

УДК 621.311

П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, Ф.А. Серант, В.Г. Томилов, А.В. Сафронов, С.В. Зыков

Критерий эффективности при эксергетической оптимизации функционирования энергопреобразования

Обосновывается применение эксергетического КПД ТЭЦ как функции цели при оптимальном распределении нагрузки. Показано, что эксергетический КПД ТЭЦ термодинамически строго оценивает эффективность оптимизации режимов ТЭЦ. Для примера приведена оптимизация режимов ТЭЦ 330 с энергоблоками Т110/120 и Т180/210 с электрической нагрузки 271,6 МВт и теплоэксергетической 79,5 МВт при этом эксергетический КПД ТЭЦ составил 0,381.

Ключевые слова: оптимизация режимов ТЭЦ, эксергетический КПД, методика оптимизации.

Теплофикационные энергоблоки являются многоцелевыми, поэтому критерий эффективности при оптимизации функционирования ТЭЦ формируется на базе эксергетической методологии [1]. Суть ее в следующем.

Во-первых, это – представление энергоблока в виде эксергетической структурной схемы (рис. 1) функционирующих частей (парогенератора со всеми вспомогательными системами; ЧВД и ЧСНД турбины; электрического оборудования; технического водоснабжения и регенерации; системы отпуска теплоэксергии потребителю). Во-вторых – математическое описание (моделирование) функционирования и использование этой модели при расчетах в вычислительном комплексе, имитирующем работу энергоблока. В-третьих – оптимизация параметров функционирования по условиям действия ограничивающих факторов. В-четвертых – определение и анализ эксергетических показателей и критериев эффективности в сравниваемых вариантах.

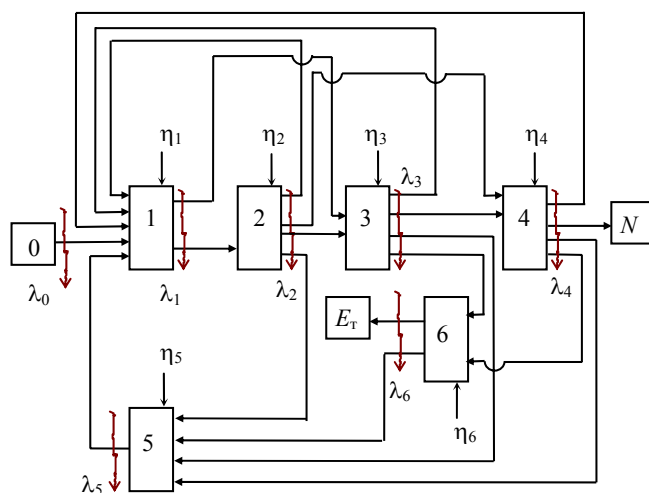


Рис. 1. Эксергетическая структурная схема энергоблока: N, T – потребители электроэнергии N и теплоэксергии E_T

Эксергетическая эффективность функционирующей части определяется как

$$\eta_i = \frac{E_i^y}{E_i^x}, \quad (1)$$

где $E_i^x = \sum_{k \in V(i)} E_{ki}^x$ – подводимая эксергия; E_{ki}^x – эксергия, подводимая к функционирующей части с k -м энергоносителем по k -му каналу связи; $E_i^y = \sum_{j \in W(i)} E_{ij}^y$ – эксергетическая производительность

функционирующей части; E_{ij}^y – эксергия, отводимая с j -м энергоносителем по j -му каналу связи.

Эксергетические КПД по отпуску:

– электроэнергии:

$$\eta_{4N} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \varepsilon_S \varepsilon_N; \quad (2)$$

– теплоэксергии:

$$\eta_{6T} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_6 \varepsilon_S \varepsilon_N. \quad (3)$$

В этих выражениях ε_S – это структурный коэффициент эксергетических связей, учитывающий взаимосвязи между функционирующими частями энергоблока, а также внешние системные связи:

$$\varepsilon_S = F_{01}^{-1} \cdot \left[1 - \eta_1^{-1} \sum \prod F_{ij} \eta_i^{-1} \right].$$

Эксергетический коэффициент внутрициклового возврата потерь теплоты в турбоагрегате:

$$\varepsilon_N = \left(\eta_2 \eta_3 \sum_{i=2,3} i_4 \eta_i^{-1} \right)^{-1}.$$

Интегральный эксергетический КПД энергоблока

$$\eta_e = \frac{\eta_N N + \eta_T E_T}{N + E_T}. \quad (4)$$

Эксергетический КПД ТЭЦ как критерий эффективности при оптимизации функционирования ТЭЦ:

$$\tilde{\eta}_Z = \frac{\sum \eta_e (N + E_T)}{\sum (N + E_T)}. \quad (5)$$

Оптимизатор представлен как:

$$\left\{ \min_{x \in R^n} \left[\tilde{\eta}_Z(x) \right]^{-1} \left[\bar{\varphi}_u(\omega) = 0, u \in U \right] \right\}, \quad (6)$$

где $\bar{\varphi}_u(\omega)$ – вероятностный логико-числовой оператор функциональных отношений; U – множество логико-числовых операторов; $\omega = (x, \Gamma, G, R^n, L)$ – информационная структура; Γ – множество энергоблоков; L – множество логических управляющих параметров; G – множество внешних связей и исходных данных; x – электрические и теплоэксергетические нагрузки энергоблоков.

Минимум функции (6) находится методом случайного направленного поиска с учетом ограничений и условий:

– допустимая область пространства R^n замкнута;

– функция $\tilde{\eta}_Z(x)$ является непрерывной и дифференцируемой в допустимой области; допустимая область в пространстве R^n не пуста и содержит такие значения x (с учетом технических ограничений), при которых выполняются уравнения балансов:

– энергетического:

$$\sum_{k \in V(i)} \left(\eta \cdot M^x \cdot h \right)_{ki} - \sum_{j \in W(i)} \left(\eta \cdot M^y \cdot h \right)_{ij} = 0; \quad (7)$$

– материального:

$$\sum_{k \in V(i)} M_{ki}^x - \sum_{j \in W(i)} M_{ij}^y = 0; \quad (8)$$

– эксергетического:

$$\sum_{k \in V(i)} E_{ki}^x - \sum_{j \in W(i)} E_{ij}^y \cdot \eta_i^{-1} = 0. \quad (9)$$

Здесь M , h – расход и энтальпия энергоносителя; η – коэффициент, учитывающий соответствующие потери энергии (или эксергии).

Процедура расчетов следующая. В качестве начальной точки отсчета (X_0) задаются нагрузки энергоблоков. В окрестностях точки определяется одно или несколько значений функции $[\tilde{\eta}_Z(x)]^{-1}$, на основании которых вычисляется новая точка X_1 . Далее процесс повторяется.

Направления изменения компонентов X задаются случайными, все направления равновероятны, а движение к экстремуму осуществляется только тогда, когда результат данного случайного движения приводит к уменьшению функции цели. Используются результаты каждого случайного шага поиска оптимальной точки для определения направления изменения оптимизируемых параметров на каждом следующем шаге. Причем движение в приграничной области параметров не требует учета штрафных функций.

Вычисляется приращение

$$\Delta \tilde{\eta}_Z^{-1}(X_\mu) = \tilde{\eta}_Z^{-1}(X_{\mu+1}) - \tilde{\eta}_Z^{-1}(X_\mu),$$

где $X_{\mu+1} = X_\mu + \rho \xi_\mu$; ξ_μ – множество случайных испытаний на μ -м шаге; ρ – случайный шаг.

Направление удачных испытаний запоминается, в результате чего вероятность случайного шага в этих направлениях возрастает. Используется вектор памяти:

$$W_{\mu+1} = \lambda_\mu W_\mu - \delta (\Delta \tilde{\eta}_Z^{-1}(X_\mu)) \Delta X_\mu,$$

где $\lambda_\mu < 1$ – параметр запоминания; δ – параметр, характеризующий скорость обучения; $\Delta X_\mu = X_{\mu+1} - X_\mu$.

Для примера приведены результаты распределения нагрузки: электрической 271,6 МВт, теплоэнергетической 79,5 МВт на ТЭЦ-330 с энергоблоками Т-110/120 и Т-180/210 при температуре окружающего воздуха $-9,5$ °С, коэффициенте теплофикации 0,5 и нормативном температурном графике. Начальные параметры Т-110/120: 127,5 бар, 566 °С, температура питательной воды 189 °С, Т-180/210: 128 бар, 540 °С, температура питательной воды 232 °С. Интегральные эксергетические КПД энергоблоков при распределенных электрической и теплоэнергетической нагрузках составили, соответственно, для Т-110/120: 0,39; 100,9; 37 МВт, для Т-180/210: 0,376; 170,7; 42,5 МВт, а эксергетический КПД ТЭЦ как критерий эффективности при оптимизации функционирования ТЭЦ 0,381.

Выводы

1. Обоснован эксергетический КПД ТЭЦ как критерий эффективности при оптимизации функционирования ТЭЦ.
2. Приведены значения распределенных электрической и теплоэнергетической нагрузок при оптимизации функционирования ТЭЦ-330 по эксергетическому КПД.

Литература

1. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.Г. Томиллов и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 528 с.

Щинников Павел Александрович

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. тепловых электрических станций
Новосибирского государственного технического университета (НГТУ)
Тел.: (383-3) 46-11-42
Эл. почта: tes.nstu@gmail.com

Ноздренко Геннадий Васильевич

Д-р техн. наук, профессор каф. тепловых электрических станций НГТУ
Тел.: (383-3) 46-11-42
Эл. почта: tes.nstu@gmail.com

Серант Феликс Анатольевич

Д-р техн. наук, генеральный директор ЗАО «ЗИО-КОТЭС»
Тел.: (383-3) 44-41-21
Эл. почта: info@cotes-group.info

Томилов Виталий Георгиевич

Д-р техн. наук, профессор каф. тепловых электрических станций НГТУ

Тел.: (383-3) 46-11-42

Эл. почта: tes.nstu@gmail.com

Сафронов Антон Валерьевич

Аспирант каф. тепловых электрических станций НГТУ

Тел.: (383-3) 46-11-42

Эл. почта: tes.nstu@gmail.com

Зыков Сергей Владимирович

Бакалавр каф. тепловых электрических станций НГТУ

Тел.: (383-3) 46-11-42

Эл. почта: tes.nstu@gmail.com

Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Serant F.A., Tomilov V.G., Safronov A.V., Zikov S.V.

Justification for exergy efficiency criterion optimization of thermal power station

In the article the use of energetic efficiency TPS as the objective function at the optimal load distribution. It is shown that the exergy efficiency of TPS thermodynamically strictly evaluates the effectiveness of optimization of TPS. For an example, the optimization of TPS 330 with power T110/120 and T180/210 with electrical load 271.6 MW and 79.5 MW exergy heat load efficiency of TPS was.

Key words: optimization of thermal power station, exergy efficiency, optimization technique.