

УДК 681.513.1

USING FUZZY LOGIC SYSTEMS FOR DYNAMIC POWER CONTROL OF STEAM BOILERS

V. Lapin, V. Sidletskiy

National University of Food Technologies

Key words:

*Setpoint
Controller
Control
Object
Fuzzy
Adaptive*

ABSTRACT

A method of dynamic power control of steam boilers at CHP of small power according to the current needs of consumers was studied. The methods of dynamic control of the power of boiler systems were analyzed using fuzzy logic and adaptive neural networks. One of the possible options for boiler capacity control is the use of fuzzy inference units (so-called fuzzy system). The control action is formed by consistency checking of fuzzy rules to the actual parameters of the system. Rules are created according to the operator's experience, which reflects his / her actions when changing the technology parameters.

Article history:

Received 17.04.2016

Received in revised form
14.05.2016

Accepted 25.05.2016

Corresponding author:

V. Sidletskiy

E-mail:

vmsidletskiy@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ ПАРОВИХ КОТЛОАГРЕГАТИВ

М.В. Лапін, В.М. Сідлецький

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто спосіб динамічного управління потужністю парових котлоагрегатів на ТЕЦ невеликої потужності відповідно до поточних потреб споживачів, проаналізовано методи динамічного управління потужністю котлоагрегатів з використанням систем нечіткої логіки й адаптивних нейронечітких мереж. Для вирішення проблеми динамічної зміни навантаження на котлоагрегати ТЕЦ невеликої потужності запропоновано використовувати системи нечіткої логіки. Одним із можливих варіантів є блоки нечіткого висновку (так званої FUZZY системи) для керування потужністю котлоагрегата. Керуюча дія формується за рахунок перевірки на відповідність нечітких правил і дійсних значень параметрів системи. Створення правил відбувається згідно з досвідом оператора, тобто відтворює його дії при зміні параметрів.

Ключові слова: завдання, регулятор, керування, об'єкт, нечіткий, адаптивна.

Постановка проблеми. На промислових підприємствах останнім часом популярним є встановлення власних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) невеликої потужності, так званих міні-ТЕЦ, що дозволяє підприємству економити кошти на купівлі електроенергії в постачальних компаніях та отримувати для власних потреб пару й електроенергію, купуючи лише основне паливо (газ чи мазут). Сучасні котлоагрегати мають можливість змінювати власну потужність не за режимною картою, як це відбувалося в котлах старого покоління, а безпосередньо в системі керування, формуючи нове завдання.

ТЕЦ невеликої потужності [1] мають у своєму складі декілька парових котлоагрегатів (залежно від потужності), парову турбіну й електрогенератор. Системи автоматичного керування котлоагрегатами і турбогенератором функціонують незалежно одна від одної.

Мета статті. Розглянути спосіб динамічного управління потужністю парових котлоагрегатів на ТЕЦ невеликої потужності відповідно до поточних потреб споживачів, проаналізувати методи динамічного управління потужністю котлоагрегатів з використанням систем нечіткої логіки й адаптивних нейронечітких мереж.

Викладення основних результатів дослідження. Використання на промислових підприємствах власних електрогенеруючих установок на базі існуючих парових котелень дає змогу економити кошти на закупці електроенергії у комунальних підприємств і забезпечувати як потреби котельної в електроенергії, так і власну потребу в парі та гарячій воді.

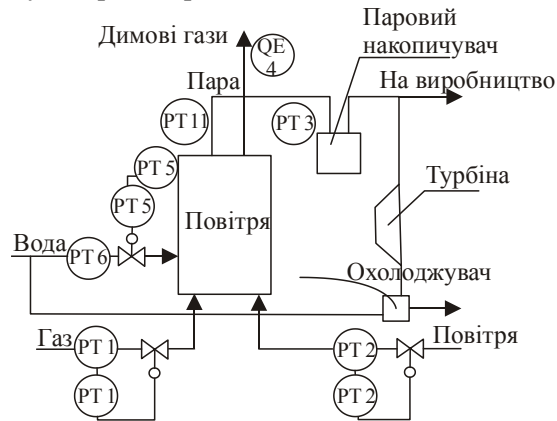


Рис. 1. Спрощена схема автоматизації парового котлоагрегата

Однак існує проблема економії газу, що використовується як паливо при виробленні пари. Системи автоматизованого керування котлоагрегатами працюють на стабілізацію параметрів для підтримання робочої потужності. На рис. 1 зображено спрощену схему автоматизації парового котлоагрегата в комплексі з турбінним електрогенератором. Система стабілізує й підтримує на заданому рівні основні параметри, необхідні для отримання пари заданих характеристик.

Керування потужністю котлоагрегата здійснюється диспетчерським шляхом. Оперативні дані (X_0) з виробництва про зміну витрати пари (x_1) та поточ-

ну споживану електричну потужність (x_2) надходять до диспетчера (на АРМ) чи оператора, який, у свою чергу, приймає рішення про зміну потужності відповідно до режимної карти (принцип управління зображено на рис. 2). Вплив на потужність котлоагрегата відбувається шляхом зміни завдань (S_p) регуляторам системи автоматичного керування (САК), що керує зміною витрати води (F_v), газу (F_g) та повітря ($F_{пов}$) на котел, згідно з режимним навантаженням, при цьому змінюється вихідна витрата пари ($F_{п}$) та, як наслідок, вироблена турбінним електрогенератором потужність електроенергії (P_e).

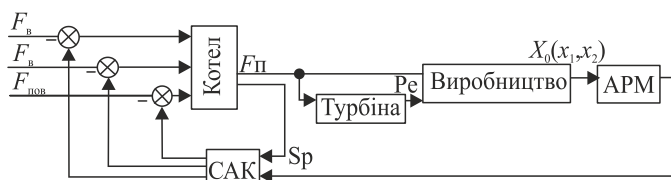


Рис. 2. Блок-схема структури управління робочою потужністю котлоагрегата

Пікові навантаження у відборі пари підприємством є динамічними і можуть бути різними в різні моменти часу (залежить від різних факторів виробництва), котлоагрегат при цьому працює в заданій потужності.

Аналогічно до динамічності зміни відбору пари змінюється також і відбір виробленої електроенергії на підприємстві. Залежно від реальних потреб і сумарної потужності роботи обладнання відбуваються коливання в відборі електроенергії. Під час роботи підприємства сумарне споживання електроенергії змінюється варіативно, при цих коливаннях потужність роботи електротурбіни не змінюється і залишається стабільною.

Потужність теплової турбіни електрогенератора безпосередньо залежить від витрати пари [2] на турбіну, що видно з формули:

$$N_e = \frac{G_k \cdot H_{д} + G_{від} \cdot H'_{д}}{3600} \cdot \eta_M^T \cdot \eta_r, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де N_e — електрична потужність теплової турбіни; G_k — витрата пари на конденсатор, кг/год; $G_{від}$ — витрата пари на відбір, кг/год; $H_{д}$ — дійсний теплоперепад у частині високого тиску турбіни, кДж/кг; $H'_{д}$ — дійсний теплоперепад на турбіні, кДж/кг; η_M^T — механічний ККД турбіни; η_r — ККД генератора.

Таким чином, змінюючи витрату на відбір турбіни ($G_{від}$), можна впливати на потужність турбіни. Дана залежність дає змогу пов'язати потужність котлоагрегата з відбором пари. Зі зміною потужності змінюється витрата палива [3] на котлоагрегат, при максимальній вихідній витраті пари (9 т/год) витрата газу становить більше, ніж 703 м³/год.

Проаналізувавши всі фактори, що впливають на вихідну потужність котлоагрегата та витрату палива, можна стверджувати, що існуючі системи та підходи до автоматизації котелень не надають можливості впливати на потужність відповідно до поточних потреб споживачів.

Для вирішення проблеми динамічної зміни навантаження на котлоагрегати ТЕЦ невеликої потужності можливо використати системи нечіткої логіки [5]. Як один із можливих варіантів застосовуються блоки нечіткого висновку (так

званої FUZZY системи) для керування потужністю котлоагрегата. Керуюча дія в системі формується за рахунок перевірки на відповідність нечітких правил до дійсних значень параметрів системи. Розробка правил відбувається згідно з досвідом оператора, тобто відтворюються його дії при зміні параметрів. Процес отримання вихідної потужності котлоагрегата показано на структурній схемі на рис. 3.

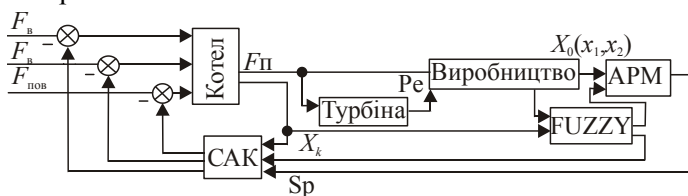


Рис. 3. Процедура отримання завдання на систему керування з використанням блоку нечіткого висновку

Оперативні дані (X_0) надходять на АРМ, де видається завдання на регулятори (Sp) відповідно до режимної карти, та на систему нечіткого висновку (FUZZY), яка видає на виході корегуючий сигнал (X_k), що вимірюється в межах 0—1, який подається на САК, де множиться на значення завдання згідно з режимом. Поточне завдання потужності буде змінюватися в межах 0—100 % залежно від заданого режимом.

Для вирішення проблеми керування потужністю котла можливе також використання адаптивної нейронечіткої мережі (ANFIS) [4]. У даному випадку система ускладнюється тим, що додається процедура навчання. Таким чином, окрім оперативних даних, у мережу завантажується файл навчання, який містить архівні дані про споживану потужність і витрату пари на виробництво, а також дані про вихідну кількість пари з котлоагрегата за певний період часу.

На відміну від системи нечіткого висновку, де правила створюються з урахуванням досвіду оператора і можуть не враховувати деякі можливі комбінації, в ANFIS системі нечіткі правила створюються автоматично згідно з експериментальними даними, які завантажуються з розширенням *.dat і корегуються в процесі навчання системи.

Структура такого керування зображена на рис. 4.

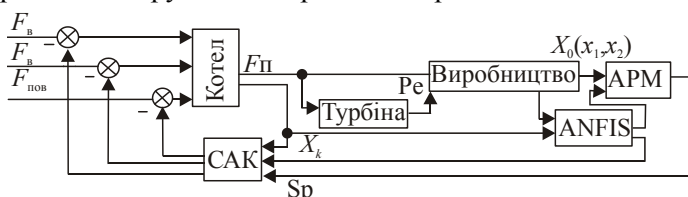


Рис. 4. Структура керування потужністю котла з використанням ANFIS системи

Виходом мережі (X_k) є сума вкладів усіх нечітких правил (y):

$$X_k = y_1 + y_2 + \dots + y_m, \quad (2)$$

де m — кількість правил у мережі.

Для початку в середовищі Matlab побудуємо блок нечіткого висновку і, провівши відповідні налаштування, завантажимо його в середовище simulink.

Адаптивна нейрончїтка мережа створюється в ANFIS редакторї. Необхїднї експериментальнї данї оформлюються як файл з розширенням *.dat і завантажуються до редактора. Система самостійно формує правила, нейронну мережу та нечїткий блок. За експериментальними даними, провївши необхїдну кїлькїсть циклїв навчання мережї, експортуємо отриману мережу в середовище simulink для порївняння отриманих результатїв.

Щоб перевїрити працездатнїсть створених блокїв, побудуємо експериментальну модель у середовищї simulink. Як вихїднї данї витрати приймається, що середнє споживання пари варїюється в межах 0—7 т/год, а споживання електроенергїї — в межах 2000 кВт/год.

На рис. 5 зображено їмїтацїйну модель з використанням класичного нечїткого модуля та навченого блоку адаптивної нейрончїткої мережї. Для їмїтацїї динамїки витрати пари та споживання електроенергїї як вхїднї джерела обрано генератори випадкових значень (оскїльки пара витрачається в основному згїдно з графїком, з можливим коливанням, то для прикладу приймемо, що витрата коливається в межах 0—7 т/год) та випадкову змїну споживання електроенергїї в процесї роботи пїдприємства (для прикладу, коливання вїдбувається в межах 960—2100 кВт/год). Змодельовавши роботу блока, отримуюємо результати перевїрки працездатнїсть.

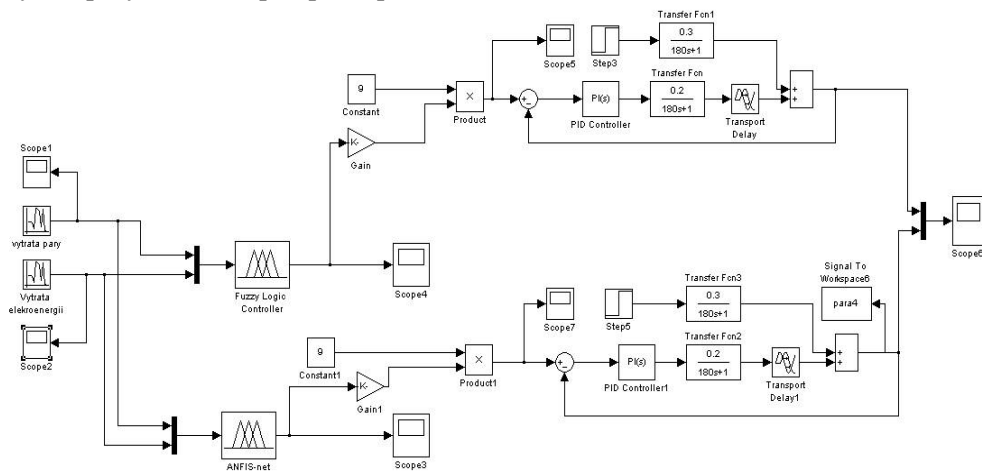


Рис. 5. Імїтацїйна модель перевїрки працездатнїсть блокїв ANFIS і FUZZY систем

Вхїднї данї надходять на нечїткї блоки, де проходить оцїнка потужностї вїдповїдно до витрат пари й електроенергїї. Вихїднї значення блокїв варїюються в дїапазонї 0—1 і множаться на значення завдання регулятора. Таким чином завдання регулятора змїнюється вїдповїдно до заданої потужностї котлоагрегата.

Об'єкт керування представлено у виглядї аперїодичної ланки їз запїзненням та одним збуренням, регулятор налаштовано вїдповїдно до об'єкта керування. Щоб оцїнити роботу двох блокїв при однакових вхїдних даних при дослїдженнї використано два однакових об'єкти з однаковими характеристиками. Як завдання використано значення потужностї котлоагрегата [3] для

котлоагрегата ДКВР-6,5/13 при навантаженні 9 т/год. Для перегляду графіків, отриманих під час експерименту, використано елементи score.

Оскільки вихідне значення з нечітких блоків змінюється в діапазоні 0—100 (відповідно до відсотка потужності котла), то для отримання значень завдання в межах зміни параметрів у систему введено два множники на коефіцієнт 0,01. Таким чином, режимне завдання потужності котлоагрегата множиться на коефіцієнт з діапазону 0—1 відповідно до його зміни після аналізу даних.

На графіку (рис 6.) показано, що у визначений проміжок часу (800 робочих годин) витрата пари на виробництво змінювалася в межах 0—7 т/год.

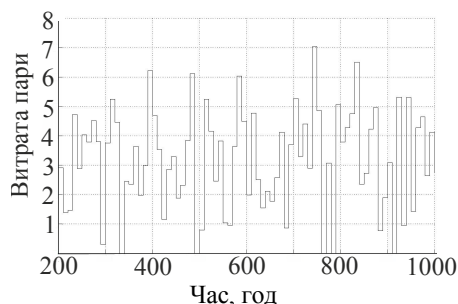


Рис. 6. Графік зміни витрати пари під час роботи, т/год

Графік зміни поточного споживання електроенергії під час роботи підприємства (рис. 7) ілюструє поточне споживання електроенергії підприємством за 800 робочих годин, потужність варіюється в межах 1880—2300 кВт/год. Характер зміни споживаної потужності є варіативним, оскільки під час роботи підприємства можливе включення/відключення різного типу агрегатів з різною споживаною потужністю з урахуванням поточних потреб і можливих позаштатних ситуацій.

Отримані результати (рис. 8) показують, що динамічно, зі зміною витрати пари й електроенергії, змінюється навантаження на роботу котлоагрегата у вигляді зміни завдання регуляторам.

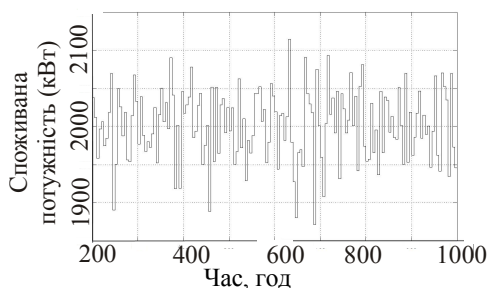


Рис. 7. Зміна поточного споживання електроенергії під час роботи підприємства, кВт/год

З рис. 8 видно, що система, оснащена адаптивним нейронечітким блоком (показано пунктирною лінією), більш чутливо реагує на зміну навантаження, оскільки в ній передбачено більше правил, що адаптовані під варіацію

вхідних даних. На графіку з робочого проміжку 200–800 год видно, що вихідна кількість пари на виході з котла варіюється в межах 1—7 т/год при заданих 9. У моменти, коли попит на пару низький, продуктивність падає практично до нуля, а наявний попит компенсується парою з проміжного накопичувача. У результаті досягається економія палива на котлоагрегат.

У результаті порівняння результатів роботи нечіткого блоку й адаптивної нейронечіткої мережі (ANFIS) видно, що зі зміною споживання пари й електроенергії підприємством більш краще реагує на дані зміни блок ANFIS-мережі, який динамічно налаштовує необхідну для поточних потреб виробництва робочу потужність котлоагрегата.

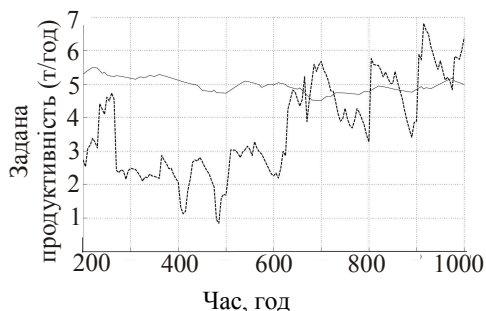


Рис. 8. Зміна витрати газу, отримана на виході блоків FUZZY і ANFIS

Висновки

Отже, більш простим з точки зору налаштування та створення є класичний модуль нечіткого керування, але його недоліком є те, що база правил складається виключно з досвіду керування об'єктом і може мати недоліки, які часто проявляються під час робочого процесу.

Кращим у цьому плані є модуль адаптивної нейронечіткої мережі системи, база правил якого складається автоматично і корегується під час навчання мережі. Недоліком є складність використання та необхідність періодичного перенавчання мережі відповідно до змін у технологічному процесі. Даний недолік вирішується програмним шляхом, дані для навчання мережі можуть братися з архівів підприємства або збиратися й оброблятися безпосередньо в робочому режимі.

Література

1. *Catalog of CHP Technologies Section 4. Technology Characterization — Steam Turbines / Combined Heat and Power Partnership.* — U.S Environmental Protection Agency, 2015. — 131 p.
2. Кириллин В.А. Техническая термодинамика: [учеб. для вузов] / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2008. — 496 с.
3. Афанасьев В.А. Некоторые вопросы энергетического обследования котельной [текст] / В.А. Афанасьев, Н.Д. Денисов-Винский // Журнал «Новости теплоснабжения». — 2011. — № 11 (135). — 32 с.
4. Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang. Design Research of an Adaptive-Fuzzy-Neural Controller / Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang // Journal of Advances in Information Technology. — 2011. — # 2 (2). — P. 122—127.
5. Galzina V. Application of Fuzzy Logic in Boiler Control / V. Galzina, T. Saric, R. Lujic // Technical Gazette. — 2011. — # 15 (15). — P. 4—21.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

М.В. Лапин, В.М. Сидлецкий

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрен способ динамического управления мощностью паровых котлоагрегатов на ТЭЦ небольшой мощности в соответствии с текущими потребностями потребителей, проанализированы методы динамического управления мощностью котлоагрегатов с использованием систем нечеткой логики и адаптивных нейронечетких сетей. Для решения проблемы динамического изменения нагрузки на котлоагрегаты ТЭЦ небольшой мощности предложено использовать системы нечеткой логики. Как один из возможных вариантов для управления мощностью котлоагрегата используются блоки нечеткого вывода (так называемой FUZZY системы). Управляющее действие формируется за счет проверки на соответствие нечетких правил и действительных значений параметров системы. Создание правил происходит в соответствии с опытом оператора, то есть воспроизводит его действия при изменении параметров.

Ключевые слова: задание, регулятор, управление, объект, нечёткий, адаптивный.