

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО, ЭКОНОМИЧЕСКИ ДОПУСТИМОГО РАССТОЯНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ АЭС

При выполнении работ перспективного характера, например определения технико-экономической целесообразности использования конкретных АЭС для теплоснабжения, возникает необходимость выполнения обосновывающих расчетов. Одним из основных параметров, ограничивающих теплоснабжение от АЭС, является расстояние до потребителей тепла — длина транзитного теплопровода от станции до одного из пиковых источников тепла в городе.

В качестве альтернативного варианта рассматривается раздельная схема теплоснабжения с котельными на органическом топливе. Предполагается, что при наличии нескольких пиковых котельных они связаны между собой теплопроводами.

Искомый параметр можно найти методом уравнивания приведенных затрат в систему теплоснабжения с АЭС в качестве базового теплоисточника и затрат в раздельную схему теплоснабжения с котельными на органическом топливе. Основными исходными данными для расчетов приняты следующие: установленная конденсационная электрическая мощность АЭС или ее отдельных блоков, используемых для теплоснабжения  $N_{\text{АЭС}}^{\text{К}}$ , МВт; тепловая нагрузка системы теплоснабжения  $q_{\text{сцт}}$ , МВт; расчетная температура подогрева воды на АЭС  $t_1^{\text{р}}$ ; коэффициент теплофикации  $a_{\text{АЭС}}$ ; доля нагрузки горячего водоснабжения в суммарной нагрузке  $\varphi^{\text{и}}$  и в отопительной нагрузке  $\varphi$ .

В качестве математических выражений приведенных затрат в транзитный теплопровод  $z^{\text{ТР}}$  (на 1 км), в котельные районные  $z^{\text{РК}}$ , пиковые  $z^{\text{ПК}}$  и другие составляющие затраты можно использовать формулы работы [1], нормативные материалы проектных организаций. С целью учета конфигурации графика тепловой нагрузки по продолжительности используется известное аналитическое выражение для определения годового коэффициента теплофикации  $a_{\text{ДХ}}^{\text{год}}$  от их максимально-часовых значений [2]. Однако ряд зависимостей, в частности, связь электрической мощности турбины от параметров теплофикационных отборов имеет достаточно сложный характер. С целью преодоления указанных затруднений были получены аппроксимационные формулы, позволяющие представить некоторые зависимости в достаточно простой аналитической форме.

При разработке аналитической зависимости для расчета затрат на компенсацию недовыработки электроэнергии были приняты следующие предположения и допущения:

- равномерное распределение тепловой нагрузки по всем энергоблокам (или турбинам) АЭС, используемым для теплоснабжения;
- рассматривается двухтрубный транспорт теплоты от АЭС и система теплоснабжения с закрытой схемой горячего водоснабжения;

— недовыработка электроэнергии определяется по среднеотопительному и среднелетнему режимам;

— электрическая мощность турбин АЭС рассчитывается как функция температуры сетевой воды в подающем трубопроводе и тепловой нагрузки по полученным аппроксимационным формулам;

— в качестве замещающей станции рассматриваются варианты: I — КЭС с блоками на органическом топливе; II — новая АЭС с учетом уменьшения расхода органического топлива на КЭС, разгружаемым по мере увеличения электрической мощности АЭС в неотопительный период.

Зависимость изменения электрической мощности от тепловой нагрузки  $q_{\text{АЭС}}^I$  и температуры подогрева сетевой воды, например по результатам расчета тепловых схем турбины К-500-65/3000 с нерегулируемыми отборами тепла, может быть аппроксимирована формулой

$$\Delta N_{\text{АЭС}}^I = \begin{cases} 0,387 \cdot q_{\text{АЭС}}^T \cdot t_1^{0,307} & \text{для } t_1 > 110 \text{ }^\circ\text{C}; \\ 0,000129 q_{\text{АЭС}}^T \cdot t_1^{1,52} & \text{для } t_1 \leq 110 \text{ }^\circ\text{C}. \end{cases}$$

При этом необходимо иметь в виду, что тепловая нагрузка турбины для заданной температуры подогрева сетевой воды в транзитном теплопроводе не может превышать технически возможной для данного варианта реконструкции турбины.

Количество замещаемой электроэнергии определяется по средним нагрузкам отборов за отопительный и неотопительный периоды. Величины удельных замыкающих затрат на электроэнергию в зависимости от способа учета компенсации недовыработки электроэнергии можно записать

$$z_{\text{ЭЭ}}^I = z_{\text{ЭЭ}}^{\text{б}} - 8 \left( 1 - \frac{\tau_{\text{АЭС}}}{\tau} \right);$$

$$z_{\text{ЭЭ}}^{\text{II}} = z_{\text{ЭЭ}}^{\text{б}} \cdot \frac{\tau_{\text{АЭС}}}{\tau} - b_{\text{КЭС}} \cdot z_{\text{от}} \cdot \frac{\tau_{\text{АЭС}} - \tau_{\text{АЭС}}^T}{\tau_{\text{АЭС}}},$$

где  $\tau_{\text{АЭС}}$  — годовое число часов использования установленной мощности базовой конденсационной АЭС равное не менее 6500, ч/год;  $z_{\text{ЭЭ}}^{\text{б}}$  — замыкающие затраты на электроэнергию базовой АЭС, руб/МВт·ч;  $b_{\text{КЭС}}$  — удельный расход условного органического топлива на разгружаемых КЭС, кг/МВт·ч;  $\tau_{\text{АЭС}}^T$  — число часов использования установленной мощности АЭС при эксплуатации ее для теплоснабжения, определяемое по годовой недовыработке электроэнергии и максимальному снижению электрической мощности.

Температуры сетевой воды в среднелетнем режиме в подающем  $t_{1\text{ср.л}}$  и обратном  $t_2$  трубопроводах транзитной тепломагистрали в зависимости от фиктивной температуры  $t_1^{\Phi}$  аппроксимированы по среднестатистическим данным.

Диаметр  $d_{пр}$  и число подающих транзитных трубопроводов  $g$  выбирается с учетом резервирования, допустимое аварийное снижение тепловой нагрузки — 70 %. Удельные приведенные затраты в транзитный теплопровод определяются с учетом аппроксимированной зависимости величины удельных потерь от температуры. Пренебрегая малыми величинами, упрощается выражение для приведенных затрат в котельные на органическом топливе.

На основе усреднения результатов расчета эколого-экономического эффекта от использования АЭС для теплоснабжения  $Z_{ЭК}$  и с учетом показателей вредности топлива и продуктов сгорания можно записать

$$Z_{ЭК} = 1,9 a_{АЭС}^{год} \cdot Q_{сцт} \cdot T_{К},$$

где  $Q_{сцт}$  — годовой расход тепла на теплоснабжение, МВт·ч;  $T_{К}$  — коэффициент, характеризующий относительную степень экологического воздействия различных типов котельных от сжигания органического топлива [3].

В результате получено аналитическое выражение для определения предельного экономически допустимого расстояния транспорта теплоты от АЭС

$$\begin{aligned} L_{пр} = & \left\{ [p_{н} \cdot k_{рк}^{уд} + p_{об} (p_{на}^к \cdot k_{рк}^{уд})] \cdot q_{сцт} + Q_{сцт} \cdot b_{ок} \cdot z_{от} + \right. \\ & + 1,9 a_{АЭС}^{год} \cdot Q_{сцт} \cdot T_{К} - [\Delta N_{АЭС}^{ср.0} \cdot \tau_{оп} + \Delta N_{АЭС}^{ср.л} (8400 - \tau_{оп})] \times \\ & \times 10^{-3} z_{ээ} (\tau_{АЭС}^т) - \frac{205 a_{АЭС} q_{сцт}}{t_1^p - t_2} - \frac{753 \cdot 10^{-3}}{t_1^p - t_2} \cdot a_{АЭС}^{год} \cdot Q_{сцт} \cdot z_{ээ}^6 - \\ & - (1 - a_{АЭС}) \cdot q_{сцт} [p_{н} \cdot k_{пр}^{уд} + p_{об} (p_{на}^к \cdot k_{пк}^{уд})] - (1 - a_{АЭС}^{год}) \times \\ & \left. \times Q_{сцт} \cdot b_{ок} \cdot z_{от} \right\} \cdot \left\{ 0,2 (g \cdot k_{стр} + r \cdot k_{стр}^0) + 2,754 \frac{q_{сцт}^3 \cdot a_{АЭС}^3}{(t_1 - t_2)^3} \cdot 10^{-3} z_{ээ}^6 \times \right. \\ & \times \left( \frac{1}{d_{пр}^{5,25} \cdot g^2} + \frac{1}{d_{обр}^{5,25} \cdot r^2} \right) + \left\{ g \cdot d_{пр} [1,2 (t_1^p + t_{1ф}^{0,44} + 70) + 69] + \right. \\ & \left. \left. + r \cdot d_{обр} \cdot [1,2 \cdot (t_2^p + 47 - t_{1ф}^{0,528}) + 69] \right\} \cdot 10^{-3} z_{от} \right\}, \end{aligned}$$

где  $p_{н}$  — нормативный коэффициент эффективности капвложений;  $p_{об}$ ,  $p_{на}^к$  — коэффициенты, учитывающие общестанционные издержки, отчисления на амортизацию и текущий ремонт;  $\tau_{оп}$  — длительность отопительного периода, ч/год;  $k_{рк}$ ,  $k_{рк}^к$  — удельные капиталовложения в котельные на органическом топливе, тыс.руб./МВт (т);  $b_{ок}$  — удельный расход условного органического топлива на котельных, кг/МВт·ч;  $k_{стр}$  — удельные капиталовложения на строительство подающих трубопроводов (с индексом "0" — обратных), тыс.руб./км;  $d_{обр}$ ,  $r$  — диаметр (м) и число обратных трубопроводов.

Погрешность расчетов по полученному выражению по сравнению с результатами расчетов на ЭВМ составляет 12–30 %. Введением понижающего коэффициента 0,79 можно уточнить формулу, а ее погрешность составит примерно  $\pm 9\%$ .

Таким образом, разработанная аналитическая методика определения экономически допустимого расстояния теплоснабжения может быть использована при выполнении расчетов по определению технико-экономической целесообразности использования АЭС для теплоснабжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. — М.: Энергия, 1975. — 376 с.
2. Соколов Е.Я., Сазонов Б.В., Иванов Г.В. Оптимизация режимов совместной работы теплофикационных турбин типа Т и ПТ. — Теплоэнергетика, 1975, № 12, с. 12—16.
3. Энергетика и охрана окружающей среды./Под ред. Н.Г. Залогина, Л. И. Кроппа, Ю.М. Кострикина. — М.: Энергия, 1979, с. 89.