

Г.В. НОЗДРЕНКО  
Ю.В. ОВЧИННИКОВ

Новосибирский электротехнический  
институт

## ПРИНЦИП НЕРАВНОЦЕННОСТИ ПОТОКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЭС

Резюме. При анализе функционирующих теплоэнергетических установок предлагается использовать принцип "неравноценности потоков", который заключается в последовательном исследовании технологической схемы производства и разделении первичных затрат в каждом сечении схемы пропорционально сопоставимым видам продукции (потокам пара, эксергии и т.п.).

### 1. Вступление

Развитие сложных многоцелевых установок требует разработки более совершенных методов исследования. Потребность в этом возникает, например, при разработке для АСУ ТЭС математических моделей функционирования теплофикационных установок (а в ряде случаев - конденсационных установок), для анализа ТЭП и перерасходов топлива, разделения затрат топлива между отпускаемыми продуктами, распределения нагрузки, управления процессами и т.п.

Существующие методы анализа обладают определенными недостатками. Так, группа физических методов анализа, учитывая длину технологической цепочки производства продукции, не учитывает качественного различия между видами производимой энергетической продукции.

Группа методов, рассматривающая теплоэнергетическую установку как "черный ящик", где входами являются затраты, а выходами - продукты, учитывая качественное различие в производимой энергетической продукции, не учитывает различия в длинах технологических цепочек производства этих видов продукции.

Анализ существующих методов показывает, что они носят частный характер и не являются универсальными [1].

### 2. Принцип "неравноценности" потоков

При анализе теплоэнергетической установки необходимо последовательно рассматривать всю технологическую схему производства энергии. При этом анализ отдельных узлов установки может выполняться физическими или эксергетически-

ми методами в зависимости от того, однородную или разнородную продукцию производит этот узел. Каждый технологический узел установки со всеми его связями рассматривается как "потребитель" для предыдущих и "производитель" для последующих технологических узлов.

Предлагаемый подход [2], развитый на основе [3-5], может быть использован для решения задач применительно к функционирующим установкам.

В соответствии с этим теплоэнергетической установке можно сопоставить некоторый ориентированный граф

$$\Gamma = \{I, J\} \quad (1)$$

Множество вершин  $I$  графа отображают элементы системы и внешней среды, а множество дуг  $J$  - связи между элементами. Для каждого  $i$ -го элемента задается множество входов (множество элементов исходящие из которых дуги входят в элементы  $i$ )

$$V(i) = \{j \in I; (j, i) \in J\}$$

и множество выходов (множество элементов, в которые приходят дуги, исходящие из элементов  $i$ )

$$W(i) = \{j \in I; (i, j) \in J\}$$

Всё множество вершин  $I$  графа  $\Gamma$  можно разделить на несколько непересекающихся множеств (например  $I_1$  соответствует источникам "сырья",  $I_2$  - потребителям,  $I_3$  - элементам технологической схемы и т.д.).

С каждой дугой, ведущей из элемента  $i$  в элемент  $j$ , связана величина  $E_{ij}$ , называемая потоком по ветви и представляющая собой количество некоторого продукта элемента  $i$ , поставляемого элементу  $j$ . Для любого элемента  $i \in I_3$  справедливы соотношения

$$\begin{aligned} E_{ij} &= E \left\{ X, E_{ki}; \forall k \in V(i) \right\}, \forall j \in W(i); \\ \left\{ X; E_{ki}; \forall k \in V(i); E_{ij}, \forall j \in W(i) \right\} &\in R_i^*, \\ \sum_{k \in V(i)} E_{ki} - \sum_{j \in W(i)} E_{ij} &\geq 0; \quad E_{ij} \leq E_{ij}^*; \quad \sum_{j \in W(i)} E_{ij} \leq E_i^* \end{aligned} \quad (2)$$

где  $X$  - управляющие воздействия;  $R_i^*$  - некоторые замкнутые области (определяемые техническими условиями);  $E_{ij}^*$ ,  $E_i^*$  - максимальная производительность по данному виду продукта и по всем видам продуктов  $i$ -го элемента. В целом для функционирующей ТЭУ (в данном случае) можно записать

$$\sum_{j \in I_2} \sum_i C_{ij} E_{ij} = \sum_{i \in I_1} \sum_j C_{ij} E_{ij}, \quad (3)$$

где  $C_i, C_j$  - некоторые затраты, приписываемые единице исходного и конечного продукта (удельные затраты).

Основным свойством  $E_{ij}$  является то, что  $E_{ij}$  несет информацию о физическом процессе в ТЭУ, т.е. находится в соответствии с ним. По пути технологического процесса  $E_{ij}$  может менять свою физическую природу. Очевидно,  $E_{ij}$  сопоставимы:

1. если  $E_{ij}$  приведены к  $E_{ij}^{**}$ , имеющим одинаковую физическую природу, при сохранении той информации, которую несут  $E_{ij}$ ;
2. и если  $E_{ij}^{**}$  относятся к одному и тому же сечению технологического процесса

$$E_{ij} \Rightarrow E_{ij}^{**}; \left\{ \begin{array}{l} \forall j \in W(i), \exists E_{ij}^{**}, C_{ij}^{**} = \text{idem} \\ \forall i \in I_3. \end{array} \right. \quad (4)$$

Система уравнений (1) - (4) - описывает состояние графа  $\Gamma$ , соответствующую ему технологическую схему ТЭУ и отражает свойство неравноценности потоков  $E_{ij}^{**}$  в смысле удельных затрат  $C_{ij}^{**}$  ( $C_{ij}^{**}$  тем выше, чем ближе  $i \in I_3$  к  $I_2$  графа  $\Gamma$ ). Этот подход (который для краткости можно было бы назвать "принципом неравноценности потоков") является естественным, достаточно простым, удобным, понятным инженеру - энергетiku и одновременно строгим, исключаям какие-либо уловности.

### 3. Примеры расчетов, выполненных в соответствии с принципом неравноценности потоков

Применение изложенной методики может быть проиллюстрировано на следующих примерах:

1. Оптимизация процесса подачи воздуха в топку парогенератора типа Пп-950-255 (как часть общей задачи управления процессом горения).

Математическая модель построена на основе (1) - (4) и включает модели функционирования регенеративного воздухоподогревателя (РВП), дымососов, дутьевых вентиляторов, топку с газоходом и системы топливоподачи. Потоки  $E_{ij}^{**}$  рассматривались как потоки эксергии [3]. В качестве управляющих воздействий  $X$  приняты соответственно расходы топлива и горячего воздуха, напоры дымососов и дутьевых вентиляторов (из расчета сопротивления по газовой и воздушной сторонам).

В табл. 1 приведены результаты расчета на ЭВМ оптимальных значений  $X$  для одного из режимов работы парогенератора Пп-950-255.

Использование принципа "неравноценности потоков" приводит к учету эксергетической обратной связи.

Таблица 1

## Оптимизация процесса подачи воздуха для Пп-950-255

Наименование величины	Размерность	Значение
Расход топлива $X_1$	кг/с	49,1
Расход воздуха $X_2$	кг/с	338,2
Напор дымососа (из расчета сопротивления РВП по газовой системе) $X_3$	бар	0,0050
Напор дутьевого вентилятора (из расчета сопротивления РВП по воздушной стороне) $X_4$	бар	0,0065
Затраты на единицу эксергии (отпускаемого РВП) горячего воздуха	коп/мДж	0,23

2. Разделение затрат топлива в теплофикационной установке между отпускаемым теплом и электроэнергией.

Математическая модель является универсальной моделью функционирования установок с турбинами типов ПТ, Т и Р построена на основе (1) - (4).

В табл. 2 приведены результаты расчета на ЭВМ одного из режимов работы энергоустановки с турбиной ПТ-135-130/15. Использование принципа "неравноценности потоков" позволяет учесть как длину технологических процессов производства тепла и электроэнергии, так и качество производных продуктов.

Таблица 2

## Разделение затрат топлива для ПТ-135-130/15

№ пп	Наименование показателя	Абсолютные затраты		Удельные затраты	
		Величина	Размерность	Величина	Размерность
1	Расход топлива (в целом на энергоустановку)	71,2	т/ч	-	-
2	Расход топлива на тепло (193,7 МВт), отпускаемое из П-отбора (Р=13 бар)	23,5	т/ч	121,3	г/квт.ч.
3	Расход топлива на тепло (87,2 МВт), отпускаемое из верхнего Т-отбора (при Рт = 1,3 бар)	5,5	т/ч	63,6	г/квт.ч.
4	Расход топлива на тепло (91 МВт), отпускаемое из нижнего Т-отбора	5,1	т/ч	56	г/квт.ч.
5	Расход топлива по энергоустановке на отпускаемое потребителю тепло (364,6 МВт)	34,1	т/ч	93,7	г/квт.ч.
6	Расход топлива на отпускаемую электроэнергию (122 МВт с учетом собственных нужд)	37,1	т/ч	305	г/квт.ч.

#### 4. Выводы

Показано применение принципа "неравноценности потоков" для решения некоторых задач анализа и оптимизации функционирования энергоблоков.

Последовательное применение принципа "неравноценности потоков" позволяет решать задачи анализа теплоэнергетических установок любой сложности. При этом учитывается как длина технологической схемы производства энергетической продукции, так и качество продукции.

Использование принципа "неравноценности потоков" для целей анализа и оптимизации особенно оправдано при применении ЭЦВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горшков А.С.: Техничко-экономические показатели тепловых станций. "Энергия", М., 1974.
- [2] Ноздренко Г.В.: Использование эксергетической функции при математическом моделировании теплоэнергетических установок. Изв. вузов СССР. Энергетика, № 10, 1976.
- [3] Шаргут Я., Петела Р.: Эксергия. "Энергия", М., 1968.
- [4] Андрощенко А.И.: Термодинамические расчеты оптимальных параметров тепловых электростанций. "Высшая школа", М., 1963.
- [5] Бродянский В.М.: Эксергетический метод термодинамического анализа. "Энергия", М., 1973.

#### ZASADA NIERÓWNOWAŻNOŚCI STRUMIENI PRZY MODELOWANIU SKOJARZONYCH PROCESÓW CIEPLNO-ELEKTRYCZNYCH

#### S t r e s z c z e n i e

Proponuje się wykorzystanie do analizy instalacji elektrociepłowniczych "zasady nierównoważności strumieni", która oparta jest na rozpatrywaniu procesu technologicznego krok po kroku. W każdym kroku nakłady są dzielone proporcjonalnie pomiędzy produkty procesu. Przykłady ilustrują zastosowanie tej zasady.

#### PRINCIPLE OF UNEQUAL VALUE STREAMS BY MODELIZING PRODUCTIONS PROCESSES OF HEAT AND ELECTRICITY ON THE ELECTRIC POWER STATIONS

#### S u m m a r y

Analyzing the operating power installations it is offered to use the "principle of unequal streams".

Principle is based on the step by step investigation of the technological scheme of power installations. In each step initial expenditures are divided proportionally between all compared power production kinds.

There are examples of using this "principle".