канала внешних возмущений: 1 – адаптивная нейронечеткая САР; 2 – типовая нечеткая САР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ аperiodических переходных процессов показал преимущество адаптивной системы с $T_p = 35$ с по сравнению с типовой нечеткой САР, время регулирования которой составило $T_p = 80$ с. На схеме обученная нейронная сеть осуществляет функцию распознавания значений T_p и G_1 , а также производит экстраполяцию данных значений. В производственной САР функцию определения показателей качества переходного процесса выполняет SCADA система [9] с помощью встроенных функций визуализации переходных процессов.

Научная новизна исследования заключается в реализации метода адаптивной нейронечеткой САР, эффективно действующей в условиях неопределенности (наличии внешних и внутренних неконтролируемых возмущений) без использования активных методов идентификации, ухудшающих качество процесса управления.

Практическая значимость заключается в рекомендациях по использованию предложенного подхода на украинских теплоэнергетических предприятиях и в системах вентиляции и кондиционирования.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА З ПРОГНОЗУВАЛЬНОЮ НЕЙРОНЕЧІТКОЮ МЕРЕЖЕЮ

В. С. Михайленко; Р. Ю. Харченко,
Одеська державна академія холоду, м. Одеса

Для автоматизованих систем керування технологічними процесами складних об'єктів синтезовано адаптивний нечіткий регулятор, що діє на основі розробленої прогнозувальної нейронечіткої мережі. Порівняльний аналіз аperiodичних переходних процесів показав перевагу адаптивної системи порівняно з типовою нечіткою САР.

Ключові слова: ідентифікація, адаптація, фазифікації, екстраполяція, нейронна мережа, лінгвістична змінна.

SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER WITH PREDICTIVE NEURAL-FUZZY NETWORK

*V. S. Mykhaylenko, R. Yu. Kharchenko,
Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa*

For automated process control systems of complex objects adaptive fuzzy controller acting on the basis of the developed predictive of neuro-fuzzy network was synthesized. Comparative analysis of aperiodic transients showed the advantage of the adaptive system in comparison with the standard fuzzy ACS.

Key words: *identification, adaptation, fuzzification, extrapolation, neural network, the linguistic variable.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учебник. изд. 2-е / под ред. Н. Д. Егупова. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. - 744 с.
2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. - М.: Горячая линия – Телеком, 2006. - 383 с.
3. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7. Самоучитель. - М.: ДМК, 2008. - 781 с.
4. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. - М.: МЭИ, 2008. - 396 с.
5. Дейч А. М. Методы идентификации динамических объектов. - М.: Энергия, 1979. - 240 с.
6. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. - СПб.: БХВ, 2003. - 720 с.
7. Ковриго Ю. М. Адаптивное управление теплоэнергетическими процессами / Ю. М. Ковриго, А. П. Мовчан и др. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - 2007. - № 2(20). - С. 147 -156.
8. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич: под общ. ред. Е. С. Бондаря - К.: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» 2005. - 560 с.: ил. - Библиогр.: С. 548 -549.
9. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab. - М.: Горячая линия, 2009. - 288 с.

Поступила в редакцию 26 апреля 2012 г.