

В. Я. ХАСИЛЕВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОДНОТИПНЫХ ТЭЦ

(Представлено академиком А. В. Винтером 15 VII 1949)

В настоящем сообщении нами доказывается, что при определенных условиях возможно получение существенного энергетического эффекта при параллельной работе однотипных ТЭЦ; излагается также общий метод приближенной оценки энергетического эффекта при параллельной работе по теплу различных теплогенерирующих установок.

Эффективность параллельной работы ТЭЦ с однотипным турбинным оборудованием сравнительно с раздельной работой определяется дополнительной выработкой электроэнергии по теплофикационному режиму. При объединении k ТЭЦ в теплоснабжающую систему (пример графиков нагрузок для двух ТЭЦ см. на рис. 1) макси-

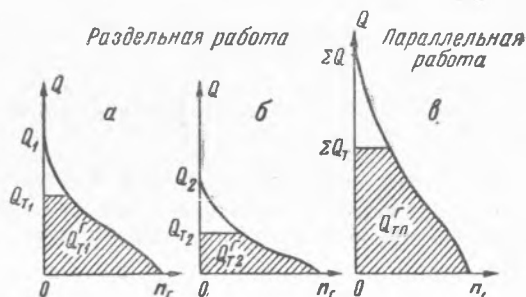


Рис. 1. Графики тепловых нагрузок двух однотипных ТЭЦ: а — 1-я станция, $\alpha_1 = Q_{m1} / Q_1$; б — 2-я станция, $\alpha_2 = Q_{m2} / Q_2$; в — $\alpha_\Sigma = (Q_{m1} + Q_{m2}) / (Q_1 + Q_2)$

мальный отпуск тепла составит $\sum_1^k Q_i$ и, соответственно, макси-

мальная производительность отборов турбин $\sum_1^k Q_{Ti}$. В общем случае

при одинаковом периоде теплоснабжения n_2 и одинаковом относительном числе часов использования максимума тепловой нагрузки h_0 значения Q_i , Q_{Ti} и коэффициенты теплофикации $\alpha_i = Q_{Ti} / Q_i$ для каждой из ТЭЦ могут быть различны. В этих условиях годовая производи-

тельность отборов турбин при раздельной работе $Q_{Tp}^2 = \sum_1^k Q_{Ti}^2$ и при

параллельной работе в теплоснабжающей системе Q_{Tn}^2 имеет отличные значения, т. е.

$$Q_{Tp}^2 \cong Q_{Tn}^2 = \sum_1^k Q_{Ti}^2 \pm \Delta Q. \quad (1)$$

Величина ΔQ представляет собой тепловой эффект от перераспределения тепловой нагрузки в годовом разрезе за счет повышенной при параллельной работе загрузки отборов турбин и соответственного снижения отпуска тепла из котлов.

Значению ΔQ приближенно пропорциональна дополнительная выработка электроэнергии по теплофикационному режиму ΔW_m и соответ-

ственная экономия топлива ΔB . Анализ значений теплового эффекта от перераспределения в зависимости от ряда факторов возможен с помощью достаточно точного выражения для расхода тепла по продолжительности, представляемого в относительных величинах в виде простой степенной функции (1)

$$\alpha = 1 - n^{1/\beta}, \quad (2)$$

где β — характеристика формы графика нагрузки, зависящая от структуры теплотребления. Так, для графиков, характеризующихся преобладанием отопительной нагрузки и имеющих вогнутый вид, $\beta > 1$. При значительном преобладании технологической и бытовой нагрузки, не зависящей от климатических условий, вероятен выпуклый вид графиков, $\beta < 1$. При абсолютно постоянной нагрузке в течение всего года $\beta = 0$. В последующем рассмотрении для анализа весьма удобен график смешанной нагрузки линейного вида, когда $\beta = 1$. Во многих случаях графики имеют стационарную точку ($\partial^2\alpha/\partial n^2 = 0$). Однако для практических целей с достаточной точностью возможна их аппроксимация кривыми вида (2) (одной вогнутой или двумя — вогнутой и выпуклой), и они специально не рассматриваются. Для вычисления размера годовой тепловой нагрузки в относительных единицах (α_2) интегрированием можно получить выражение

$$\alpha_2 = \int_0^\alpha n \, d\alpha / \int_0^1 n \, d\alpha = 1 - (1 - \alpha)^{1+\beta}.$$

Разлагая значения α_2 в ряд и ограничиваясь пятью первыми членами, можно получить формулу для числа часов использования тепловой мощности станции, размещаемой в базисной части графика:

$$h_T = n_2 h_0 \frac{\alpha_2}{\alpha} = \frac{n_2}{2} (2 - \beta\alpha + \gamma\alpha^2).$$

В данном случае: α — относительная тепловая мощность станции (или отборов турбин), размещенной в базисной части графика; n_2 — продолжительность всего периода теплоснабжения в часах; $\gamma = \beta(\beta - 1)/3$ — поправочный коэффициент. Аналогично, для более общего случая размещения станции в любой промежуточной части графика нагрузки число часов использования ее мощности:

$$h_{T(i)} = \frac{n_2}{2} [2 - \beta(\alpha_i + 2\alpha_{i-1}) + \gamma(\alpha_i^2 + 3\alpha_i\alpha_{i-1} + 3\alpha_{i-1}^2)],$$

где α_i — относительная мощность данной станции; α_{i-1} — относительная мощность суммы всех станций, размещенных в графике ниже данной. В частном случае, для базисной станции, т. е. когда $\alpha_i = \alpha$ и $\alpha_{i-1} = 0$, $h_{T(i)} = h_T$. Используя приведенные зависимости, после ряда преобразований получаем выражения для определения теплового эффекта от перераспределения при параллельной работе (в Мкал):

$$\Delta Q = Q_{Tn}^2 - Q_{Tp}^2 = \frac{n_2}{2} \left[\beta \left(\sum_1^k \alpha_i Q_{Ti} - \alpha_\Sigma \sum_1^k Q_{Ti} \right) - \gamma \left(\sum_1^k \alpha_i^2 Q_{Ti} - \alpha_\Sigma^2 \sum_1^k Q_{Ti} \right) \right]. \quad (3)$$

В выражении (3) $\alpha_\Sigma = \sum_1^k Q_{Ti} / \sum_1^k Q_i$ представляет собой коэффициент теплофикации всей теплоснабжающей системы, аналогично коэффициентам $\alpha_i = Q_{Ti} / Q_i$ отдельных ТЭЦ.

Довольно сложный характер зависимости теплового эффекта при параллельной работе от относительной и абсолютной величины производительности отборов турбин и ТЭЦ в целом, а также от характеристики формы графика теплового нагрузки выясняется на двух частных, но характерных примерах объединения двух ТЭЦ.

I пример. Объединению подлежат две ТЭЦ с одинаковым отпуском тепла $Q_1 = Q_2 = 100$ Мкал/час. На 1-й станции $Q_{Ti} = 50$ Мкал/час и, следовательно, $\alpha_1 = 0,5$. На второй ТЭЦ $\alpha_2 = \text{var}$ (при $\alpha_1 = 0$ — районная котельная). Как видно из рис. 2, в данном случае при всех условиях $\Delta Q = 0$, если $\alpha_2 = \alpha_1 = 0,5$. Отрицательные значения ΔQ для графиков нагрузки с большей вогнутостью ($\beta = 2,5$ и $3,0$) имеют место только при $\alpha_2 > \alpha_1$.

II пример. Объединению подлежат две ТЭЦ с различной теплопроизводительностью: $Q_1 = 100$ Мкал/час и $Q_2 = 200$ Мкал/час. Производительность отборов на первой ТЭЦ $Q_{Ti} = 60$ Мкал/час и $\alpha_1 = 0,6$. Для второй ТЭЦ $\alpha_2 = \text{var}$. Как видно из рис. 3, относительная величина теплового эффекта в данном случае намного больше, чем для предыдущего примера.

Пользуясь выражением (3), можно получить общий критерий положительной эффективности ($\Delta Q > 0$) параллельной работы ТЭЦ одинаковой экономичности в виде неравенства

$$\frac{\beta - 1}{3} < \frac{\alpha_{\Sigma} \sum_1^k Q_{Ti} - \sum_1^k \alpha_i Q_{Ti}}{\alpha_{\Sigma}^2 \sum_1^k Q_{Ti} - \sum_1^k \alpha_i^2 Q_{Ti}}. \quad (4)$$

Критерий (4) позволяет сделать ряд общих выводов. При любом целом и положительном числе λ и любых значениях чисел Q_i и Q_{Ti}

$$\left(\sum Q_{Ti}\right)^{\lambda} / \left(\sum Q_i\right)^{\lambda-1} - \sum \frac{Q_{Ti}^{\lambda}}{Q_i^{\lambda-1}} \leq 0,$$

откуда следует, что правая часть критерия (4) всегда положительна либо равна нулю. Таким образом:

1) Для выпуклых графиков нагрузки ($0 < \beta < 1$), характеризующих смешанное теплоснабжение промышленных комбинатов, левая часть

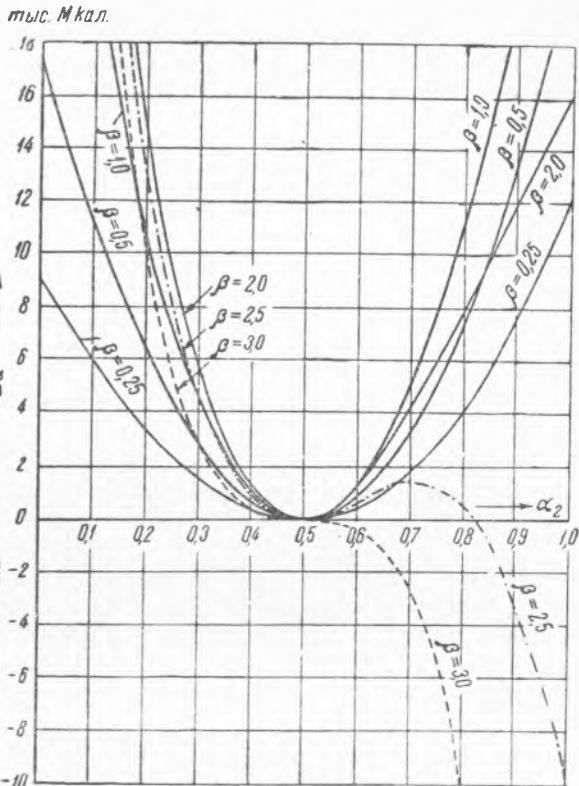


Рис. 2

(4) меньше нуля, и поэтому эффективность параллельной работы всегда имеет место.

2) Для вогнутых графиков с преобладанием отопительной нагрузки ($\beta > 1$) левая часть (4) больше нуля, и поэтому нельзя с уверенностью утверждать существование теплового эффекта при параллельной работе ($\Delta Q > 0$). В данном случае требуется проверка подстановкой соответствующих значений Q_{Ti} , Q_i и β в обе части неравенства (4). Отметим, однако, что положительный эффект будет тем больше, чем больше отличаются значения α_i для отдельных ТЭЦ.

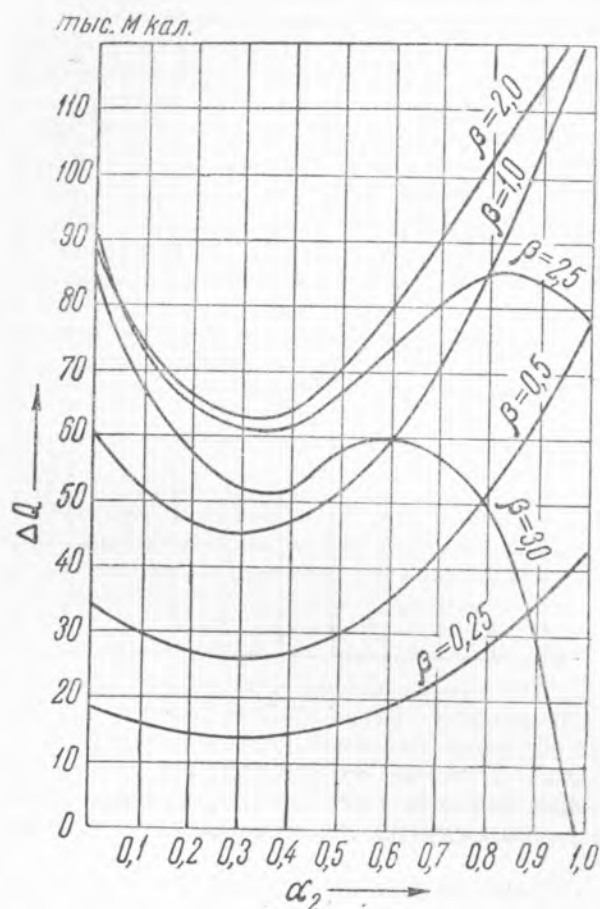


Рис. 3

котором $\Delta Q = 0$, определится как $\beta_0 = 2\beta_{opt}$.

В заключение отметим, что во многих практических случаях объединением ТЭЦ одинаковой экономичности для параллельной работы может быть достигнут значительный энергетический эффект. Наиболее благоприятным в этом случае является объединение ТЭЦ различной тепловой мощности при сосредоточении наибольшей электрической мощности на ТЭЦ с наименьшей теплопроизводительностью.

Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского
Академии наук СССР

Поступило
7 VII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. Л. Шифринсон и В. Я. Хасилев, Сборн. ВНИТО теплоснабжения и вентиляции, 1949, стр. 24.

З) Для любой формы графиков нагрузки эффект от параллельной работы равен нулю, если коэффициенты теплофикации и тепловые мощности всех станций равны между собой, т. е. если $\alpha_i = \text{const}$ и $Q_i = \text{const}$ (см. рис. 2, 3).

Значение характеристики формы графика нагрузки, при которой тепловой эффект при параллельной работе будет наибольшим ($\partial(\Delta Q)/\partial\beta = 0$), определяется из выражения

$$\beta_{opt} = 0,5 + \frac{\sum_1^k \gamma_i Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma} \sum_1^k Q_{Ti}}{\sum_1^k \alpha_i^2 Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma}^2 \sum_1^k Q_{Ti}} + 1,5 \frac{\frac{1}{k} \sum_1^k Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma} \sum_1^k Q_{Ti}}{\frac{1}{k} \sum_1^k Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma}^2 \sum_1^k Q_{Ti}}$$

Предельное значение характеристики, при ко-