

## Теплофикация и способы оценки ее эффективности

Под термином «*теплофикация*» понимается энергоснабжение на базе комбинированной, т.е. совместной, выработки электрической и тепловой энергии в одной установке. В комбинированной выработке заключается основное отличие теплофикации от так называемого отдельного метода энергоснабжения, при котором электрическая энергия вырабатывается на конденсационных тепловых электростанциях (КЭС), а тепловая - в котельных.

Основной энергетический эффект теплофикации заключается в замене теплоты, вырабатываемой при отдельной схеме энергоснабжения в котельных, отработавшей теплотой, отведенной из теплосилового цикла электростанции, благодаря чему на тепловой электростанции (ТЭС) ликвидируется бесполезный отвод теплоты в окружающую среду при превращении химической, а на атомной электростанции (АЭС) - внутриядерной энергии топлива в электрическую. Теплофикация заметно улучшает использование топлива на тепловых электростанциях вследствие объединения процесса выработки электрической энергии с получением теплоты для централизованного теплоснабжения и приводит к удешевлению теплоснабжения благодаря правильной организации режима теплопотребления и значительному сокращению обслуживающего персонала.

При теплофикации реализуются два основных принципа рационального энергоснабжения:

- 1) комбинированное (совместное) производство тепловой и электрической энергии, осуществляемое на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ);
- 2) централизация теплоснабжения, т.е. подача теплоты от одного или нескольких источников, работающих на одну тепловую сеть, многочисленным тепловым потребителям.

Возникновение идеи теплофикации [1] относится к 80-м годам XIX века. В 1877 году в г. Локпорте (США) была сооружена первая установка для централизованного теплоснабжения. Первые районные теплофикационные установки в Европе возникли в начале XX в (1900 год, Германия, г. Дрезден).

Днем рождения российской теплофикации и централизованного теплоснабжения считается 25 ноября 1924 г. В этот день в Ленинграде был введен в строй первый теплопровод общего пользования, сооруженный по проекту и под руководством инженера Л. Л. Гинтера и профессора В.В. Дмитриева.

Классически энергетическая эффективность теплофикации оценивается по экономии топлива  $\Delta B$ , получаемой при удовлетворении от ТЭЦ заданного энергопотребления (электрической и тепловой энергии) определенного круга потребителей или района в целом, по сравнению с расходом топлива при раздельном методе удовлетворения этих же нагрузок, т.е. при выработке электрической энергии на конденсационных электрических станциях (КЭС) и теплоты в котельных:

$$\Delta B = B_p - B_T,$$

где  $B$  - расход топлива при раздельной выработке электрической энергии и теплоты;

$B_m$  - то же при теплофикации.

Данный метод подробно расписан в литературе [1].

Другой возможный метод оценки эффективности теплофикации с помощью так называемого *коэффициента использования теплоты топлива*:

$$\eta_{и} = \frac{(Q+\mathcal{E})}{(B \cdot Q_H^p)},$$

где  $Q$  - количество отпущенной теплоты;  $\mathcal{E}$  - количество отпущенной электроэнергии;  $B$  - расход топлива;  $Q_H^p$  - низшая удельная теплота сгорания топлива.

Также оценка энергетической эффективности теплофикации может быть выполнена по эксергетическому КПД ТЭЦ:

$$\eta_{\text{ЭКС}} = \frac{(w \cdot Q + \mathcal{E})}{(E_{\text{топл}})},$$

где  $w$  - коэффициент работоспособности теплоты;  $E_{\text{топл}}$  - эксергия сожженного топлива.

Тепловая экономичность ТЭЦ, а соответственно и теплофикации может характеризоваться такими показателями:

- 1) Удельной комбинированной выработкой электроэнергии  $\bar{\varepsilon}_T$ ;
- 2) Удельным расходом топлива на выработку электрической энергии по конденсационному циклу  $b_{TK}^{\varepsilon}$ .

Оба эти показателя зависят в первую очередь от отношения температуры отвода теплоты из цикла к температуре подвода теплоты к циклу ( $T_T/T_0$ ). Чем ниже это отношение, тем выше тепловая экономичность ТЭЦ.

Удельная комбинированная выработка электроэнергии  $\bar{\varepsilon}_T$  показывает количество электроэнергии, произведенной на ТЭЦ в одном технологическом цикле с отпуском единицы теплоты внешним потребителям.

Определение удельной комбинированной выработки существенно упрощается, если реальный теплосиловой цикл заменяется эксергетически равноценным циклом Карно, в котором работоспособность подведенной и отведенной теплоты такая же, как в реальном цикле.

Удельная комбинированная выработка электрической энергии, отнесенная к единице отработавшей теплоты, отведенной из идеального цикла Карно (рис. 2).

$$\bar{\varepsilon}_T = \frac{(T_0 - T_T) \cdot \Delta S}{T_T \cdot \Delta S} = \frac{T_0}{T_T} - 1,$$

где  $T_0$  - средняя температура подвода теплоты в цикл,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$T_T$  - средняя температура отвода теплоты из цикла,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$\Delta S$  - изменение энтропии в цикле,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{K}}$ .

Формула может быть положена в основу расчета комбинированной выработки электрической энергии в реальных циклах. В этом случае под  $T_0$  следует понимать среднюю температуру подвода, а под  $T_T$  - среднюю температуру отвода теплоты реального цикла. Кроме того, необходимо учесть неизоэнтропность расширения пара в турбине, а также наличие электромеханических потерь в турбогенераторе.

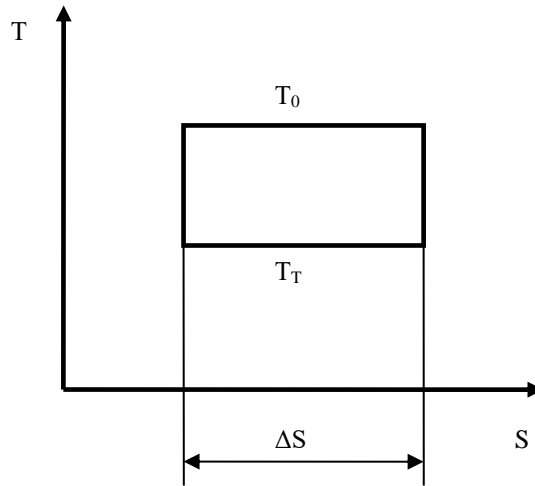


Рис. 2. Идеальный цикл Карно

С учетом указанных особенностей формула для расчета удельной комбинированной выработки электроэнергии на паротурбинных ТЭЦ принимает вид

$$\bar{\vartheta}_T = \frac{(T_0 - T_T) \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{ЭМ}}{T_T + (1 - \eta_{oi}) \cdot (T_0 - T_T)} = \frac{(1 - \frac{T_T}{T_0}) \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{ЭМ}}{1 - (1 - \frac{T_T}{T_0}) \cdot \eta_{oi}}, \quad (1)$$

где:  $\eta_{oi}$  - внутренний относительный КПД турбины;

$\eta_{ЭМ}$  - электромеханический КПД, т.е. произведение механического КПД турбины на КПД электрогенератора.

Значение  $\bar{\vartheta}_T$  включает в себя также комбинированную выработку на базе внутреннего теплового потребления, т.е. на базе регенеративного подогрева конденсата от температуры возврата в схему ТЭЦ до температуры питательной воды.

Значение  $\bar{\vartheta}_T$  приведенное в формуле (1) в безразмерном виде, представляет собой отношение количества выработанной электроэнергии к количеству отработавшей теплоты, например Дж/Дж или кВт·ч/кВт·ч. Для практических расчетов существуют зависимости  $\bar{\vartheta}_T$  от температуры насыщения  $T_T$ , соответствующей давлению  $P_T$  отработавшего пара,  $\bar{\vartheta}_T = f(T_T)$ .

Удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии на ТЭЦ конденсационным методом, кг/кВтч, определяется по формуле

$$b_{TK}^{\text{э}} = \frac{0,123}{\eta_{KC} \cdot \eta_{IT} \cdot \eta_{OIT} \cdot \eta_{ЭМ}},$$

где:  $\eta_{OIT}$  - внутренний относительный КПД конденсационного потока теплофикационной турбины;

$\eta_{IT}$  - термический КПД конденсационного цикла теплофикационной турбоустановки;

$\eta_{KC}$  - КПД котельной электростанции с учетом потерь теплоты в паропроводах между котельной и машзалом;

0,123 – количество условного топлива, кг, затрачиваемое на выработку 1 кВтч.

Для определения  $b_{TK}^{\text{э}}$  для теплофикационных турбин разного типа существуют зависимости  $b_{TK}^{\text{э}} = f(\bar{\alpha}_T)$ .

В России для оценки тепловой экономичности ТЭЦ применяется метод ОРГРЭС. В данных методических указаниях изложена методика распределения израсходованного энергетическими котлами ТЭС топлива между отпускаемыми электроэнергией и теплом. Распределение расхода топлива энергетическими котлами производится пропорционально затратам тепла на выработку электроэнергии и отпуск тепла внешним потребителям при условии их раздельного производства на конкретной электростанции. Распределение общего расхода топлива между отпускаемыми электроэнергией  $B_{\text{э}}$  и теплом  $B_{\text{тэ}}$  производится для групп, подгрупп оборудования и энергоблоков с использованием коэффициента отнесения затрат топлива энергетическими котлами  $K_{\text{э}}$

На основании результатов сведения пароводяного и теплового баланса электростанции определяются группы, подгруппы оборудования, энергоблоки, которые в конечном результате отдают или принимают переток тепла. Конечное значение перетока определяется как результирующая всех принимаемых и отдаваемых перетоков. В первую очередь распределение

общего расхода топлива между отпускаемыми электроэнергией  $B_{\text{э}}$  и теплотой  $B_{\text{тэ}}$  производится для групп, подгрупп оборудования энергоблоков, отдающих перетоки тепла. Далее определяются расходы условного топлива, относимые на отпуск электроэнергии и тепла, для групп, подгрупп оборудования и энергоблоков, принимающих перетоки тепла.

*Фактические значения удельных расходов условного топлива:*

1) на отпуск электроэнергии,  $\frac{\text{т}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ ,

$$b_{\text{э}} = \frac{B_{\text{э}}}{\text{Э}_{\text{от}}} \cdot 10^3,$$

2) на отпуск тепла,  $\frac{\text{т}}{\text{ГДж}}$ ,

$$b_{\text{тэ}} = \frac{B_{\text{тэ}}}{Q_{\text{от}}} \cdot 10^3,$$

где:  $\text{Э}_{\text{от}}$  - количество электроэнергии, отпущенной с шин электростанции, определяемое как разность между количеством выработанной электроэнергии и расходом ее на собственные нужды электростанции, МВт ч;

$Q_{\text{от}}$  - суммарный отпуск тепла внешним потребителям, ГДж;

$B_{\text{э}}$  - расход условного топлива относимый на отпуск электроэнергии, т;

$B_{\text{тэ}}$  - расход условного топлива относимый на отпуск тепла, т.

Номинальные и нормативные значения удельных расходов топлива на отпуск электроэнергии и тепла, по рассматриваемому методу ОРГРЭС, определяются на основе энергетических характеристик оборудования в соответствии с утвержденным для каждой электростанции макетом (алгоритмом расчета этих показателей). Номинальное значение показателя определяется путем введения к исходно-номинальному значению поправок на отклонение фактических значений внешних факторов от фиксированных, принятых при построении энергетических характеристик оборудования.

Следует отметить, что эффективность теплофикации увеличивается с ростом тепловой нагрузки района, числа часов использования мощности ТЭЦ

и повышении доли выработки электрической энергии на базе теплового потребления. В этих условиях высокая эффективность теплофикации может быть достигнута лишь на базе применения технически совершенного теплофикационного оборудования докритических и закритических параметров и благоприятного режима их работы. *Важнейшим, универсальным условием высокой энергетической и экономической эффективности теплофикации является обеспечение максимально возможной выработки электроэнергии на тепловом потреблении.* Эффективность теплофикации существенно снижается из-за высокого уровня потерь в тепловых сетях. Поставляемые промышленностью трубы для тепловых сетей не имеют антикоррозионной защиты, иногда отсутствует современная теплоизоляция, недостает средств телеизмерения и телеуправления, автоматизации и диагностики.