

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЭС В ПУСКООСТАНОВОЧНЫХ РЕЖИМАХ

Докт. техн. наук, проф. БУБНОВ В. П., асп. ЗЕЛЕНУХО Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Изменения структуры потребления электроэнергии, организации производства на предприятиях и условий технологического процесса приводят к значительному увеличению неравномерности графиков нагрузок в энергосистеме, что существенно влияет на режим работы электростанций и входящего в их состав генерирующего оборудования.

Регулирование графика нагрузок осуществляется путем работы ТЭС в переменном, нестационарном режиме, обусловленном переводом из активного состояния в пассивное (с нулевой нагрузкой при любом тепловом состоянии) и обратно или набором (сбросом) нагрузки до разных значений с различной скоростью. К таким режимам работы ТЭС относится пускоостановочный.

В процессе пуска-останова резко изменяются экономические, экологические, прочностные характеристики работы оборудования ТЭС. Следовательно, при выборе графика нагрузки или разгрузки электро- и теплоснабжения необходимо учитывать все три фактора. Сегодня все большее внимание уделяется фактору экологичности источника энергоснабжения. Однако фактор экологичности требует дополнительных затрат, связанных с совершенствованием технологического процесса и надежностью работы оборудования. Следовательно, для обоснованного выбора типа энергоисточника необходим комплексный подход при проведении исследований, учитывающий все факторы работы энергоустановки. Методической основой комплексного подхода решения поставленной задачи является системный анализ. В наших исследованиях системой являются тепловая электростанция и окружающая среда.

Данной теме посвящено большое количество работ (например, [1]), поэтому основное внимание мы уделим режимам пуска-останова (работа ТЭС на переменных и стационарных режимах рассматривается в [2, 3]).

Значение показателей деятельности энергосистемы, как правило, зависит от большого количества внешних и внутренних факторов. В наших исследованиях эти факторы группируются в три основные группы: технико-экономические, экологические и факторы надежности работы оборудования ТЭС. Технико-экономические определяются расходом топлива и структурной схемой ТЭС, а экологические – ущербом, наносимым работой ТЭС окружающей среде. Факторы надежности определяют ресурс работы оборудования, а следовательно, и всей станции в целом. Необходимо найти оптимальное решение, учитывающее указанные выше факторы.

Изучение пускоостановочного режима работы ТЭС в условиях резкопеременного графика нагрузки энергосистем имеет большое экономическое значение. Наиболее длительными и затратными операциями в пускоостановочном режиме являются пуск котла и нагружение энергоблока.

Многочисленные исследования, касающиеся работы ТЭС в режимах пуска и останова, как правило, базируются на поиске минимальных затрат условного топлива или стоимости топлива. Однако в связи с обострением экологической ситуации важное значение имеет учет фактора воздействия на окружающую среду при работе ТЭС в режимах пуска и останова. Кроме того, на постсоветском пространстве, как правило, износ оборудования энергоисточ-

ников составляет 80...90 %. Поэтому вопрос надежности работы оборудования становится одним из основных при обеспечении надежной работы ТЭС.

Определение потерь топлива на пуск производится путем разделения пуска на отдельные этапы. В общем виде полный расход теплоты на пуск энергоблока можно записать следующим образом [4]:

$$Q = Q_{\tau} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{с.н}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{с.н}} = \mathcal{E}_{\text{с.н}} q_{\text{с.н}}$; Q_{τ} – теплота топлива, расходуемого на пуск энергоблока; $Q_{\text{п}}$ – теплота пара стороннего источника, расходуемого на собственные нужды во время пуска энергоблока; $\mathcal{E}_{\text{с.н}}$ – потребляемая электроэнергия электродвигателями собственных нужд энергоблока во время пуска до перехода на рабочий трансформатор; $q_{\text{с.н}}$ – удельный расход теплоты (нетто) установки, которая обеспечивает собственные нужды пускаемого энергоблока.

Теплота топлива, сжигаемого за период пуска, определяется как

$$Q_{\text{т}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{т}}^{(i)} = \sum_{i=1}^{n-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_1(\tau) d\tau, \quad (2)$$

а теплота пара стороннего источника

$$Q_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{п}}^{(i)} \sum_{j=0}^{n-1} \int_{t_j}^{t_{j+1}} Q_2(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $Q_1(\tau) d\tau = B Q_{\text{н}}^{\text{р}}$; $B = f(\tau)$; $Q_2(\tau) d\tau = D_{\text{с.п}} h_{\text{с.п}} \varphi_{\text{с.п}}$; $D_{\text{с.п}} = f(\tau)$; $D_{\text{с.п}}$ и $h_{\text{с.п}}$ – расход и энтальпия стороннего пара соответственно; $q_{\text{с.п}}$ – удельный расход теплоты на производство пара; φ – коэффициент ценности теплоты; n – количество этапов при пуске энергоблока.

Теплота, эквивалентная потребляемой электроэнергии электродвигателями энергоблока:

$$Q_{\text{с.н}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{с.н}} \mathcal{E}_{\text{с.н}}^{(i)} = \sum_{i=0}^{n-1} q_{\text{с.н}} \int_{t_i}^{t_{i+1}} W_{\text{с.н}}(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где $W_{\text{с.н}}(\tau) d\tau = \mathcal{E}_{\text{с.н}} q_{\text{с.н}}$; $\mathcal{E}_{\text{с.н}} = f(\tau)$.

В пускоостановочных режимах имеются также потери теплоты при разгрузке энергоблока, простое и стабилизации режима.

В период разгрузки энергоблока потери теплоты можно определить следующим образом:

$$\Delta Q_{\text{разг}} = \int_0^{\tau_{\text{разг}}} Q_{\text{разг}}(\tau) d\tau - q_{\text{н}} \int_0^{\tau_{\text{разг}}} W_{\text{разг}}(\tau) d\tau, \quad (5)$$

где $Q_{\text{разг}}(\tau) d\tau = B_{\text{разг}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}$; $B_{\text{разг}} = f(\tau)$; $W_{\text{разг}}$ – текущие значения мощности энергоблока.

В период простоя энергоблока (в зависимости от длительности периода) может работать часть механизмов собственных нужд.

Расход теплоты при этом составляет

$$Q_{\text{пр}} = q_{\text{с.н}} \mathcal{E}_{\text{пр}}, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ – расход электроэнергии, потребляемой электродвигателями собственных нужд.

Потери теплоты при стабилизации режима работы энергоблока после нагружения его до номинального значения можно определить следующим образом:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \int_0^{\tau_{\text{ст}}} Q_{\text{ст}}(\tau) d\tau - q_{\text{ном}} W_{\text{ном}} \tau_{\text{ст}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{ст}}(\tau) d\tau = B_{\text{ст}} Q_{\text{ном}}^{\text{р}}$; $B_{\text{ст}} = f(\tau)$; $B_{\text{ст}}$, $W_{\text{ном}}$ – расход топлива на котел в период стабилизации режима работы энергоблока и его номинальная мощность соответственно.

Переход к рыночной экономике предъявляет и свои требования к обеспечению энергией потребителя, что во многом определяется надежностью работы энергоисточника. Работа оборудования в условиях частых пусков и остановов приводит к его повышенному износу. Поэтому при исследовании работы ТЭС на режимах пуска и останова важным является учет показателей надежности работы оборудования. Эксплуатационная надежность оборудования характеризуется следующими показателями: средней нагрузкой, коэффициентами готовности оборудования, использования установленной мощности, продолжительности ремонтов и др. Одним из показателей надежной работы ТЭС является норматив надежности N в виде вероятности обеспечения покрытия энергией потребителя. В странах с развитой рыночной экономикой он равен: США, Канада – 0,9997; Италия, Ирландия – 0,9995; Япония – 0,9992. Предполагается, что для Республики Беларусь к 2010 г. он достигнет 0,9991. Оптимальная надежность ТЭС определяется таким ее уровнем, дальнейшее поддержание которого экономически нецелесообразно при технических требованиях к состоянию оборудования на момент оптимизации.

Для обоснования приемлемого уровня надежности в работе [5] рекомендуется следующая зависимость:

$$\max \mathcal{E}_{\text{инт}}(H) = \max \sum_{t=0}^{T_p-1} [P_t(H) - Z_t(H)] \frac{1}{1+E}, \quad (8)$$

где $\mathcal{E}_{\text{инт}}(H)$ – чистый дисконтированный доход; H – надежность отпуска энергии; E – норма дисконта; T_p – расчетный период; $P_t(H)$ – результаты, достигнутые на t -м шаге расчета; $Z_t(H)$ – затраты, инвестируемые на t -м шаге расчета; $P_t(H) - Z_t(H) = \mathcal{E}_t(H)$ – эффект, достигаемый на t -м шаге.

Максимальное значение $\mathcal{E}_{\text{инт}}(H)$ соответствует оптимальному значению надежности отпуска энергии. Как следует из (8), одним из основных факторов надежности являются затраты, т. е. экономические затраты, которые во многом определяются техническими характеристиками ТЭС.

В последнее время в энергетике Республики Беларусь ежегодно сжигается порядка 12 млн т у. т. В структуре топливного баланса природный газ превышает 80 %, остальное – сернистый мазут, попутный газ и др. Вредными веществами, входящими в продукты сгорания природного газа и мазута и поступающими в атмосферу, являются оксиды азота (NO , NO_2 , N_2O и др.), оксиды серы (SO_2 , SO_3), оксиды углерода (CO , CO_2), продукты неполного сгорания, среди которых ряд канцерогенных. Суммарные ежегодные выбросы токсичных веществ составляют порядка 100 тыс. т, в том числе окислов серы – 60 тыс. т, оксидов азота – 30...32 тыс. т, оксида углерода – 5 тыс. т.

Экономическая оценка ущерба, причиняемого годовыми выбросами загрязнений в атмосферный воздух, определяется по следующей формуле:

$$Y_{\text{атм}}(t) = \gamma_i \sigma f M, \quad (9)$$

где $Y_{\text{атм}}$ – оценка ущерба, руб/год; γ_i – денежная оценка единицы выбросов, руб/у. т; σ – коэффициент, зависящий от типа загрязняемой территории; f – коэффициент, учитывающий характер рассеивания примесей в атмосфере; M – приведенная масса годового выброса загрязнений из источника, у. т/год; $M = \sum_{i=1}^n A_i m_i$; A_i – показатель относительной агрессивности при-

меси i -го вида, у. т/т; m_i – масса годового выброса примеси i -го вида в атмосферу, т/год.

Как следует из (9), не учитываются технико-экономические показатели работы ТЭС, что не позволяет оценить экологическую эффективность работы ТЭС на различных режимах.

Одним из возможных способов постановки данной задачи является поиск решения многокритериальной функции оптимизации

$$P(x_i, x_j, x_k) = P_1(x_i) + P_2(x_j) + P_3(x_k) \rightarrow \min, \quad (10)$$

где P_1 , P_2 , P_3 – критерии оптимальности по технико-экономическим показателям (затраты теплоты, топлива или их стоимость), по экологическому фактору (ущерб, причиняемый выбросами загрязняющих веществ в атмосферу) и по показателям надежности (затраты, обеспечивающие заданную надежность электро- и теплоснабжения). Суть оптимизации заключается в поиске оптимума функции P при известных x_i .

ВЫВОДЫ

1. Для выбора оптимального пускоостановочного режима ТЭС необходимо учитывать технико-экономические, экологические и факторы надежности работы оборудования ТЭС.

2. За критерий оптимальности по технико-экономическим показателям принимаются затраты теплоты, топлива или их стоимость; по экологическому фактору – ущерб, причиняемый выбросами загрязняющих веществ в атмосферу; по показателям надежности – затраты, обеспечивающие заданную надежность электро- и теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карницкий Н. Б. Синтез надежности и экономичности теплоснабжающего оборудования ТЭС. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 227 с.
2. Влияние режимов работы оборудования ТЭС на экологическое загрязнение среды / В. В. Кудрявый, И. Т. Горюнов // Вестник МЭИ. – 1997. – № 1. – С. 5–7.
3. Оптимизация режимов оборудования ТЭС с учетом экологических ограничений / Э. К. Аракелян, В. И. Кормилицын, В. Н. Самаренко // Теплоснабженность. – 1992. – № 2. – С. 29–33.
4. Прокопенко А. Г., Мысак И. С. Стационарные, переменные и пусковые режимы энергоблоков ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 317 с.
5. Попырин Л. С. Методы обоснования надежности тепловых электростанций // Вестник электроэнергетики. – 1997. – № 1. – С. 28–39.