

УДК 004.89:004.93

*А.Н. Шушура*

*Т.Э. Даньшина*

Институт информатики и искусственного интеллекта ДонНТУ, г. Донецк  
Украина, 83048, г. Донецк, пр. Б.Хмельницкого, 84

## Нечеткое управление впрысками в пароводяной тракт прямооточного котла ТЭС

*A.N. Shushura*

*T.E. Danshina*

*Institute of Computer Science and Artificial Intelligence Donetsk National Technical University, Donetsk*  
*Ukraine, 83048 Donetsk, 84, B.Khmelnytsky*

### *Fuzzy Control injections in the steam boiler thermal power plant once-through path*

*О.М. Шушура*

*Т.Є. Даньшина*

Інститут інформатики і штучного інтелекту ДонНТУ, м. Донецьк  
Україна, 83048, м. Донецьк, пр. Б.Хмельницького, 84

## Нечітке управління впрысками в пароводяний тракт прямооточного котла ТЕС

В работе рассматривается задача сокращения расхода воды при управлении впрысками в пароводяном тракте сверхкритического давления прямооточного котла ТЭС. С этой целью проведен анализ устройства пароводяного тракта котла, выполнен синтез нечеткого регулятора на основе нейро-сетевой моделирования и проведено численное исследование работы системы в среде MATLAB. Применение результатов работы позволяет за счет использования нечеткого управления повысить плавность регулирования температуры и снизить расход воды.

**Ключевые слова:** нечеткий регулятор, прямооточный котел, гибридные нейросети.

The problem of reducing water consumption in the management of injections in the steam circuit supercritical once-through boiler thermal power plants. For this purpose, the analysis unit of the boiler-steam circuit, made the synthesis of a fuzzy controller based on neural network modeling and numerical study of the system in MATLAB. The use of the work allows through the use of fuzzy control to improve the smoothness of temperature control and reduce water consumption.

**Keywords:** fuzzy control, straight-through boiler, a hybrid neural network.

В роботі розглядається задача скорочення витрат води при управлінні впрысками в пароводяному тракті надкритичного тиску прямооточного котла ТЕС. З цією метою проведено аналіз пристрої пароводяного тракту котла, виконаний синтез нечіткого регулятора на основі нейро-мережевого моделювання та проведено чисельне дослідження роботи системи в середовищі MATLAB. Застосування результатів роботи дозволяє за рахунок використання нечіткого управління підвищити плавність регулювання температури і знизити витрату води.

**Ключові слова:** нечіткий регулятор, прямооточний котел, гібридні нейромережі.

## Введение

Основная доля производства электроэнергии в Украине приходится на тепловые электростанции (ТЭС), на которых достаточно широкое распространение получили прямоточные котлы. В числе задач управления прямоточным котлом важное место занимает управление впрысками в пароводяной тракт, целью которого является поддержание оптимальных значений температуры пара. Среди ученых, которые сделали весомый вклад в развитие методов управления функционированием прямоточных котлов можно выделить Мейкляр М. В., Свечникова А.А., Рокотяна С.С., Фотина Л.П и др. Однако использование существующих технологий управления впрысками характеризуется большим расходом воды, что говорит об актуальности исследований в данной области.

## Постановка задачи

**Целью данной работы** является сокращение расхода воды в пароводяном тракте сверхкритического давления прямоточного котла путем разработки алгоритма нечеткого регулирования с применением нейро-сетевого моделирования.

Для достижения поставленной цели в работе решаются задачи:

- анализ структуры пароводяного тракта котла;
- синтез нечеткого регулятора;
- численное исследование работы системы.

## Анализ устройства пароводяного тракта котла

В работе рассматривается прямоточный котел ПП-1000-255Е (заводская модель ТПП-312А). Котел П-образной компоновки, состоит из топочной камеры и конвективной шахты, соединенных, в верхней части горизонтальным газоходом. На рисунке 1 показана структурная схема пароводяного тракта котла ТПП-312А.

Пароводяной тракт сверхкритического давления выполнен двухпоточным с самостоятельным регулированием питания и температуры по каждому потоку (нитке). Каждый поток (нитка) расположен симметрично относительно оси котла.

Система впрысков подразумевает использование нескольких впрыскивающих пароохладителей, которые применяются на разных этапах работы энергоблока: пусковые, нормативные, аварийные пароохладители.

Как видно на рисунке 1, первый впрыск (1 вп) расположен после первого ширмового пароперегревателя (Ш-1), второй впрыск (2 вп) – после второго (Ш-2), пусковой впрыск (пвп) расположен после конвективного пароперегревателя, аварийный впрыск (авар вп) установлен после конвективного пароперегревателя низкого давления первой степени (КПП-1 ст). В работе будут использоваться первый и второй впрыски на промежутке пароводяного тракта сверхкритического давления, так как они оказывают наибольшее влияние на температуру пара. Для удобства вычислений первый и второй впрыски будут рассматриваться как один впрыск, поскольку по технологии работы на первый впрыск приходится 60% воды от общего впрыска, а на второй – 40%.

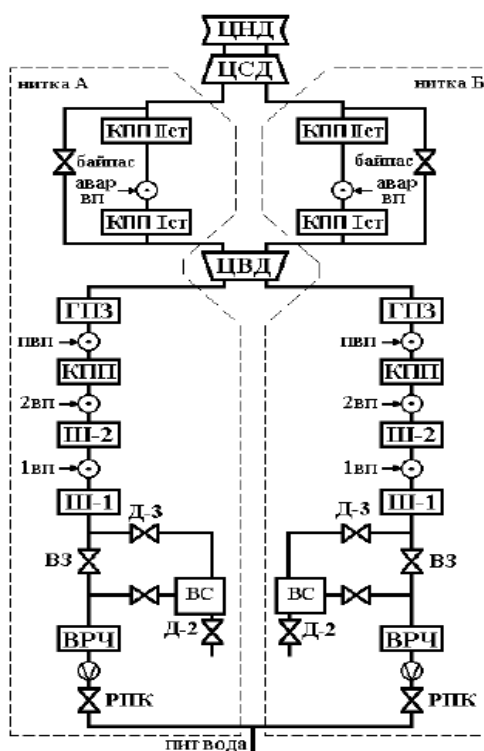


Рисунок 1 – Структурная схема пароводяного тракта котла

РПК - регулирующий питательный канал; ВРЧ – верхняя радиационная часть; ВЗ – встроенная задвижка; ВС – встроенный сепаратор; Д-2 и Д-3 клапаны; ГПЗ – главная паровая задвижка; ЦВД – цилиндры высокого давления; Ш-1, Ш-2 – ширмовые пароперегреватели 1 и 2; КПП 1ст, КПП 2ст – конвективный пароперегреватель 1 и 2; 1 вп, 2 вп – первый и второй впрыски; пвп- пусковой впрыск; авар вп – аварийный впрыск [1].

Так как физические процессы, происходящие в пароводяном тракте, достаточно сложны для формализации традиционными средствами теории управления, для разработки алгоритмов рационально использовать методы нечеткого управления.

## Синтез нечеткого регулятора

На основе анализа структуры пароводяного тракта была разработана общая структура системы управления, которая схематически представлена на рисунке 2, где в качестве переменных выступают  $T_2^*$  – заданная температура пара после впрысков;  $U$  – расход воды на впрыски;  $G_p$  – расход пара,  $P$  – давление пара,  $T_1$  – температура до впрыска,  $T_2$  – температура после впрыска.

Для реализации нечеткого регулятора был выбран аппарат нечеткого нейросетевого моделирования. Нечеткие нейронные сети или гибридные сети объединяют в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода, позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме адаптивных систем нейро-нечеткого вывода ANFIS.

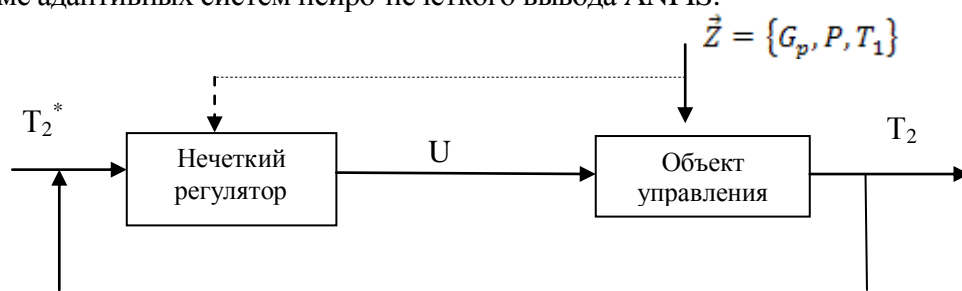


Рисунок 2 – Структура системы нечеткого управления

ANFIS-редактор позволяет автоматически синтезировать из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети, которые можно рассматривать как одну из разновидностей систем нечеткого логического вывода типа Сугэно[2].

Для построения регулятора на основании мониторинга работы котла подготовлены обучающие данные, которые содержат около 2500 строк значений переменных:  $G_p$  – расход пара,  $P$  – давление пара,  $T_1$  – температура до пароперегревателя за которым расположен первый впрыск,  $T_2$  – температура после впрыска,  $U^*$  – впрыск (экспериментальный).

Указанная информация была загружена в редактор ANFIS.

В качестве настроек редактора ANFIS выбраны: метод обучения гибридной сети задан гибридный (hybrid), т.е метод убывания обратного градиента, установлен уровень ошибки обучения (Error Tolerance) – по умолчанию значение 0, а также количество циклов обучения (Epochs) – 50. В качестве настроек кластерного анализа указана субтрактивная (горная) кластеризация.

После обработки данных получена гибридная нейросеть, структура которой представлена на рисунке 3:

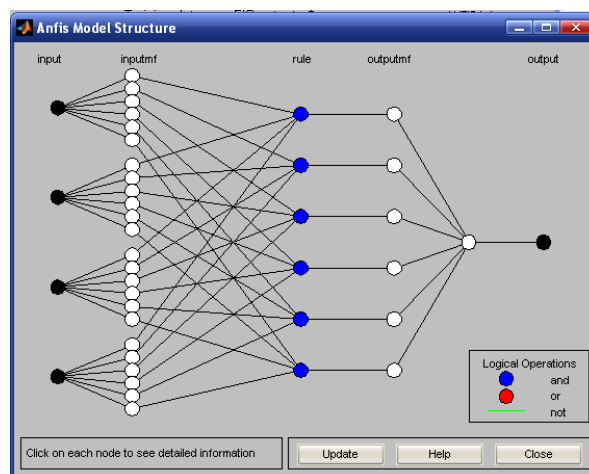


Рисунок 3 – Структура сгенерированной сети

Как видно на рисунке, 3 для каждой лингвистической переменной с помощью методов кластеризации были сформулированы 6 термов, также определены 6 правил нечеткого вывода типа Сугэно[3].

Средняя ошибка при обучении составила 3,8654 т/ч.

## Численное исследование работы системы

Для анализа эффективности нечеткого управления была взята выборка и проведен анализ работы алгоритма, в котором сравнивались значения расхода воды, полученные экспериментальным путем и рассчитанные по модели.

В качестве оценки результатов работы системы рассчитан коэффициент вариации, который представляет собой относительную меру рассеивания значений, выраженную в процентах. Для совокупностей экспериментального и модельного впрысков коэффициенты вариации равны соответственно 30,26% и 22,92%, что показывает однородность модельной совокупности выше, чем у экспериментальной.

На рисунке 5 представлены график, на котором сравниваются значения экспериментальных и модельных впрысков.

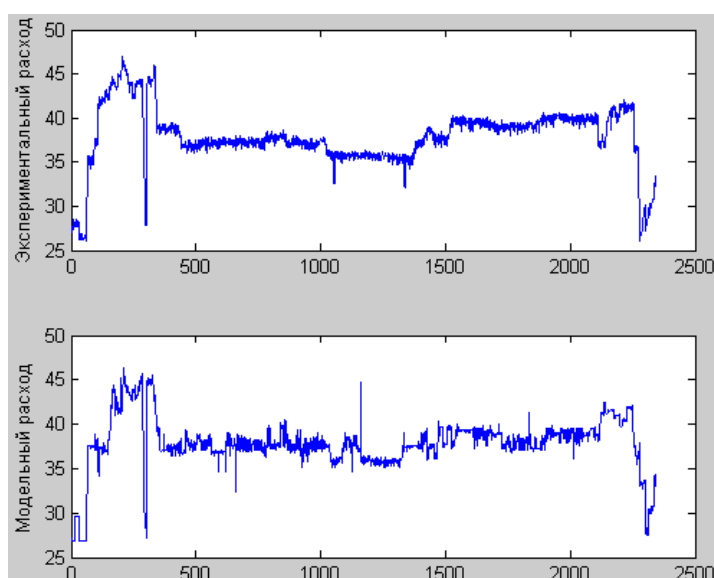


Рисунок 5 – График сравнения

Как видно из графика, модельные значения впрысков меньше, чем экспериментальные значения впрысков, что позволяет сократить расход воды. Суммарный расход воды за интервал наблюдения семь часов при регулировании ранее использованным способом составил 246,46 т, а модельный расчет для разработанного метода регулирования определил расход воды на впрыски 237,3 т.

## Выводы

В результате работы была разработана нейро-нечеткая модель управления, которая обеспечивает плавность впрысков в пароводяном тракте прямоточного котла сверхкритического давления, что дает снижение использования подпиточной воды. Система может использоваться на тепловых электростанциях оборудованных прямоточными котлами, а также с котлами, имеющими аналогичную структуру пароперегревателя.

## Литература

1. Ткаченко А. В. Система автоматического управления пусковыми режимами котлоагрегатов СКД энергоблоков ТЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Ткаченко Александр Валерьевич ; ГВУЗ "Донец. нац. техн. ун-т". - Донецк, 2009. - 210 л. : рис., табл. (Шифр:ДС113716)
2. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. "Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем." - Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 311 с.
3. Чернов В.Г. "Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств." М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 312 с.
4. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.–СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

## Literature

1. Tkachenko AV automatic control mode launchers boiler units of thermal power plant SKD: Thesis. ... Candidate. Technical. Sciences: 05.13.07 / Tkachenko, Alexander V.; GVUZ "Donets. Nat. technical. Univ." - Donetsk, 2009. - 210 liters. : Fig., PI. (Code: DS113716)
2. Bodyanskiy EV, EI Kucherenko, A. Mikhalev "Neuro-fuzzy Petri nets for modeling of complex systems." - Kiev: System Technology, 2005. – 311.
3. VG Chernov "Models of decision-making in investment activity on the basis of fuzzy sets." Moscow Hot Line - Telecom, 2007. - 312 p.
4. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH.-Petersburg.: BHV-Petersburg, 2003

### RESUME

*A.N. Shushura*

*T.E. Danshina*

### *Fuzzy Control injections in the steam boiler ramjet tract*

One of the most important tasks of management is the problem of high flow boiler control injections in the steam path, whose aim is to maintain optimal temperatures of steam.

The problem of reducing water consumption in the management of injections in the steam circuit supercritical once-through boiler thermal power plants. For this purpose, the analysis unit of the boiler-steam circuit, made the synthesis of a fuzzy controller based on neural network modeling and numerical study of the system in MATLAB.

Supercritical steam circuit is made with double-flow self-regulating power supply and temperature for each thread (thread). Each thread (thread) is located symmetrically with respect to the axis of the boiler.

The system involves the use of multiple injections injection desuperheater, which are used at different stages of the unit: start-up, regulatory, emergency attemperators. We use the first and second injection interval in the steam circuit of the supercritical pressure, as they have the greatest influence on the temperature of steam.

To implement the fuzzy controller was chosen as the unit of fuzzy neural network modeling. To analyze the effectiveness of fuzzy control sample was taken and the analysis of the algorithm, which compared the values of flow rate, obtained experimentally and calculated by the model.

As a result of the work was developed neuro-fuzzy control model, which ensures smooth injections in the steam circuit supercritical once-through boiler, which allows reducing the use of make-up water.

**РЕЗЮМЕ**

*А.Н. Шушура  
Т.Э. Даньшина*

***Нечеткое управление впрысками в пароводяной тракт  
прямоточного котла***

Одной из значимых задач управления прямоточным котлом является задача управления впрысками в пароводяной тракт, целью которой является поддержание оптимальных значений температуры пара. В работе рассматривается задача сокращения расхода воды при управлении впрысками в пароводяном тракте сверхкритического давления прямоточного котла ТЭС. С этой целью проведен анализ устройства пароводяного тракта котла, выполнен синтез нечеткого регулятора на основе нейро-сетового моделирования и проведено численное исследование работы системы в среде MATLAB.

Пароводяной тракт сверхкритического давления выполнен двухпоточным с самостоятельным регулированием питания и температуры по каждому потоку (нитке). Каждый поток (нитка) расположен симметрично относительно оси котла. Система впрысков подразумевает использование нескольких впрыскивающих пароохладителей, которые применяются на разных этапах работы энергоблока: пусковые, нормативные, аварийные пароохладители. В работе используются первый и второй впрыски на промежутке пароводяного тракта сверхкритического давления, так как они оказывают наибольшее влияние на температуру пара.

Для реализации нечеткого регулятора был выбран аппарат нечеткого нейро-сетового моделирования. Для анализа эффективности нечеткого управления была взята выборка и проведен анализ работы алгоритма, в котором сравнивались значения расхода воды, полученные экспериментальным путем и рассчитанные по модели.

В результате работы была разработана нейро-нечеткая модель управления, которая обеспечивает плавность впрысков в пароводяном тракте прямоточного котла сверхкритического давления, что дает снижение использования подпиточной воды.