

# МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РЕКУРРЕНТНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС

Филатов А.Г., к.т.н., доц., Курило О.С., студент  
НТУУ «КПИ», кафедра электрических станций

**Введение.** Расходные характеристики энергоблоков тепловых электростанций (ТЭС) представляют собой зависимость между расходом топлива и электрической нагрузкой энергоблока и являются основной исходной информацией при оптимизации режимов ТЭС по активной мощности [1]. Как правило, эти характеристики моделируются в виде полиномов второго порядка, коэффициенты (параметры) которых могут быть определены как теоретически, так и экспериментально по данным измерений. В данной работе для оценки коэффициентов расходной характеристики энергоблока по данным измерений рассматривается один из возможных методов параметрической идентификации.

**Постановка задачи.** Использование моделей расходных характеристик для решения упомянутой выше задачи оптимизации в составе АСУ ТП электростанции предполагает постоянную оценку (коррекцию) коэффициентов расходных характеристик энергоблоков по мере поступления данных измерений расхода топлива и электрической нагрузки. Это обусловлено изменением эксплуатационных характеристик оборудования энергоблоков в течении их работы. Наиболее эффективными методами такой оценки являются методы параметрической идентификации, основанные на рекуррентных процедурах, что позволяет реализовать их в контуре управления (в режиме on-line). В данной работе рассматривается модифицированный алгоритм идентификации параметров модели расходной характеристики энергоблока [2], основанный на рекуррентном преобразовании уравнений метода наименьших квадратов и который не требует большого количества памяти ЭВМ.

**Результаты исследования.** Рассмотрим расходную характеристику энергоблока в виде полинома второго порядка для некоторого  $k$ -го шага поступления измерений:

$$b_{(k)} = a_0 + a_1 \cdot P_{(k)} + a_2 \cdot P_{(k)}^2, \quad (1)$$

где  $b_{(k)}$  и  $P_{(k)}$  - измерения расхода топлива и активной мощности энергоблока соответственно в  $k$ -й момент времени;  $a_0, a_1, a_2$  - коэффициенты (параметры) расходной характеристики, подлежащие идентификации.

Выделив идентифицируемые параметры в вектор  $\theta = [a_0 \ a_1 \ a_2]^T$ , уравнение расходной характеристики (1) можно записать в матричном виде

$$z_{(k)}^T \cdot \theta = b_{(k)}, \quad (2)$$

где  $z_{(k)} = [1 \ P_{(k)} \ P_{(k)}^2]^T$  - выборка данных измерений мощности на  $k$ -м шаге;

$b_{(k)}$  - расход топлива на  $k$ -м шаге.

Накапливая выборки измерений, получим матричное уравнение идентификации

$$Z \cdot \theta = B, \quad Z = [z_{(1)}, z_{(2)}, \dots, z_{(k)}]^T; \quad B = [b_{(1)}, b_{(2)}, \dots, b_{(k)}]^T. \quad (3)$$

Для формирования рекуррентной формулы метода наименьших квадратов введем в рассмотрение квадратную диагональную матрицу весовых коэффициентов  $S_{(0)}$  и вектор-столбец идентифицируемых параметров  $\theta_{(0)}$ , которые на начальном шаге будут иметь следующий вид:

$$S_{(0)} = \text{diag} \{s_{11} \quad s_{22} \quad s_{33}\}_{(0)}, \quad \theta_{(0)} = [\alpha_{0(0)} \quad \alpha_{1(0)} \quad \alpha_{2(0)}]^T \quad (4)$$

При этом, в качестве численных значений матрицы  $S_{(0)}$  можно принять небольшие значения, а в качестве численных значений вектора  $\theta_{(0)}$  принять значения коэффициентов близкие к реальным.

В качестве рекуррентной процедуры идентификации можно принять следующую формулу:

$$\theta_{(k)} = \theta_{(k-1)} + \gamma_{(k)} \cdot [b_{(k)} - z_{(k)}^T \cdot \theta_{(k-1)}], \quad (5)$$

где  $[b_{(k)} - z_{(k)}^T \cdot \theta_{(k-1)}]$  - ошибка оценивания расходной характеристики на  $k$ -м шаге;  $\theta_{(k-1)}$  - оценка вектора коэффициентов расходной характеристики на  $(k-1)$ -м шаге;  $\gamma_{(k)}$  - вектор-столбец корректирующих коэффициентов, обеспечивающий сходимость итерационного процесса, который определяется по следующей формуле:

$$\gamma_{(k)} = \alpha_{(k)} \cdot \frac{1}{1 + z_{(k)}^T \cdot \alpha_{(k)}}. \quad (6)$$

В формуле (6)  $\alpha_{(k)}$  представляет собой вектор-столбец, который в свою очередь определяется по формуле:

$$\alpha_{(k)} = S_{(k)}^{-1} \cdot z_{(k)} \quad (7)$$

После каждого шага необходимо корректировать матрицу весовых коэффициентов  $S_{(k)}^{-1}$  по следующей формуле:

$$S_{(k)}^{-1} = S_{(k-1)}^{-1} - \gamma_{(k)} \cdot \alpha_{(k)}^T. \quad (8)$$

Матрица  $S_{(k)}$  имеет размерность  $3 \times 3$  и не изменяется по размерности.

Для реализации изложенного подхода была составлена компьютерная программа с помощью программного пакета MATHCAD и проведены расчеты по идентификации коэффициентов расходной характеристики энергоблока ТЭС. Исходные измерения расходов топлива  $B$  и значений мощности  $P$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

|   |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Р | 277  | 275.7 | 275.2 | 277.5 | 278.6 | 279.7 | 279.4 | 261.8 | 259.9 | 260.6 | 262.6 | 260.8 | 245.6 | 245.1 | 245.9 | 246.5 | 245.3 | 245.3 | 242.7 | 229.6 | 232.6 | 201.9 | 206.7 | 201.8 | 200.6 | 197.8 | 202.6 | 198.3 | 175.4 | 177.4 | 178.8 | 179.5 |
| В | 76.1 | 76.1  | 76.1  | 76    | 76.6  | 76.4  | 76.5  | 71    | 71.3  | 71.1  | 71.4  | 70.8  | 67.5  | 67.5  | 67.4  | 67.3  | 66.8  | 66.8  | 66.9  | 63    | 63.4  | 56    | 57.1  | 55.9  | 55.6  | 55    | 55.9  | 55.5  | 50.4  | 50.3  | 50.4  | 50.5  |

Получены следующие результаты по идентификации параметров вектора  $\theta$  расходной характеристики энергоблока (1), которые приведены на рис.1 ( а) – для параметра  $a_0$ ; б) – для параметра  $a_1$ ; в) – для параметра  $a_2$ ).

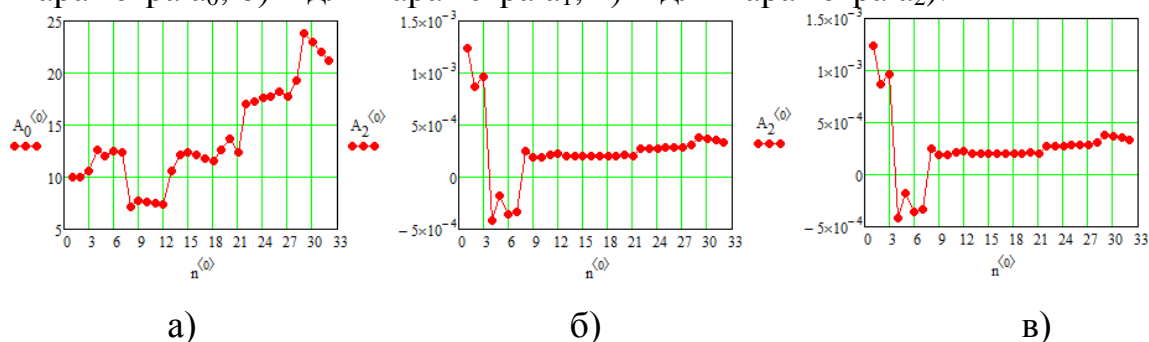


Рисунок 1 – Графики расчетов параметров расходной характеристики энергоблока

**Выводы.** Рассмотренный алгоритм позволяет использовать его в АСУ ТП электростанций, так как параметрическая идентификация расходной характеристики энергоблока осуществляется по последовательно поступаемым измерениям в режиме «on-line».

Используя полученные коэффициенты можно записать уравнение расходной характеристики:

$$B = 21.156 + 0.104 \cdot P + 3.378 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 \quad (9)$$

На основе F-критерия Фишера [3] была выполнена проверка адекватности полученной модели исследуемому процессу и сделан вывод о том, что модель (9) является адекватной (с достоверностью 95%) и все рассчитанные коэффициенты модели являются значимыми, т.е. подтверждена исходная гипотеза об адекватности полученной модели исследуемому процессу.

#### Перечень ссылок

1. Веников В. А., Журавлева В. Г., Филиппова Т. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 стр.
2. Филатов А.Г., Курило О.С. Идентификация параметров расходных характеристик энергоблоков ТЭС рекуррентным методом/ Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики. - Київ: "Політехніка", 2014 - с.197- 199.
3. Ли Т.Г., Адамс Г.Э. У.М.Гейнс Управление процессами с помощью ЭВМ. – М.:Советское радио,1972. – 312с.