

УДК 622.647.2

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П.ТИХАНСЬКИЙ, кандидати. техн. наук, доц.
П.О. ПЕРСІАНОВ, магістрант, Криворізький національний університет

ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Мета. Метою цієї роботи є визначення методів синтезу систем автоматичного управління процесами перетворення енергії і речовини в теплоенергетичних установках на основі математичних моделей. Тому аналіз існуючих методів, теорії і принципів побудови моделей енергоукомплектування, їх систем регулювання, за допомогою яких стало можливим моделювання процесів у великих енергосистемах є актуальним завданням.

Методи дослідження. Задачі вирішувалися з використанням загальних методів теорії систем автоматичного управління, за рахунок застосування сучасних методів управління технологічними та виробничими процесами і використання новітніх технічних засобів автоматизації у виробництві, зокрема методів ідентифікації, а також математичного моделювання та методу пасивного експерименту

Наукова новизна. У даній роботі досліджуються системи управління водогрійними котлами, і їх оптимізація при неповній інформації про модель об'єкта, де автори відзначають, що останнім часом в літературі з теорії автоматичного управління велику увагу приділяють так званому Фаззі-управлінню об'єктами з невідомою математичною моделлю.

На основі аналізу існуючих систем та рішень з автоматизації виробничих процесів виявлена необхідність розробки адекватної математичної моделі для парових та водогрійних котлів при неповній інформації про модель об'єкта. Показана доцільність застосування експертних оцінок з використанням модифікованих методів адаптації.

Практична значимість. Проведений огляд існуючих підходів, способів, методів і засобів автоматичного регулювання параметрів котельних водогрійних і комбінованих установок показав, що, незважаючи на свою різноманітність, всі вони спрямовані на автоматизацію регулювання температури або тиску гарячої води (пари), оптимального співвідношення кількості спалюваного палива і витрати повітря, розрідження в топці і за котлом, а також зниження рівнів викидів CO що йдуть з газами, що сприяє енергозбереженню та екологічному становищу.

Результати. Розглянуті структури, підходи та схеми автоматичних регуляторів котельних можуть бути використані при розробці проектів їх автоматизації на основі широкого спектру математичних методів регулювання технологічних параметрів.

Ключові слова: теплоенергетика, автоматичне управління, математичне моделювання, методи синтезу систем.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Автоматичне регулювання параметрів котельної водогрійної установки, з метою оптимального управління режимами робіт під час експлуатації являє собою складну технічну задачу [1], для вирішення якої у нас в країні і за кордоном використовуються різні підходи, способи, методи і засоби.

Для вирішення задач управління технологічними процесами в теплоенергетиці та розвитку енергетичної галузі виключне значення мають теоретичні та експериментальні дослідження в фізичному й математичному моделюванні, тому що моделювання використовується у разі неможливості реального експерименту.

Для більшості теплоелектростанцій актуальне питання про модернізацію автоматизованих систем контролю і управління, апаратні засоби яких вичерпали технічний ресурс, морально застаріли і потребують швидкої заміни, наявні регулятори не задовольняють сучасним вимогам, і їх подальша експлуатація без заміни, або удосконалення буде економічно недоцільна чинності підвищення ймовірності виникнення аварій і збільшення зносу обладнання.

Метою цієї роботи є аналіз методів синтезу систем автоматичного управління процесами перетворення енергії і речовини в теплоенергетичних установках на основі математичних моделей. Тому аналіз існуючих методів, теорії і принципів побудови моделей енергоукомплектування, їх систем регулювання, за допомогою яких стало можливим моделювання процесів у великих енергосистемах є актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями автоматичного регулювання котельних установок, синтезом автоматизованих систем управління та розробкою математичних моделей теплоенергетичних установок займався ряд вітчизняних та закордонних вчених [1-18].

В роботах вітчизняних дослідників зазначається, що впровадження обчислювальної техніки на базі мікропроцесорів істотно вплинуло на загальний підхід до структури та завданням управління котельними установками, у тому числі і водогрійними. Системи регулювання рівня в барабані парових котлів, наприклад, пройшли шлях від простого поплавкового регулятора

рівня через одноімпульсний регулятор з гідростатичним вимірюванням рівня до найбільш поширеного з імпульсною схемою. Поява мікропроцесорів дозволила перейти до регулювання рівня на базі математичної моделі. Подібні математичні моделі для парових та водогрійних котлів включають в себе опис процесу горіння і характеристик теплообміну, а також загальні динамічні зв'язки котла.

Розглянемо існуючі підходи, методи і засоби автоматичного регулювання теплоенергетичними установками.

Постановка завдання. На основі аналізу існуючих методів і засобів автоматичного регулювання теплоенергетичними установками надати обґрунтування підходу до постановки й вирішення задач управління технологічними процесами в теплоенергетиці.

Викладення матеріалу та результати. Система експертної оцінки алгоритмів керування енергогенеруючими об'єктами розроблена науковцями Московському енергетичному інституті. У тому числі розглянуті системи управління водогрійними котлами, і їх оптимізації при неповній інформації про модель об'єкта [2]. Автори відзначають, що останнім часом в літературі з теорії автоматичного управління велику увагу приділяють так званому Фаззі-управлінню об'єктами з невідомою математичною моделлю. Це управління засноване на теорії нечітких множин Л.А.Заде [3], вихідним матеріалом для якої є оцінки досвідчених експертів. Між тим, проведений авторами аналіз показав обмежену застосовність такого підходу в практиці енергетики. Тому ними розглянуто альтернативний Фаззі-управлінню комплекс методів синтезу автоматичних регуляторів для об'єктів з невідомою математичною моделлю. Показана доцільність застосування експертних оцінок з використанням модифікованих методів адаптації.

Реалізація вимог по енергозбереженню і екологічному вдосконаленню теплоенергетичних установок представлена в роботі [4], де розглянуті математичні моделі безперервної і дискретної систем регулювання економічності та екологічної чистоти енергетичних та водогрійних котлів. Показано, що при істотному запізнюванні в ланцюзі виміру показника оптимуму (складових хімнедопалу в димових газах) вживання дискретної системи корекції співвідношення «паливо – повітря» забезпечує динамічну точність в області реальних частот збурень не нижче, ніж вживання безперервної, проте при цьому досягається велика стабільність контролю і оптимізації економіко-екологічних показників котла.

Графоаналітичний метод побудови оптимального алгоритму автоматизованого управління групою водогрійних котлів, що працюють на загальне навантаження розглянуто авторами роботи [5]. Аналіз починається з найпростішого випадку розподілу навантаження між двома однаковими котлами і закінчується описом загального випадку для різних котлів. Вихідними даними є залежності ККД котлів від навантаження. Наведено формула для оцінки економії палива при застосуванні оптимального алгоритму дискретного регулювання, яка застосовується для будь-яких котельних установок, що працюють на повну навантаження.

У роботі [6] описана розроблена фірмою EnergyTechnologyControl (Великобританія) схема BoilerMizer з мікропроцесами для автоматичного регулювання співвідношення «повітря - паливо» в водогрійних котлах теплопродуктивністю (0,63-6,3) ГДж / год на рідкому паливі або газі.

Автори роботи [7] розглядають розроблену у Великобританії систему автоматичного регулювання горіння в водогрійних котлах з утримання СО в відхідних газах. Автори відзначають, що регулювання горіння за вмістом кисню менш точно, зокрема, через труднощі визначення представницької точки відбору проби газів. Наведена схема, дискретні алгоритми автоматичного регулювання та результати застосування для трьох котлів, що працюють на мазуті і природному газі. Показано, що ККД котлів збільшився на 0,5-3%, вміст кисню у вихідних газах знизився з 4-5 % до 1,4-2,8 %. Викиди знизилися на 25%.

У статті [8] розглядаються різні стратегії побудови в США систем автоматичного регулювання котлів з точки зору оптимізації їх ефективності. Істотними факторами для побудови САР є динамічні властивості об'єкта і замкнутої системи. Наводиться опис типової САР котла та її окремих контурів. Детально аналізується задача оптимізації надлишку повітря, яка зводиться до мінімізації надлишку повітря і температури відхідних газів при відсутності недопалювання. Розглядаються методи визначення складу відхідних газів і вибору параметра, найбільш точно характеризує процес горіння і повноту вигорання палива. Найбільш підходящою для оптимізації є така схема, в якій використовується вимірювання вмісту O_2 і СО.

Система автоматизації котелень, що спалюють важкі рідкі палива, розроблена у Франції, проаналізована в роботі [9]. Для збільшення ККД, скорочення експлуатаційних витрат, зниження рівня забруднення навколишнього середовища промисловими котельнями автор пропонує проводити такі види їх автоматизації: використання прикладних логічних блоків (схем) в промислових автоматах з програмним управлінням в багатоцільових системах регулювання; застосування систем саморегулювання або дистанційного спостереження, що дозволяє повністю або частково виключити необхідність присутності людини в котельні; установка на лінії подачі палива в палиник пристрої для подачі в автоматизованому режимі водно-паливної суспензії з метою суттєвого зниження механічного недопалювання.

Авторами роботи [10] представлений огляд англійських промислових систем, застосованих для автоматичного регулювання витрати газоподібного палива та полум'я в водогрійних котлах. Ці системи дозволяють визначити витрату газів і окислювача. Вони використовуються для автоматичної підтримки постійного тепловиділення при спалюванні газових сумішей змінного складу.

В роботі [11] розглянуті структура та функції японської комп'ютерної системи управління малогабаритними паровими і водогрійними котлами. Система, побудована на базі звичайно застосовуваних датчиків типу індикатора факела, рівнеміра, перемикачів по тиску, наділена додатковими функціями, в т.ч. вона має можливість діагностики стану котла і стану системи управління, обробки, запам'ятовування, видачі інформації на друк та передачі її по каналу зв'язку на пульт обслуговування.

Спосіб визначення оптимального алгоритму управління котлами в котельні, на базі методів динамічного програмування запропоновано авторами роботи [15] і застосовується в Росії. Розглянутий спосіб заснований на оптимальних співвідношеннях ККД і продуктивності котельні, отриманих шляхом обробки статистичних даних. Він має загальний характер і застосовується до будь-яких котлів незалежно від виду їх характеристик. також може бути використаний як при ручному, так і при автоматичному регулюванні продуктивності котельні при будь-якому складі працюючих котлів.

Підвищення економічності водогрійних котлів за рахунок застосування автоматизованої системи регулювання подачі повітря по співвідношенню «паливо - повітря» має велике значення. В роботі [16] наведено опис такої системи, яка на думку її творців (Австралія) може забезпечувати економію до 2% палива. Розроблена в першу чергу для жаротрубних котлів з ротаційними пальниками система може бути використана і для водотрубних котлів. У системі використовується датчик на основі окису цирконію, який вимірює вміст O_2 в димових газах, з заданими значеннями, відповідними навантаженні агрегату, виконавчий механізм змінює подачу повітря. Коли вимірювання вмісту O_2 не може бути використане (наприклад, при наявності значних присосів повітря) застосовуються датчики витрат повітря і палива, підключені до блоку порівняння.

У розробці [17] (Швейцарія) показано, що для економії газу в котельних установках центрального опалення пальники повинні мати двох-і багатоступінчасте регулювання, а для зменшення кількості їх включень і вимикань між котлом і мережею необхідний тепловий акумулятор. Для використання тепла відхідних газів за котлом слід встановлювати теплообмінник для нагріву води для гарячого водопостачання. Регулювання навантаження котла повинно здійснюватися по температурі води після котла. Застосування перерахованих заходів економії на експериментальному котлі показало, що досягається економія газу до 37%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений огляд перерахованих вище та інших існуючих підходів, способів, методів і засобів автоматичного регулювання параметрів котелень водогрійних і комбінованих установок показав, що, незважаючи на свою різноманітність, всі вони спрямовані на автоматизацію регулювання температури або тиску гарячої води (пари), оптимального співвідношення кількості спалюваного палива і витрати повітря, розрідження в топці і за котлом, а також зниження рівнів викидів CO що йдуть з газами.

Реалізація вимог по енергозбереженню і екологічному вдосконаленню теплоенергетичних установок безпосередньо пов'язана з модернізацією існуючих технологічних процесів на основі широкого впровадження методів сучасної теорії управління. Для ефективного залучення методів сучасної теорії управління багатозв'язковими системами необхідно мати адекватну математичну модель технологічного процесу перетворення енергії у формі системи звичайних дифе-

ренціальних рівнянь. Побудова динамічної математичної моделі істотно ускладнюється розподіленням більшості сепаратних підпроцесів в теплоенергетичних установках, а також невизначеностями у виборі ряду фізичних параметрів, що входять в диференціальні рівняння.

Розглянуті структури, підходи та схеми автоматичних регуляторів котелень можуть бути використані при розробці проектів їх автоматизації на основі широкого спектру математичних методів регулювання технологічних параметрів.

Список літератури:

1. **Артюх С. Ф., Дуэль М. А., Шелепов И. Г.** Основы автоматизированных систем управления энергогенерирующими установками электростанций. – Харьков: Знание, 1998. – 324 с.
2. **Горбачевский В. В., Судаков А. В., Левченко А. И.** Вопросы повышения экономичности работы энергоблоков большой мощности // Энергетика и электрификация. – 1999. – №2. – С. 1–5.
3. **Горелик А. Х., Дуэль М. А., Орловский В. А.** Направления развития и модернизации АСУ энергоблоками ТЭС и АЭС // Энергетика и электрификация. – 2000. – №3. – С. 28–31.
4. **Давыдов Н. И., Идзон О. М., Симонова О. В.** Определение параметров настройки ПИД-регулятора по переходной характеристике объекта регулирования // Теплоэнергетика. – 1995. – №10. – С. 17–22.
5. **Дрючин В. Г., Потапова А. В.** Синтез регуляторов систем управления нелинейными и линейными объектами // Вестник МАНЭБ. – 1999. – № 10(22). – С. 100–104.
6. **Дуэль М. А.** Учёт особенностей блоков ТЭС и АЭС как объектов управления при создании АСУ энергоблоками // Энергетика и электрификация. – 1999. – №7. – С. 20–25.
7. **Дуэль М. А.** Автоматизированные системы управления энергоблоками с использованием средств вычислительной техники. – М.: Энергоиздат, 1983. – 208 с.
8. **Дуэль Т. Л.** Экономическая эффективность АСУ энергоблоками // Труды Ин. Маш. НАН Украины, Харьков, 2000. – С. 156–161.
9. **Клюев А. С., Товарнов А. Г.** Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
10. **Кондратьев В. В., Мазуров В. М.** Быстродействующий адаптивный ПИД-регулятор с настройкой параметров по методу Циглера – Никольса // Теплоэнергетика. – 1994. – №10. – С. 10–16.
11. **Лебедев А. Т., Гушло В. Н.** Аналитический метод расчёта промышленной системы автоматического регулирования на заданный показатель колебательности // Теплоэнергетика. – 1971. – №8. – С. 79–81.
12. **Єфіменко І.І.** Автоматизація процесів горіння палива в котлах, як високоефективний спосіб зниження теплового й хімічного забруднення атмосфери // Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2011.- Вып.28.- С.32-35
13. **Замицький О.В., Єфіменко І.І.** Модернізація системи автоматичного керування режимами роботи котла //Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2012.- Вып.30.- С.168-171
14. **Єфіменко І.І., Замицький О.В.** Аналіз існуючих режимів спалювання природного газу // Вісник КТУ: зб.наук.пр. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, Вып.30.- 2012.
15. **Плетнёв Г. П.** Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 368 с., ил.
16. **Потапова А. В.** Алгоритм автоматизированной настройки регуляторов в системах управления // Алчевск: НИПКИ "Параметр" при ДГМИ. – 2008. – 224 с.
17. **Райбман Н. С.** Идентификация объектов управления // Автоматика и телемеханика. – 1999. – №6. – С. 80–93.
18. **Хмельёва А. В., Коцемир И. А.** Автоматизированная настройка двухконтурных систем регулирования теплоэнергетических процессов // Вестник СУДУ. – 2000. – №9. – ч. 1. – С. 120-124.
Рукопис подано до редакції 17.03.16

УДК [662.614.2:621.51]: 622.012.2

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ д-р техн. наук, проф., Є.Р. ГЛАДУН аспірант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ШАХТНИХ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів охолодження та утилізації і повторного використання теплоти що виробляється в шахтних компресорних установках підчас стиснення повітря.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження: Розглянуто методи та принципові схеми охолодження такі як: попереднє охолодження, що охолоджує повітря при його всмоктуванні; внутрішнє, що охолоджує повітря в середині корпусу компресора, в свою чергу поділяється на внутрішнє і зовнішнє; та зовнішнє, що охолоджує стиснене повітря шляхом його відведення в охолоджувач винесений за межі компресора.