

УДК 621.311.22

Коррекция исходной информации в балансовых уравнениях методом случайного поиска при наличии граничной функции*

Ю.В. ОВЧИННИКОВ¹, С.Л. ЕЛИСТРАТОВ², А.А. ФРАНЦЕВА³, Е.Е. БОЙКО⁴

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук. E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук. E-mail: elistratov.sl@yandex.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук. E-mail: frantseva-alina@gmail.ru

⁴ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант. E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

Особенностью процесса функционирования теплоэнергоустановки (ТЭУ) в реальных условиях является неопределенность ее состояния по ряду причин, связанных с ошибками измерений из-за низкой точности методов контроля и регистрации данных; с узкими диапазонами изменениями некоторых параметров, соизмеримых с погрешностью измерительной аппаратуры; с инертностью и колебанием показателей и др. Для уменьшения этой неопределенности, т. е. адаптации информационной модели к реальным условиям, требуется разработка методов получения информации с минимально возможной неопределенностью. Для решения этой задачи можно использовать метод согласования балансов. В статье рассмотрены основные методические положения согласования балансов при адаптации информационной модели к условиям реальной ТЭУ, приведен подробный алгоритм. Каждый агрегат сложной системы рассматривается как многомерный технологический оператор, качественно или количественно преобразующий физические материальные и энергетические технологические потоки. При этом учесть все входные переменные, влияющие на технологический процесс, происходящий в агрегате, невозможно и нецелесообразно, что приводит к неопределенности информации. Предложен метод итерационной адаптации несогласованного балансового уравнения к реальным условиям с использованием случайного поиска истинных значений компонентов уравнения и с применением граничной информационной функции. В статье также рассматривается пошаговый пример использования методики согласования балансового уравнения методом случайного поиска при наличии граничной функции с целью сближения корректируемых значений компонентов балансового уравнения с их истинными значениями. Предлагаемая методика позволяет получить хороший результат при коррекции измеренных входных параметров и приближении рассчитанных величин к их истинным значениям.

* Статья получена 29 марта 2017 г.

Ключевые слова: согласование балансового уравнения, новая методика, неопределенность исходной информации, граничная функция, снижение неопределенности, случайный поиск, моделирование, теплоэнергоустановка

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-3-62-75

ВВЕДЕНИЕ

Важной особенностью процесса функционирования ТЭУ в реальных условиях является неопределенность истинного ее состояния в каждый момент времени [2, 7, 9].

Природа этой неопределенности связана с рядом причин, из которых важнейшими являются следующие: некоторые параметры не измеряются; численные значения измеряемых величин (параметров) оцениваются зачастую с большими ошибками измерений (что обусловлено сравнительно низкой точностью промышленных методов контроля и регистрации данных; узкие диапазоны изменения ряда параметров соизмеримы с погрешностью контрольно-измерительной аппаратуры; инерционность, колебания показателей и характеристик процессов в энергооборудовании ТЭУ обуславливают запаздывание в объекте и усиливают несходимость материального и энергетического балансов.

Исходную информацию можно подразделить на детерминированную, вероятную, вероятностно-неопределенную и собственно неопределенную. Для функционирующей ТЭУ к детерминированной информации, т. е. информации, задаваемой единственным значением соответствующего показателя, можно отнести лишь состав функционирующего оборудования. К вероятностной информации, для которой известны параметры и законы распределения случайных величин, можно отнести некоторые измеряемые показатели. В этом случае имеется погрешность информации в общепринятом смысле: рассматриваемый показатель может принимать разные значения, отклоняющиеся от среднего (математическое ожидание). Третья форма (вероятностно не определенная) задания исходной информации предполагает неточное значение закона распределения. К этой форме можно отнести большинство измеряемых показателей, а к собственно неопределенной информации – все неизмеряемые показатели, для которых можно задать лишь диапазон вероятных значений. В наибольшей степени исходная информация о функционировании ТЭУ является вероятностно-неопределенной и собственно неопределенной. Вместе с тем анализ и оптимизация функционирования ТЭУ [5, 6, 10, 13–16] требует такого объема (состава) показателей, который позволил бы рассчитать материальные и энергетические балансы по всем технологическим связям теплоэнергетической установки. В этом плане требуется разработка методов получения информации с минимально возможной неопределенностью [3, 4].

1. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ТЭУ И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭТОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В соответствии с разрабатываемым подходом каждый агрегат сложной системы или теплоэнергетическая установка в целом рассматривается как многомерный технологический оператор, качественно и(или) количественно

преобразующий физические материальные и энергетические технологические потоки: $E_i^{(x)} = (E_{1i}, E_{2i} \dots E_{ki})$ – на входе в соответствующие материальные и энергетические технологические потоки; $E_i^{(y)} = (E_{i1}, E_{i2} \dots E_{ij})$ – на выходе из оператора. Характеристика агрегата (или агрегативной подсистемы) может быть унифицирована. В такой форме характеристика является модулем математической модели ТЭУ [1, 11, 12].

В большинстве случаев построение характеристики функционирующего агрегата непосредственно в виде $E_i^{(y)} = f(E_i^{(x)})$ невозможно вследствие того, что не все потоки из $E_i^{(x)}$, $E_i^{(y)}$ могут быть измерены. Однако $E_i^{(x)}$, $E_i^{(y)}$ могут быть рассчитаны по измеряемым параметрам:

$$X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}), \quad Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$$

как

$$\begin{aligned} E_{1i} &= f_1(X_i), \dots, E_{ki} = f_k(X_i), \\ E_{i1} &= \varphi_1(Y_i), \dots, E_{ij} = \varphi_j(Y_i). \end{aligned} \quad (1)$$

Учесть все входные переменные X_i , влияющие на ход технологического процесса (происходящего в агрегате), и выходные переменные Y_i принципиально невозможно и практически нецелесообразно [8]. При моделировании функционирующей ТЭУ приходится ограничиваться только небольшой частью основных входных переменных $X = (x_1, \dots, x_j)$, которые, подчеркнем, обязательно измеряются на функционирующей установке, а остальные отнести к неконтролируемым возмущениям (шумам). В этом случае $E_i^{(x)}$, $E_i^{(y)}$ могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \{E_{1i} = f_1(X_i), \dots, E_{ki} = f_k(X_i), \\ E_{i1} = \varphi_1(Y_i), \dots, E_{ij} = \varphi_j(Y_i); y_{i1} = \psi_1(X), \dots, y_{im} = \psi_m(X)\} \quad \forall i \in J. \end{aligned} \quad (2)$$

Из сказанного очевидно, что для агрегата как технологического оператора характерна неопределенность информации. Выбор входных переменных $X = (x_1, \dots, x_j)$ диктуется чисто технологическими причинами, определяемыми возможностью измерения и преобразования информации, а не степенью и формой влияния на выходные переменные Y_i каждого агрегата. Кроме того, исходя из модельного принципа

$$X = \text{idem} \forall i \in J. \quad (3)$$

Выбор Y_i не представляет затруднений, поскольку зависит от известной цели использования характеристик агрегата.

Приведенное представление агрегата как технологического оператора дает возможность применить известные методы математического описания. Так, для агрегата каждая из независимых выходных переменных определяет-

ся всеми входными переменными. В этом случае для описания агрегата необходимо иметь m операторов вида

$$y_{im} = \Phi(a_{im}X) + \xi, \quad (4)$$

где a_{im} – вектор параметров в выбранном классе функции Φ ; ξ – ошибка, возникающая вследствие приближенного соответствия между стохастическим отображением $y_{im} = \Psi_{im}(X)$ и выбранной аппроксимирующей функцией $\Phi(a_{im}X)$, а также по указанным выше причинам.

Учитывая то, что оператор $\Phi(a_{im}X)$ восстанавливается на некоторой выборке параметров x и y_i , удобно его представить в виде функции

$$\Phi(a_{im}X) = \sum_{j=0}^n (a_{im}) \hat{x}_j, \quad (5)$$

которая является линейной относительно искомым коэффициентов и содержит в качестве \hat{x}_j не только значения исходного вектора X , но и комбинации типа x_k , x_j , x_j^z и т. п.

Рассчитанные по выражению (5) величины $y_{i1}, \dots, y_{im} \forall i \in J$ являются составляющими энергобаланса, который для функционирующей ТЭУ может быть записан в виде

$$f(X, Y) = ABS(\delta_{x,y}) > \delta_f, \quad Y = (Y_1, \dots, Y_i), \quad (6)$$

где δ_f – допустимая погрешность согласования энергобаланса; $\delta_{x,y}$ – несходимость энергобаланса, обусловленная погрешностью измерения входных переменных X и погрешностью прогнозирования Y . Задача согласования энергобаланса при $ABS(\delta_{x,y}) > \delta_f$ формируется как задача минимизации $f(X, Y)$.

Заметим, что согласованное уравнение баланса ТЭУ является истинным уравнением, поскольку испытания и исследование функционирующих тепло-энергоустановок вообще имеет смысл проводить только в условиях стационарности режима:

$$f(X, Y) = ABS(\delta_{x,y}) = 0. \quad (7)$$

Поэтому процесс согласования несогласованного балансового уравнения (6) и приведение его к согласованному состоянию (7) – это есть процесс адаптации информационной модели к реальным условиям [1].

Минимизация функции $f(X, Y)$ осуществляется в области G , определяемой ограничениями:

$$X^{(\bullet)} \leq X \leq X^{(\bullet\bullet)}, \quad Y^{(\bullet)} \leq Y \leq Y^{(\bullet\bullet)}. \quad (8)$$

Таким образом, задана целевая, в общем случае нелинейная функция $f(X, Y)$. Требуется найти такие $\{X^*, Y^*\} \in G$, для которых справедливо

$$f(X^*, Y^*) = \min f(X, Y); \{X, Y\} \in G. \quad (9)$$

В этой формулировке $X^{(\bullet)}, X^{(\bullet\bullet)}, Y^{(\bullet)}, Y^{(\bullet\bullet)}$ определяют минимальные и максимальные значения векторов X, Y . Значения устанавливаются на основе вектора предельной погрешности Δx измерения X как

$$X^{(\bullet)} = X - \Delta x, \quad X^{(\bullet\bullet)} = X + \Delta x, \quad (10)$$

а значения $Y^{(\bullet)}, Y^{(\bullet\bullet)}$ – на основе вектора доверительных интервалов Δy :

$$Y^{(\bullet)} = Y - \Delta y, \quad Y^{(\bullet\bullet)} = Y + \Delta y. \quad (11)$$

Любая пара векторов $\{X, Y\} \in G$ является допустимой. Набор всех допустимых пар векторов образует допустимое множество решений задачи согласования энергобаланса. Допустимая пара векторов, обеспечивающая значение функции (9) меньше, чем любая другая допустимая пара векторов, считается оптимально согласованной парой векторов $\{X^*, Y^*\}$.

Однако следует заметить, что вследствие наличия ограничений на диапазон изменения величин X и Y и случайного характера распределения (нормальный закон), отклонений от истинного значения любые из допустимого множества решений являются более точными, чем множество измеряемых и вычисленных параметров.

Таким образом, согласование балансового уравнения представляет собой адаптацию информационной системы к реальному состоянию теплоэнергетического оборудования.

В самом общем случае, когда $ABS(\delta_{x,y}) > \delta_f$, согласование энергобаланса на заданном R -м режиме работы ТЭС производится в итерационном процессе:

$$f[X_R^*, Y_R^{*(\lambda)}] = \min f[X_R, Y_R^{*(\lambda-1)}], \quad \{X_R Y_R^{*(\lambda-1)}\} \in G, \quad (12)$$

который заканчивается при выполнении условия

$$f[X_R^*, Y_R^{*(\lambda)}] \leq \delta_f, \quad (13)$$

где $Y_R^{*(\lambda)}$ – λ -е приближение выходных параметров агрегатов к вектору действительных параметров ТЭУ на R -м режиме.

2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ БАЛАНСОВЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА ПРИ НАЛИЧИИ ГРАНИЧНОЙ ФУНКЦИИ

Согласование несогласованного уравнения энергетического или материального баланса осуществляется в итерационном процессе адаптации членов балансового уравнения к их истинным значениям. При достижении этого результата выполняется условие (13).

При этом принимается допущение, что истинное значение искомым величин x^* , y^* лежит в зоне вариативного поиска, которая определяется из условия (10).

Вариативный поиск истинных значений членов балансового уравнения x_i^* , y_i^* проводится путем введения в уравнение случайных значений x и y . Выбор этих значений осуществляется хаотически при помощи генератора случайных чисел:

$$f(x, y)^\lambda = ABS(\delta xy)^\lambda = Deb.R^\lambda.$$

Процесс адаптации обеспечивается граничными условиями, при которых дебаланс R^λ итерации должен быть меньше по абсолютной величине, чем дебаланс $R^{\lambda-1}$ итерации.

Алгоритм решения проблемы состоит из следующих положений.

1. Все компоненты балансового уравнения имеют одинаковую размерность и могут быть представлены в виде векторов, лежащих на одной оси (рис. 1). Это очень существенно сокращает объем зоны поиска истинных значений этих компонентов и объем расчетов при решении проблемы.

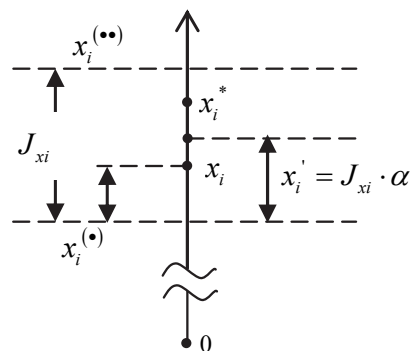


Рис. 1. Схема λ -й итерации поиска x_i^*

2. Известны измеренные, рассчитанные и принятые конвенционально (экспертно) все компоненты балансового уравнения и относительная погрешность их определения δ_x , поскольку известны инструментарий и методика измерения и может быть определен доверительный интервал разброса значений для конвенциональных величин.

Пусть

x_i^*, y_i^* – истинное значение компонентов, неизвестное нам;

x_i, y_i – измеренное или принятое значение компонента;

δ_x, δ_y – относительная погрешность определения компонента.

3. Зона поиска истинного значения компонента определяется максимальным и минимальным его отклонением от измеренного значения:

$$x_i^{(\bullet\bullet)} = (1 + \delta_x)x_i; \quad x_i^{(\bullet)} = (1 - \delta_x)x_i$$

в соответствии с общей методикой (10).

Интервал зоны поиска равен

$$J_x = [x^{(\bullet\bullet)} - x^{(\bullet)}] = 2x_i\delta_{xi}. \quad (14)$$

Введем случайный коэффициент поиска $x_i^* - \alpha_{x_i}'$, тогда новое значение измеренного компонента равно

$$x_i' = x_i^{(\bullet)} + J_{x_i}\alpha_{x_i}'; \quad \{0 \leq \alpha_x \leq 1, 0\}. \quad (15)$$

4. Такая операция выполняется для всех членов балансового уравнения

$$f(x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_j)_0 = ABS\delta(x, y)_0 = Deb_0, \quad (16)$$

и на основе полученных величин первого шага процесса итерационной адаптации случайным поиском составляется балансовое уравнение первого шага приближения:

$$f_1(x_i', y_i') = ABS\delta(x_i', y_i')_0 = Deb_1. \quad (17)$$

В уравнениях (16) и (17) подсчитанные дебалансы сравниваются между собой по модулю:

– если $Deb_1 < Deb_0$, то уравнение 1-го шага принимается за исходное и расчет продолжается по описанной схеме;

– если $Deb_1 \geq Deb_0$, то производится возвращение к исходному уравнению и выполняется расчет с новыми коэффициентами α_{x_i} и α_{y_i} .

5. Расчеты по данной схеме продолжают до тех пор, пока в результате на λ -м шаге не будет получено $Deb_R \approx 0$ или $Deb_\lambda \leq Deb_{\min}$, удовлетворяющего условию (13) точности адаптации несогласованного балансового уравнения к согласованному.

При этом все компоненты балансового уравнения будут максимально приближены к их истинным значениям.

3. ПРИМЕР СОГЛАСОВАНИЯ БАЛАНСОВОГО УРАВНЕНИЯ

Ниже приведен простой пример использования методики с целью коррекции исходной информации по энергоустановке.

Технологический преобразователь энергии (рис. 2) имеет следующие энергетические потоки:

- поток химической энергии топлива, P_1^* , кВт (вход);
- поток электрической энергии P_2^* , кВт (выход);
- поток низкопотенциальной тепловой энергии к нижнему источнику тепла P_3^* , кВт (выход).



Рис. 2. Схема энергетического преобразователя

Измеренные потоки P_1 , P_2 , P_3 отличаются от истинных значений. Оценены погрешности измеряемых величин. Все исходные данные значения задачи представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для задачи согласования баланса

P_i^* , кВт	Относительная погрешность δP_i	Абсолютная погрешность m_i , кВт	Измеренное P_i , кВт	δP_i , %
12	0,05	0,6	12,4	3,3
4	0,03	0,12	4,1	2,5
8	0,08	0,64	7,4	7,5

Необходимые вычисления проводим в соответствии с алгоритмом последовательности действий по следующей методике: определим дебаланс уравнения по измеренным значениям потоков:

$$F(x_1, x_2, x_3) = (12,4 - 4,1 - 7,4) = ABS\delta(x) = 0,9;$$

определим интервал неопределенности для $x_1(P_1)$, $x_2(P_2)$, $x_3(P_3)$:

$$J_{x_1} = 1,2; J_{x_2} = 0,24; J_{x_3} = 1,28.$$

В соответствии с формулой

$$x_i' = x_{i\min} + J_{x_i} \alpha_i'$$

рассчитаем балансовые уравнения первого шага:

для x_1' :

$$\alpha_1' = 0,9; \quad x_{1\min}' = 12,4 - 0,6 = 11,8; \quad J_{x_1}' \alpha_1' = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08;$$

$$x_1' = 11,8 + 1,08 = 12,88;$$

для x_2' :

$$\alpha_2' = 0,7; \quad x_{2\min}' = 4,1 - 0,12 = 3,98; \quad J_{x_2}' \alpha_2' = 0,24 \cdot 0,7 = 0,168;$$

$$x_2' = 3,98 + 0,168 = 4,148;$$

для x_3' :

$$\alpha_3' = 0,7; \quad x_{3\min}' = 7,4 - 0,64 = 6,76; \quad J_{x_3}' \alpha_3' = 1,28 \cdot 0,7 = 0,896;$$

$$x_3' = 6,76 + 0,896 = 7,656.$$

Баланс первого шага: $12,88 - 4,148 - 7,656 = 1,076$.

Сравнение дебаланса: $Deb_1 > Deb_0 \Rightarrow$ возврат к нулевому варианту.

Второй шаг:

$$12,4 - 0,6 = 11,8; \quad 4,1 - 0,12 = 3,98; \quad 7,4 - 0,64 = 6,76;$$

$$x_1'' = 11,8 + 1,2 \cdot 0,4 = 12,28;$$

$$x_2'' = 3,98 + 0,24 \cdot 0,3 = 4,052;$$

$$x_3'' = 6,76 + 1,28 \cdot 0,5 = 7,4.$$

Баланс:

$$12,28 - 4,052 - 7,4 = 0,828 < 0,9.$$

Переходим к третьему шагу на основе балансового уравнения второго шага.

Третий шаг:

$$12,28 - 0,6 = 11,68 \Rightarrow 11,68 + 1,2 \cdot 0,3 = 12,04;$$

$$4,052 - 0,12 = 3,932 \Rightarrow 3,932 + 0,24 \cdot 0,4 = 4,028;$$

$$7,4 - 0,64 = 6,76 \Rightarrow 6,76 + 1,28 \cdot 0,7 = 7,656;$$

$$12,04 - 4,028 - 7,656 = 0,356 < 0,828.$$

Остальные шаги тренда эволюции представлены в табл. 2.

Результаты согласования балансового уравнения:

а) дебаланс уравнения по отношению к потокам энергии

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вх}} = 12 \text{ кВт}$$

– до согласования

– после согласования

$$ABS\delta(x) = \frac{0,9}{12} = 0,075 \text{ (7,5\%);} \quad Deb = \frac{0,052}{12} = 0,00433 \text{ (0,433 \%);}$$

б) по измерениям потоков:

– до согласования

– после согласования

$$ABS\delta(x_1) = \delta P_1 = \frac{0,4}{12} = 0,033 \text{ (3,3\%);} \quad Deb_1 = \frac{12 - 11,96}{12} = 0,0033 \text{ (0,33 \%);}$$

$$ABS\delta(x_2) = \delta P_2 = \frac{0,1}{4} = 0,025 \text{ (2,5\%);} \quad Deb_2 = \frac{4 - 3,956}{4} = 0,011 \text{ (1,1 \%);}$$

$$ABS\delta(x_3) = \delta P_3 = \frac{0,6}{8} = 0,075 \text{ (7,5\%);} \quad Deb_3 = \frac{8 - 7,952}{8} = 0,006 \text{ (0,6 \%)}.$$

Таблица 2

Сводная таблица расчета тренда согласования балансового уравнения

Шаг	x_1	x_2	x_3	α_1	α_2	α_3
0	12,4	4,1	7,4	–	–	–
1	12,4	4,1	7,4	0,9	0,7	0,7
2	12,4	4,1	7,4	0,4	0,3	0,5
3	12,28	4,052	7,4	0,3	0,4	0,7
4	12,04	4,028	7,656	0,3	0,4	0,8
5	11,8	4,004	8,04	0,3	0,5	0,5
6	11,8	4,004	8,04	0,8	0,4	0,2
7	11,8	4,004	8,04	0,6	0,3	0,4

Шаг	x_1'	x_2'	x_3'	$ABS\delta(x)$	Примечание
0	–	–	–	0,9	Базовое
1	12,88	4,148	7,656	1,076	Возврат к нулевому шагу
2	12,88	4,052	7,4	$0,828 < 0,9$	Базовое
3	12,04	4,028	7,656	$0,356 < 0,828$	Базовое
4	11,8	4,004	8,04	$0,244 < 0,356$	Базовое
5	11,56	4,004	8,04	$0,484 > 0,244$	Возврат к 4-му шагу
6	12,16	3,98	7,656	$0,524 > 0,244$	Возврат к 4-му шагу
7	11,96	3,956	7,952	0,052	Удовлетворительная точность

Таким образом, результаты приведенного выше расчетного эксперимента подтверждают высказанное ранее предположение о том, что согласование балансового уравнения методом случайного поиска при наличии граничной функции «сближает» корректируемые значения компонентов балансового уравнения с их истинными значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика случайного поиска с применением граничной функции позволяет получать с хорошим результатом коррекции измеренных на функционирующем энергоагрегате входных параметров и с приближением рассчитанных величин к их истинным значениям. Теоретически с применением быстродействующих вычислительных устройств и точных программ для расчета производных величин по табличным значениям может быть получен практически точный результат диагностирования энергоагрегата в реальном темпе времени.

Методика простая, понятная и не требует большого объема подготовки к использованию в программном комплексе. Программный комплекс также несложный и легкий в использовании. Сфера применения методики достаточно обширна: контроль и управление при использовании автоматической (автоматизированной) системы энергетическим объектом как сложной системой, использование в практике научного эксперимента при пусконаладочных работах сложных энергетических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nozdrenko G.W., Owczynnikow J.W.* Jasada nierównoznaczności procesów cieplono-elektrycznych // *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Energetyka*. – 1978. – Z. 68, Nr 564. – S. 61–65.
2. *Сафронов А.В.* Применение метода согласования балансов для повышения эффективности информационно-измерительной системы при определении технико-экономических показателей ТЭЦ: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2013. – 130 с.
3. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. – М.: Прогресс, 1994. – 496 с.
4. *Овчинников Ю.В., Бойко Е.Е.* Технология получения и исследования тонкодисперсных водоугольных суспензий: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 306 с.
5. Техничко-экономические показатели новой технологии комбинированного энергоснабжения с ПГУ и трансформаторами / О.К. Григорьева, Г.В. Ноздренко, А.А. Францева, Ф.А. Серант, В.Г. Томилов, Ю.В. Овчинников // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2012. – № 1. – С. 112–115.
6. *Szargut J.* Energetyka cieplana w hutnictwie. – Katowice: Slask, 1972. – 654 s.
7. *Ноздренко Г.В., Григорьева О.К., Францева А.А.* Комбинированное теплоснабжение от ТЭЦ с газосетевыми подогревателями и трансформаторами // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2012. – Т. 19, № 3 (75). – С. 391–397.
8. *Елистратов С.Л., Накоряков В.Е.* Передовые схемные решения теплонасосных установок // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. – 2007. – № 11/12. – С. 64–75.
9. Тепловые процессы в потоках газовых смесей с малым числом Прандтля / В.Е. Накоряков, М.С. Макаров, Ю.И. Петухов, О.В. Витовский, С.Л. Елистратов. – Новосибирск: Академиздат, 2015. – 283 с.
10. *Slesareva E., Elistratov S., Ovchinnikov V.* Method experimental definition of efficiency fuelburn in a gas reactors with mini channels // *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – Vol. 72. – Art. 01103. – P. 1–4. – doi: 10.1051/mateconf/20167201103.
11. *Nozdrenko G.W., Ovchinnikov Yu.V.* Some principles of mathematical modeling of operating thermal units in power station // *2nd Int. Energ. Simp. Pol.* – Wroclaw, 1981. – P. 164–172.

12. Овчинников Ю.В. Анализ и оптимизация технико-экономических и экологических параметров ТЭС: дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1999. – 60 с.

13. Ноздренко Г.В., Кузьмина И.А., Сычева Н.Д. Распределение затрат топлива при производстве тепла и электроэнергии на ТЭЦ // Известия СО АН СССР. Серия технических наук. – 1978. – № 8, вып. 2. – С. 161–164.

14. Uzgodnianie bilansów substancjalnych w procesach spalania: zbiór zadań z gospodari ciepłej / pod red. J. Szarguta. – Gliwice: Politechnika Slanska, 1971. – Skrypt N 312. – S. 13–15, 64–77.

15. Methods of balance matching to refine the initial information as applied to thermal power plant / U.V. Ovchinnikov, G.V. Nozdrenko, A.I. Mikhaylenko, E.E. Boyko // 11 International Forum on Strategic Technology (IFOST-2016). – Novosibirsk, 2016. – Pt. 2. – P. 218–221.

16. Гром С.Р. де, Мазур П. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1964. – 308 с.

Овчинников Юрий Витальевич, доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – разработка и исследование новых видов комpositных топлив из угля. Имеет более 100 публикаций, в том числе четыре монографии и один учебник. E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

Елистратов Сергей Львович, доктор технических наук, заведующий кафедрой тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – исследование эффективности компрессионных и абсорбционных тепловых насосов с целью энерго- и ресурсосбережения. Имеет более 100 публикаций, в том числе две монографии. E-mail: elistratov.sl@yandex.ru

Францева Алина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – комбинированные системы теплоснабжения, энергосбережение. Имеет более 20 публикаций. E-mail: frantsevaalina@gmail.ru

Бойко Екатерина Евгеньевна, аспирант кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – разработка схемы сжигания ИКЖТ в энергетических котлоагрегатах. E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

Correction of initial information in the balance equations by the random search method in the presence of the boundary function*

YU.V. OVCHINNIKOV¹, S.L. ELISTRATOV², A.A. FRANTSEVA³, E.EV. BOIKO⁴

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.). E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.). E-mail: elistratov.sl@yandex.ru

³ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.). E-mail: frantsevaalina@gmail.ru

⁴ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student. E-mail: e.boyko1991@yandex.ru

The peculiarity of the functioning process of a thermal power plant (TPP) in actual practice is the uncertainty of its status for a number of reasons, such as measurement errors caused by low accuracy of control methods and data logging; narrow ranges of some parameters

* Received 29 March 2017.

changes commensurable with a metering equipment error; inertness and oscillations of indices, etc. To reduce this uncertainty, i.e. to adapt an information model to real conditions, it is necessary to develop methods of obtaining information with a minimum possible uncertainty. To fulfill this task it is possible to use the method of balance matching. Some basic methodological aspects of balance coordination in the case of adaptation of an information model to conditions of real TPP are considered. In addition, a detailed algorithm is also given. Every unit of a complex system is treated as a multivariate technological operator which qualitatively or quantitatively transforms physical material and energy technological flows. At the same time it is impossible and inexpedient to consider all input variables influencing the technological process in the unit, which results in information uncertainty. The method of iterative adaptation of the uncoordinated balance equation to real conditions by using random searching for true values of the equation components and by applying the boundary information function is proposed in the article. A step-by-step example of using the technique of the balance equation matching by the random searching method in the presence of the boundary function for the adjusted component values of the balance equation to approach their true values is also described in the article. The proposed technique allows receiving good results when the measured input parameters are corrected and the calculated values approach their true values.

Keywords: balance equation matching; new technique; uncertainty of initial information; boundary function; decrease in uncertainty; casual search; uncertainty; modeling; heat power plant

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-3-62-75

REFERENCES

1. Nozdrenko G.W., Owczynnikow J.W. Jasada nierównoznaczności procesów cieplono-elektrycznych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Energetyka*, 1978, z. 68, nr 564, pp. 61–65.
2. Safronov A.V. *Primenenie metoda soglasovaniya balansov dlya povysheniya effektivnosti informatsionno-izmeritel'noi sistemy pri opredelenii tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei TETs*. Diss. kand. tekhn. nauk [The use of the method of balancing the balance to improve the efficiency of the information and measuring system in determining the technical and economic indicators of the HPP. PhD. eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2013. 130 p.
3. Prigozhin I., Steppers I. *Vremya, khaos, kvant*. [Time, chaos, quantum]. Moscow, Progress Publ., 1994. 496 p.
4. Ovchinnikov Yu.V., Boiko E.E. *Tekhnologiya polucheniya i issledovaniya tonkodispersnykh vodo-ugol'nykh suspenzii* [Technology for obtaining and studying fine-dispersed water-coal suspensions]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2017. 306 p.
5. Grigor'eva O., Nozdrenko G., Frantseva A., Serant F., Tomilov V., Ovchinnikov Yu. Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli novoi tekhnologii kombinirovannogo energosnabzheniya s PGU i termotransformatorami [Techno-economic indicators new technology combined heat supply with steam gas plant and thermotransformer]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2012, no. 1, pp. 112–115.
6. Szargut J. *Energetyka cieplana w hutnictwie*. Katowice, Slask, 1972. 654 s.
7. Nozdrenko G.V., Grigor'eva O.K., Frantseva A.A. Kombinirovannoe teplosnabzhenie ot TETs s gazosetevymi podogrevatelyami i termotransformatorami [Combined heat supply from heat and power plants with gas-net-heaters and thermo-transformers]. *Teplofizika i aeromekhanika – Thermophysics and Aeromechanics*, 2012, vol. 19, no. 3 (75), pp. 391–397. (In Russian).
8. Elistratov S.L., Nakoryakov V.E. Peredovye skhemnye resheniya teplonasosnykh ustanovok [Advanced circuit solutions for heat pump systems]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki – Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems*, 2007, no. 11–12, pp. 64–75.
9. Nakoryakov V.E., Makarov M.S., Petukhov Yu.I., Vitovskii O.V., Elistratov S.L. *Teplovyte protsessy v potokakh gazovykh smesei s malym chislom Prandtl'a* [Thermal processes in flows of gas mixtures with a small number of Prandtl]. Novosibirsk, Akademizdat Publ., 2015. 283 p.

10. Slesareva E., Elistratov S., Ovchinnikov V. Method experimental definition of efficiency fuelburn in a gas reactors with mini channels. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 72, art. 01103, pp. 1–4. doi: 10.1051/mateconf/20167201103.
11. Nozdrenko G.W., Ovchinnikov Yu.V. Some principles of mathematical modeling of operating thermal units in power station. *2nd Int. Energ. Simp.* Pol., Wrocław, 1981, pp. 164–172.
12. Ovchinnikov Yu.V. *Analiz i optimizatsiya tekhniko-ekonomicheskikh i ekologicheskikh parametrov TES*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Analysis and optimization of technical, economic and ecological parameters of heat and power plants. Dr. eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 1999. 60 p.
13. Nozdrenko G.V., Kuz'mina I.A., Sycheva N.D. Raspredelenie zatrat topliva pri proizvodstve tepla i elektroenergii na TETs [Distribution of fuel costs for heat and power generation at heat and power plants]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR. Seriya tekhnicheskikh nauk – Proceedings of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. A series of technical sciences*, 1978, no. 8, iss. 2, pp. 161–164.
14. Szarguta J., ed. *Uzgodnianie bilansów substancjalnych w procesach spalania: zbiór zadań z gospodari cieplnej*. Gliwice, Politechnika Slanska, 1971, skrypt no. 312, pp. 13–15, 64–77.
15. Ovchinnikov Yu.V., Nozdrenko G.V., Mikhaylenko A.I., Boyko E.E. Methods of balance matching to refine the initial information as applied to thermal power plant. *11 International Forum on Strategic Technology (IFOST-2016)*, Novosibirsk, 2016, pt. 2, pp. 218–221.
16. Groot S.R. de, Mazur P. *Non-equilibrium thermodynamics*. Amsterdam, North-Holland Pub. Co., 1962 (Russ. ed.: Grot S.R. de, Mazur P. *Neravnovesnaya termodinamika*. Moscow, Mir Publ., 1964. 308 p.).