

Ідентифікація коефіцієнту теплообміну пароперегрівачів енергоблоку НКТ за умови неповного набору даних

О.Л.Красніков¹

Анотація – Problems of identification of superheater's heat transfer coefficient using existing power unit's measurement system are examined. The method of identification based on recursive least squares method is proposed and computing experiments using measurements data in different operating modes are performed.

Ключові слова – тепломасообмін, ідентифікація, рекурентний метод найменших квадратів.

I. ВСТУП

Для вирішення завдання керування параметрами пару необхідна модель процесу тепломасообміну, що відбувається у пароводяному тракці енергоблоку. Для побудови моделі можна використати відповідні рівняння у часткових похідних, які наведені у класичній літературі [1]. Але залишається відкритою проблема визначення коефіцієнтів моделі, які, крім того, можуть змінюватися у часі. Нижче наведено модифікацію рекурентного методу найменших квадратів, який дозволяє визначити коефіцієнт тепловіддачі в реальному часі, а також результат ідентифікації у різних режимах роботи енергоблоку.

II. МОДЕЛЬ ПАРОПЕРЕГРІВАЛЬНОГО ТРАКТУ

Динаміка пароперегрівального тракту може бути описана рівнянням тепломасообміну [1, 2]:

$$c_p S \frac{\partial t(\tau, l)}{\partial \tau} + c G \frac{\partial t(\tau, l)}{\partial l} = \alpha \pi d (t^m(\tau, l) - t(\tau, l)), \quad (1)$$

де t, t^m – температура пари та металу паропроводів (вимірюється в декількох точках, згідно з конкретною схемою розташування датчиків), c, ρ – теплоємність та густина пари (розраховуються за формулами для поточних температури та тиску), S, d – площа перетину та діаметр паропроводу (визначаються конструкцією паропроводу), α – коефіцієнт тепловіддачі.

Основну складність у побудові моделі становить визначення саме коефіцієнта тепловіддачі. Коефіцієнт залежить від теплоємності, щільності та в'язкості пари, а також від швидкості потоку [3]. Тобто значення коефіцієнта тепловіддачі змінюється залежно від режиму роботи енергоблоку. Також на значення коефіцієнта впливає наявність відкладень на стінках труб, що знижує інтенсивність тепловіддачі.

У завданні моделювання на основі кінцево-різницевої апроксимації можна подати рівняння (1) у вигляді [2]:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \quad (2)$$

де x, u – температура пари в обраних точках паропроводу та зовнішні впливи (температура металу та температура пари на вході в пароперегрівач) A, B – відповідні коефіцієнти рівнянь, які можуть бути виражені щодо невідомого коефіцієнту тепловіддачі:

$$A = A_0 + \alpha A_1, \quad B = B_0 + \alpha B_1. \quad (3)$$

III. ІДЕНТИФІКАЦІЯ

Усе ж таки безпосереднє використання методу найменших квадратів для ідентифікації коефіцієнту α неможливе тому, що відсутній повний набір вимірювань температури пари x , а фактично доступний лише певний набір вимірювань в окремих точках:

$$y(k) = Cx(k). \quad (4)$$

Зокрема система вимірювань енергоблоків надкритичного тиску передбачає наявність вимірювань температури металу по довжині паропроводу, а температури пари лише в двох точках: на вході та на виході з паропроводу. Тобто, з вектору стану паропроводу доступна лише остання компонента.

Для системи (2), (4) можливе доповнення структури рівняннями, які відновлюють значення вектору x на основі вимірюваних значень. Такою структурою є спостерігач Люенбергера [4], який дає оцінку \hat{x} .

$$\begin{cases} \hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + N(y(k) - \hat{y}(k)) \\ \hat{y}(k) = C\hat{x}(k) \end{cases} \quad (5)$$

Матриця спостерігача N обирається так, щоб забезпечити поступове зменшення похибки оцінки вектору стану системи [4].

Із (5), враховуючи (3), можна виразити \hat{y} через невідомий коефіцієнт тепловіддачі:

$$\hat{y}(k) = w_0^k + \alpha w_1^k, \quad (6)$$

де вектори коефіцієнтів виражаються як:

$$\begin{aligned} w_0^k &= C(A_0 - NC)\hat{x}(k-1) + CB_0u(k-1) + CNy(k-1) \\ w_1^k &= CA_1\hat{x}(k-1) + CB_1u(k-1) \end{aligned} \quad (7)$$

Таким чином, завдання ідентифікації невідомого параметру системи (2)-(4) можна поставити як завдання мінімізації відповідної похибки оцінювання:

$$S = (y - w_0 - \alpha w_1)^T (y - w_0 - \alpha w_1). \quad (8)$$

¹ Інститут прикладної математики та механіки НАН України, вул. Р.Люксембург, 74, Донецьк, 83114, УКРАЇНА, E-mail: zzakkatt@gmail.com

Вирішуючи завдання МНК [5], можна отримати оцінку коефіцієнта, яка буде визначатися наступним рівнянням:

$$\hat{\alpha}_r = \hat{\alpha}_{r-1} + P_r [w_1^T (y_r - w_0 - \hat{\alpha}_{r-1} w_1^T)] \quad (9)$$

$$P_r^{-1} = P_{r-1}^{-1} + w_1^T w_1^T$$

Безпосередній алгоритм оцінки коефіцієнта полягає в послідовному розрахунку оцінки вектора стану системи згідно з (5), векторів w_0^r, w_1^r згідно з (7) та оцінки коефіцієнта системи згідно з (9).

IV. ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

На підставі даних роботи енергоблоку надкритичного тиску у різних режимах роботи, отримана оцінка коефіцієнта тепловіддачі та відповідна оцінка точності моделі. У таблиці 1 наведені середнє значення коефіцієнта тепловіддачі та середньоквадратичне значення похибки вимірюваної температури.

Таблиця 1

ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ

Дата	Потужність, МВт	Середнє значення коефіцієнта тепловіддачі, $\cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{C}^\circ)$	Середньоквадратична похибка вимірюваної температури, $^\circ\text{C}$
08.09.2007	160	0.19	0.08
08.09.2007	185	0.24	0.12
08.09.2007	195	0.27	0.21
02.11.2007	165	0.22	0.22
02.11.2007	270	0.66	0.35
12.11.2007	290	0.71	0.55

Дані таблиці 1 безпосередньо демонструють залежність коефіцієнта тепловіддачі від режиму роботи: при підвищенні потужності блоку (яке виконується збільшенням витрат та тиску пари) збільшується інтенсивність тепловіддачі (рис. 1).

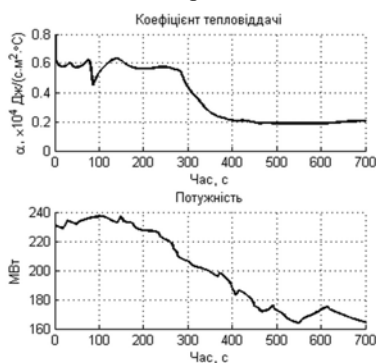


Рис.1. Оперативна ідентифікація коефіцієнта тепловіддачі (при зміні потужності з 240 до 160 МВт)

Аналізуючи точність методу (рис. 2), варто відзначити,

що середньоквадратична похибка не перевищує похибки системи вимірювань, яка для цього набору вимірювань складає 3°C .



Рис.2. Температура на виході з паропроводу (вимірювана та модельована) при зміні потужності з 240 до 160 МВт

V. ВИСНОВОК

Розглянуто завдання ідентифікації коефіцієнта та запропоновано метод оцінки коефіцієнта тепловіддачі, який полягає у послідовній оцінці невідомих значень температури пари з використанням спостерігача Люенбергера та наступній оцінці параметру моделі на основі рекурентного методу найменших квадратів. Запропоноване рішення реалізоване для оцінки коефіцієнта тепловіддачі енергоблоку НКТ у різних режимах роботи та отримані відповідні оцінки. Похибка моделі не перевищує похибку вимірювань, тобто модель адекватно відображає процеси тепломасообміну.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Михеев М. А. Основы теплопередачи. / Михеев М. А., Михеева И. М. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
- [2] Красников А.Л. Методы моделирования и параметрической идентификации пароперегревателей высокого давления на основе конечно-разностных аппроксимаций / Красников А.Л. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. сер. «Обчислювальна техніка та автоматизація» – № 169 (18). – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 106-113.
- [3] Справочник по теплогидравлическим расчетам: (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / [Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.]; под общ. ред. Кириллова П.Л. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
- [4] Страшинин Е.Э. Основы теории автоматического управления, Часть 1. Линейные непрерывные системы управления: Учебное пособие – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 217 с.
- [5] Гроп, Д. Методы идентификации систем. – М.: Мир, 1979. – 302 с.