

УДК 621.311.25

О. М. Головченко, к. т. н., доц.;

В. В. Студинський, студ.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ГАЗОПОДІБНОМУ ПАЛИВІ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРІВ ОПЕРАТОРІВ КОТЕЛЕНЬ

Розглянуто роботи, пов'язані з пуском промислово-опалювальної котельні. Описано метод логіко-числового моделювання енергетичних виробництв для підготовки їх експлуатаційного персоналу. Створено та проаналізовано математичну модель теплової схеми промислової котельні та її устаткування.

Вступ

Котельні агрегати працюють при великих тисках, температурах, навантаженнях, є вибухо- та пожежонебезпечними. Їх безпечна експлуатація визначається якістю підготовки обслуговуючого персоналу. Оператор у своїх діях повинен бути завжди зосередженим і адекватно реагувати на позаштатні ситуації.

Навчати студентів на сучасних натурних котельних установках в умовах навчального закладу є практично неможливим, а тому доцільне створення комп'ютерних тренажерів, які дозволяють імітувати нормальні і аварійні режими роботи котелень.

Мета досліджень полягає в розробці математичної моделі котельні та її програмної реалізації для впровадження при викладанні теплоенергетичних дисциплін в навчальних закладах.

Основна частина

Пуск промислово-опалювальної котельні включає такі роботи: вентиляція котельні, ввімкнення сигналізації, ввімкнення деаераційної установки, збирання схеми водного тракту котла та заповнення барабану деаерованою водою, включення газорегуляторного пункту, збирання схеми газового тракту, продування ділянок газового тракту через свічки, включення запальника, збирання схеми повітряного тракту, прогрівання паропроводу, опробування спрацювання системи захисту (запобіжних клапанів, соленоїдного клапану) при виході за припустимі границі параметрів пари, газу, мазуту, повітря, розрідження води, подання пари в загальностанційний колектор 1,3 МПа, ввімкнення системи безперервної продувки котла. Автоматичний режим роботи котла забезпечується регуляторами розрідження димових газів, палива, повітря, живлення, температури перегрітої пари. Регулятор живлення отримує імпульси від давача рівня води в барабані котла, а регулятор палива отримує імпульс від манометра тиску пари в барабані котла. Регулятор повітря підтримує задане співвідношення між витратами палива і повітря і діє на спрямовувальний апарат дуттєвого вентилятора. Регулятор температури діє на клапан вприскування холодної води до пари при надмірному підвищенні її температури.

Парою із загальностанційного колектора обігривається теплофікаційна установка, яка складається з бойлерів (основного та пікового), охолодника конденсатів гріючої пари, насосів, системи підживлення мережної води. До системи підживлення входять підігрівник сиріої води, охолодник випару деаераторів, два атмосферних деаератора. Різниця між витратами прямої та зворотної мережної води ліквідується за допомогою регуляторів зимового та літнього підживлення.

Для набуття навичок ведення пускових режимів створено математичну модель теплової схеми промислової котельні та її устаткування.

Теплова схема відображає її устаткування та зв'язки між ними. В комп'ютерних тренажерах математична модель теплової схеми та устаткування котельні складена за методом логіко-числового моделювання енергетичних виробництв для підготовки їх експлуатаційного персоналу.

Цей метод є розвитком методу математичного моделювання теплових схем теплоенергетичних установок (ТЕУ) [1] в напрямку моделювання динаміки теплогідравлічних процесів. Основними елементами методу є такі методики:

- передавання конструктивно-технологічних структур ТЕУ;
- логіко-числового моделювання фізичних процесів у устаткуванні ТЕУ;
- адаптації математичних моделей устаткування до методик його розрахунків в конструкторських бюро;
- управління програмною реалізацією математичної моделі ТЕУ.

Для передачі структури ТЕУ використані графові уявлення. Елементи тепломеханічного устаткування відображаються вузлами графа, а зв'язки між ними — дугами графа. Орієнтація дуг графа співпадає з направленням руху енергоносіїв. Конструктивно-технологічна відповідність устаткування установки графу досягається присвоєнням кодів його дугам і вузлам. Закодований (технологічний) граф має вигляд

$$G^T = (K_B^i, I_i) \Leftrightarrow U_{j=1}^P (\text{sign} U_j, K_D^j | \tilde{U}_j), \quad (1)$$

де K_B^i , K_D^j — конструктивно-технологічні коди вузла i та дуги j ; \tilde{U}_j — терм (номер і знак) дуги; $U_{j=1}^P$ — множина термов дуг, інцидентних вузлу I_i , $i = 1, 2, \dots, \kappa$.

Граф інтерпретується як інформаційна мережа (I -мережа), потоками якої є параметри енергоносіїв $Y_j = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, в технологічних зв'язках (дугами графа), а параметрами джерел — характеристики $X_j = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ елементів устаткування (вузлів графа). При цьому коди дуг та вузлів визначають внутрішні структури інформаційних груп y_1, y_2, \dots, y_n та x_1, x_2, \dots, x_m , а їх номери — положення цих груп в ряду інших. На T -графі визначена система DF логічних (декодувальних) функцій, які отримують ті чи інші предметні характеристики (кодів, термів) елементів графа. За допомогою логічних функцій будуються висловлювальні функції (предикати) $I_i(G^T, DF)$, які приймають значення 0 або 1 в залежності від виконання певних умов. Наприклад, належить або не належить код даного вузла підмножин кодів вузлів котлоагрегату, належить чи не належить дана дуга підмножин дуг, інцидентних деякому вузлу та інше.

Фізичні процеси в ТЕУ описуються системою рівнянь збереження, а саме: маси, кількості руху, енергії; рівнянь приросту ентропії та стану робочих тіл та теплоносіїв. Основна особливість цієї системи є в тому, що кількість та вид рівнянь кожного типу залежить від технологічної установки (число апаратів, їх призначення, засобу з'єднання, конструктивного виконання), тобто логічної інформації. Ця особливість зумовлена доцільним представленням математичної моделі ТЕУ у вигляді сукупності логіко-числових операторів, що відображають трансформацію форм рівнянь названих типів (числових функцій) в залежності від технологічних кодів вузлів та дуг графа (логічних змінних) і автоматично формують на графі необхідну систему рівнянь. Математична модель ТЕУ має вигляд

$$\Delta PS(G^T, I, DF) / \Delta_r LT(G^T, I, DF) = 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad (2)$$

$$I = \{I_i, I_j\}, \quad C_i^{\min} \leq C_i \leq C_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

де Δ — знак логіко-числового оператора; PS -оператор обробки результатів обчислень для подальшого їх виведення на зображення приладів і табло сигналізації; LT — ідентифікатор логіко-числового оператора; C_i^{\min} , C_i^{\max} — графічні значення параметрів інформаційної мережі I ; G^T — технологічний граф схеми установки.

Кожний з логіко-числових операторів є сукупністю ієрархічно підлеглих логіко-числових модулів

$$\Delta_r LT(G^T, I, DF) = U_{r=1}^s \Delta l t_i(G^T, I, DF), \quad (3)$$

де $l t_i$ — логіко-числовий модуль r -го рівня. Модуль записується, як добуток висловлювальної та числової функцій

$$\Delta l t_i(G^T, I, DF) = l_i(K_B, K_D, DF) t_i(x, y); \quad x, y \in I, \quad (4)$$

де l — висловлювальна функція; t — числова функція (рівняння процесу); x, y — залежні та незалежні змінні.

Сумісність математичної моделі ТЕУ з методиками розрахунків її устаткування в конструкторських бюро досягається ідентифікацією моделі устаткування за експериментальними (розрахунко-

вими або фактичними) даними.

Суть ідентифікованої моделі елемента устаткування для визначення його характеристики така:

1. Застосування інтегрального (спрощеного) методу визначення даної характеристики;
2. Доповнюється системою ідентифікуючих рівнянь, вид яких встановлюється на основі математичного оброблення даних фізичного експеримента.
3. Введення емпіричних коефіцієнтів в ці системи, що вважаються величинами середньостатистичними і в конкретних випадках реалізації моделі можуть змінюватися.
4. Припускається, що для даної моделі можна отримати деяку обмежену за обсягом інформацію про характеристику модельованого елемента.
5. Ставиться задача підбору значення емпіричних коефіцієнтів моделі таким чином, щоб відхилення значень характеристик, визначених за допомогою моделі, від відомих були мінімальними.

За описаним вище методом складена математична модель котельні. Паливний, водо-паровий та газоповітряний тракти котельні передані графами, на вузлах яких відображені елементи тепломеханічного устаткування і розташовані між ними ємкості з робочими тілами та теплоносіями. Вихідні параметри ємкостей визначаються з відомих аналітичних розв'язків диференціальних рівнянь процесів заповнення і спорожнення. Для налагодження математичних моделей теплообмінників використана система диференціальних рівнянь опису теплообмінної труби, наведена в [2]. Результатом розв'язання цієї системи методом Кутта-Мерсона з регульованим кроком [3] є графіки змін в часі температур стінки труби і теплоносія.

Незалежними змінними математичної моделі є чисельні значення положень органів регулювання, а залежними змінними є значення тисків, витрат, температур, рівнів, складу димових газів та інших параметрів устаткування.

Системи рівнянь, що моделюють робочі процеси та обладнання котельні розв'язуються методом ітерацій. Управління програмною реалізацією моделі (2) складається із внутрішнього і зовнішнього.

Внутрішнє управління полягає в забезпеченні функціонування операторної системи як цілого за технологічним графом і його інформаційної мережі. В залежності від логічної інформації, яку містить технологічний граф, висловлювані функції логіко-числових модулів приймають конкретні значення, наслідком яких є формування і розв'язок системи рівнянь і нерівностей.

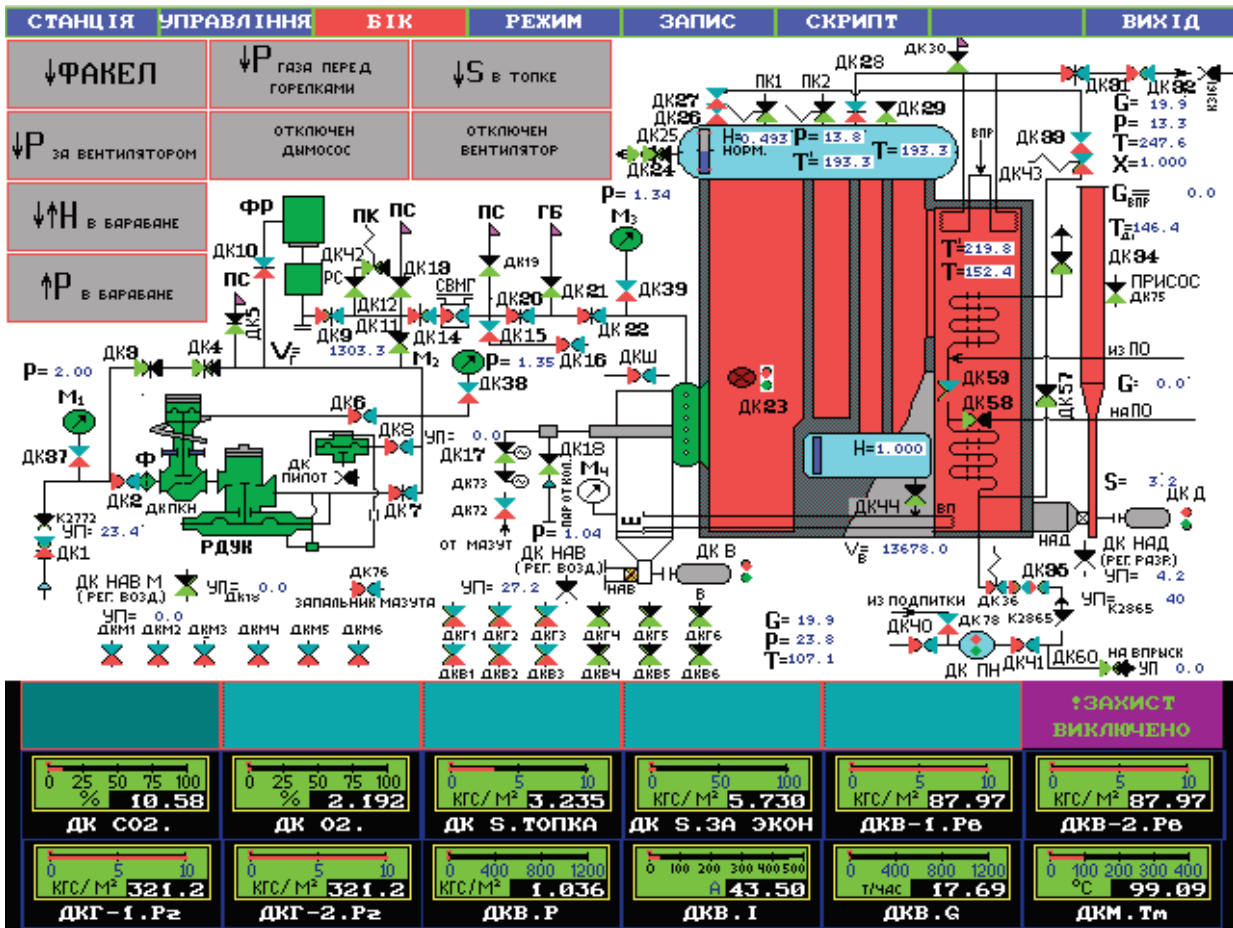
Зовнішнє управління виконується за допомогою мнемосхем газорегуляторного пункту, підігрівників сирої води, бакового господарства, трубопроводів ХВО, фільтрів ХВО, загального парового колектора котельні, щита автоматики і сигналізації, деаератора, теплофікаційної установки, системи підживлення теплових мереж, насосних агрегатів ХВО. На мнемосхемах виводяться зображення із зазначенням положень органів регулювання, а також зображення ключів та кнопок, якими органи регулювання управляються.

На рисунку зображена мнемосхема котлоагрегата, за якою виконуються вищенаведені пускові операції.

В нижній частині показані зображення вторинних приладів, на які виводяться значення декількох десятків параметрів: тиски, витрати, температури, концентрація та інше.

Для наближення управління комп'ютерним тренажером до реального управління агрегатами промислово-опалювальної котельні розроблена панель сенсорного вводу інформації, а також виконане програмне об'єднання комп'ютерного тренажера та панелі сенсорного вводу інформації.

Панель сенсорного вводу інформації дозволяє імітувати натискання на кнопки і повороти ключів управління агрегатами оператором котлоагрегата торканням до відповідних зображень на екрані комп'ютерного тренажера. Відповідність тренажерного управління реальному підвищує ефективність тренажерів, особливо у навчальному процесі, зокрема, під час аналізу дій в аварійних ситуаціях.



Мнемосхема котлоагрегата

Висновки

1. За методом логіко-чисельного моделювання ТЕУ розроблено математичну модель котельні.
2. Створено сенсорну панель вводу інформації до ЕОМ, яка наближає процес навчання до реального процесу управління агрегатами.
3. Програмна реалізація математичної моделі котельні впроваджена в навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А. М. Головченко, Д. Б. Налбандян. «Игровое проектирование энергетического оборудования» — К.: ЦМКВО, 1988. — 236 с.
2. Белик В. Г., Костанжи И. И. «Справочник по моделированию и оптимизации теплообменного оборудования сахарной промышленности. — М.: Агропромиздат, 1986. — 271 с.
3. Я. Т. Гринчишин Турбо-Паскаль: чисельні методи в фізиці та математиці». — Тернопіль, 1993. — 121 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07
Рекомендована до друку 02.07.07

Головченко Олексій Михайлович — доцент кафедри теплоенергетики, **Студинський Владислав Володимирович** — студент Інституту магістратури, аспірантури та докторантури
Вінницький національний технічний університет