

О РАЗНОГЛАСИЯХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ К.П.Д. ТЭЦ

И. Н. БУТАКОВ

Если в отношении определения к.п.д. для конденсационной электростанции $\eta_k = \frac{860 \cdot \mathcal{E}}{Q_{\text{топл}}}$ нет разногласий среди энергетиков, то, когда речь идет о к.п.д. ТЭЦ, имеются в настоящее время большие разногласия.

Казалось бы естественным исходить для ТЭЦ из ее теплового баланса, который в простейшем случае ТЭЦ, состоящей из конденсационной части и части противодавленной (или ухудшенного вакуума) с полным использованием тепла отработавшего пара, может быть записан так:

$$Q_{\text{топл}} = Q_k + Q_m, \quad (1)$$

где Q_k —тепло, затрачиваемое на конденсационную часть, Q_m —то же на противодавленную, а $Q_{\text{топл}}$ —общая затрата тепла на ТЭЦ за рассматриваемый отрезок времени, например, за год.

Уравнение (1) представляется и в другом виде, а именно:

$$\frac{860\mathcal{E} + Q_{\text{выр}}}{\eta} = \frac{860(\mathcal{E} - \mathcal{E}_m)}{\eta_k} + \frac{860\mathcal{E}_m + Q_{\text{выр}}}{\eta_m}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}$ —выработка *квтч* за рассматриваемое время всей ТЭЦ, $\mathcal{E}_m$ —то же только на тепловом потреблении, $Q_{\text{выр}}$ —выработка тепла на станции для тепловых абонентов, а η_k , η_m и η —к.п.д. конденсационной части, тоже противодавленной при полном использовании тепла, а η —усредняющий к.п.д. всей ТЭЦ, подлежащий определению.

Для значений к. п. д. η_k и η_m имеем:

$$\eta_k = \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{пот}} \cdot \eta_t \cdot \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \eta_m &= \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{пот}} \cdot \frac{(i_1 - i_2)\eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}} + i_1 - (i_1 - i_2)\eta_{\text{oi}} - t_{\text{конд}}}{i_1 - t_{\text{конд}}} = \\ &= \left[1 - \frac{(i_1 - i_2)\eta_{\text{oi}}}{i_1 - t_{\text{конд}}} (1 - \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}}) \right] \cdot \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{пот}} = \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{пот}} \cdot \eta'_{\text{мех}} \cdot \eta'_{\text{ген}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Под $t_{\text{конд}}$ разумеется температура конденсата в бойлерах. При этом, конечно, $\eta'_{\text{мех}} \cdot \eta'_{\text{ген}} > \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ген}}$. Здесь, как увидим ниже, кроме $\eta'_{\text{мех}} \cdot \eta'_{\text{ген}}$, дискуссионным является также $\eta_{\text{пот}}$ —к.п.д. потока тепла при его транспорте внутри ТЭЦ, характеризующий тепловые потери в окружающую среду паропроводов, корпуса турбины, питательного тракта, включая регенеративное хозяйство с его подогревателями, трубопроводами, бойлерного и паропреобразовательного хозяйства с их трубопроводами и насосами, характеризующий, словом, потери всей тепловой схемы ТЭЦ.

Идеолог Министерства электростанций в этой области А. С. Горшков в своей книге „Технико-экономические показатели тепловых электрических станций“ (1949, стр. 55—56) считает, что на отпускаемое тепло никакие

потери не относятся, так что к.п.д. турбогенератора по отпуску тепла $\eta'_m = 1$. Это мотивируется и тем, что тепло вырабатывается не в турбине, а в котле. Из такой точки зрения вытекает, что изменение начальных параметров пара, ухудшение внутреннего относительного к.п.д. турбины в противодавленческой части не влияют на к.п.д. η'_m по отпуску тепла. Совершенно при этом упускается из вида, что турбина выступает здесь в роли редуктора, снижающего давление пара от котельного до давления в точке отбора, почему потери редуктора, т. е. в данном случае механические и электрические потери турбогенератора неизбежно должны отразиться на тепловых абонентах, как и относительный к.п.д. его и начальные параметры пара, на что и указывает формула (4).

„Теплоэнергия должна характеризоваться“, — пишет А. С. Горшков (стр. 56), — „...технико экономическими показателями котельной и бойлерной, а не турбинного цеха“, причем опять-таки игнорируется то, что, с одной стороны, конденсат бойлеров через тепловую схему и котел оказывает свое влияние и на электроэнергию, а, с другой стороны, потери всей тепловой схемы через котел же сказываются и на тепловых абонентах. Поэтому потери всей тепловой схемы должны быть оценены общим к.п.д. $\eta_{пот}$ — потока тепла при его транспорте внутри ТЭЦ и, следовательно, к.п.д. $\eta_m = \eta_{ку} \cdot \eta_{пот} \cdot \eta'_{мех} \cdot \eta'_{ген}$ (формула 4), а не $\eta_m = \eta_{ку} \cdot \eta_{бойл}$, как у А. С. Горшкова.

Выступая в роли агностика, А. С. Горшков отрицает возможность получения общего показателя для оценки ТЭЦ в целом, так как все попытки, по мнению А. С. Горшкова, имеют общую основную принципиальную ошибку из-за смешения понятий производительности и экономичности установки, что А. С. Горшков и иллюстрирует на примере „метода равноценности“ (метод проф. Гриневецкого). Недостатки метода проф. Гриневецкого давно известны, и метод этот, будучи взят изолированно, не является полезным для эксплуатационного анализа, о чем А. С. Горшков и говорит на стр. 62 своей книги. Но аргумент автора книги на стр. 61, подкрепленный ссылкой на формулу рекламируемого А. С. Горшковым „физического“ метода

$$q_a^{\phi} = \frac{Q^{\phi}}{860 \cdot W} = \frac{Q_n - Q_k - Q_m}{860 \cdot W} = \frac{860 \cdot W + q_c}{860 \cdot W} = 1 + \frac{q_c}{860 \cdot W},$$

несомненно порочен, потому что величина q_c , характеризующая потери в конденсаторе с охлаждающей водой (стр. 25), будет меняться в зависимости от величины Q_m , так что $q_c/860 \cdot W$ будет тоже величиной переменной, как и отношение $\frac{Q_m}{860 \cdot W}$.

В обозначениях формулы (1) последняя величина будет $\frac{Q_{выр}}{860 \cdot \mathcal{E}}$. Это отношение вовсе не фактор производительности, а безразмерный энергетический коэффициент, величина которого, как всем энергетикам известно, существенно влияет на к.п.д. ТЭЦ.

Отвергнув формулу для к.п.д. ТЭЦ проф. Гриневецкого, имеющую в наших обозначениях вид

$$\eta = \frac{860 \cdot \mathcal{E} + Q_{выр}}{Q_{топл}} = \frac{1 + Q_{выр}/860 \cdot \mathcal{E}}{Q_{топл}/860 \cdot \mathcal{E}},$$

А. С. Горшков явился защитником и пропагандистом дуалистической системы изолированных показателей для ТЭЦ: к.п.д. выработки электроэнергии и к.п.д. по отпуску тепла. Возможность же получения общего к.п.д.

ТЭЦ для оценки процесса ее в целом, как выше указано, отрицается А. С. Горшковым, несмотря на прямое указание материалистической диалектики о том, что „отдельное не существует иначе, как в той связи, которая ведет к общему“ (Ленин, т. XIII, стр. 302). Между тем задача нахождения общего показателя для ТЭЦ просто решается, если исходить из теплового ее баланса (1).

Из уравнения (1) имеем:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1}{\eta_m} \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}}\right) \left(\frac{\eta_m}{\eta_k} - 1\right)}{1 + \frac{Q_{выр}}{860 \cdot \mathcal{E}}} \right]. \quad (5)$$

По этой формуле определяется не к.п.д. ТЭЦ, а обратная величина его $1/\eta$ не только потому, что получается при этом более простое выражение, но и потому, что величина $1/\eta$, прямо пропорциональная расходу топлива, представляет из себя расход тепла в калориях на 1 калорию, использованную для производства электроэнергии и тепла для тепловых абонентов. Формула (2) является сочетанием метода проф. Гриневецкого с дуалистической системой изолированных показателей, защищаемой А. С. Горшковым, так как

$$Q_{топл} = Q_k + Q_m = \left[\frac{860(\mathcal{E} - \mathcal{E}_m)}{\eta_k} + \frac{860 \cdot \mathcal{E}_m}{\eta_m} \right] + \frac{Q_{выр}}{\eta_m} = \frac{860\mathcal{E} + Q_{выр}}{\eta},$$

т. е. тут мы имеем технико-экономические показатели в двух слагаемых: отдельно для электрической энергии в прямых скобках и отдельно для тепловой энергии, причем оба эти слагаемые связаны общей их величиной

$$\frac{860\mathcal{E} + Q_{выр}}{\eta}, \text{ как их суммой.}$$

Таким образом А. С. Горшков лишь внешне как бы эмансипировался от общего усредняющего к.п.д. η ТЭЦ, но за эту эмансипацию он заплатил дорогой ценой утраты понимания целостного процесса на ТЭЦ, что привело к раздуванию одной из сторон целого, направило по пути агносцизма.

Проф. Гохштейн Д. П. (Вестник инженеров и техников, 1948, № 4, стр. 124) критикует формулу проф. Гриневецкого $\eta = \frac{860\mathcal{E} + Q_{выр}}{Q_{топл}}$, приписывая ее почему-то И. Н. Бутакову и В. Т. Юринскому, с той стороны, что в числителе ее суммируются совершенно несопоставимые (ввиду их неоднородности) слагаемые—отработавшее тепло и механическая работа. Между тем „подвальную“ часть диаграммы в TS координатах (диаграммы Ранкина) можно рассматривать не только как тепло, выработанное на ТЭЦ для теплового потребления, но и как работу, которую выполняет 1 кг пара, имея начальную T_2 и конечную температуру $T'_2=0$, т. е. величины $860\mathcal{E}$ и $Q_{выр}$ могут рассматриваться как однородные, и таким образом это возражение проф. Гохштейна приходится понимать как известную ошибку логики, носящую название „употребление ложного основания“ (*error fundamentalis*).

Критикуя, таким образом, других за „антитермодинамические“ концепции, проф. Гохштейн сам впал в тот же грех, рекомендуя для употребления термические к.п.д. силовых установок с использованием отработавшего тепла (там же, стр. 129). В самом деле, если взять, например, его формулу (5)

для противоавиационного двигателя с использованием тепла выхлопа, то она имеет вид

$$\eta_{yt} = \frac{860 + q_T \cdot \eta_T}{860/\eta_n},$$

где q_T — удельный расход тепла на технологические нужды (относительно 1 кВтч);

η_T — термический к. п. д. технологического цикла;

η_n — термический к. п. д. противоавиационного силового цикла.

Таким образом, в числителе складываются, в других только обозначениях, опять-таки как бы несопоставимые слагаемые, как и в формуле проф. В. И. Гриневецкого, где под $Q_{выр}$ разумеется тепло, предназначенное для использования тепловыми абонентами, выработанное на станции, за вычетом тепла возвратной воды (главным образом скрытая теплота парообразования), причем неизбежно $Q_{выр}/\mathcal{E}_m = q_T \eta_T$.

Предложение трактовки степени совершенства ТЭЦ с точки зрения термодинамики встречается с рядом трудностей. Например, формула (45) для степени совершенства проф. Г. И. Фукса имеет вид:

$$\mu = \frac{830N + \Sigma Q_r(1 - T_0/T_{cm})}{m \cdot B \cdot Q_p}$$

(Известия ТПИ, т. 66, вып. 2, стр. 112).

Здесь T_0 — абсолютная температура окружающей среды. Выбор величины T_0 труден: ТЭЦ работают при разных температурах. Надо выбрать какую-то условную „нормальную“ температуру среды. Проф. Фукс Г. И. после анализа средне-годовых температур воздуха для СССР предлагает, например, принимать $T_0 = 273 \text{ K}$, но при этом подчеркивает, что $T_0 = 273 \text{ K}$ можно принимать лишь при необходимости сравнения установок, работающих в различных условиях. При испытаниях же T_0 надо не принимать, а замерять, как она есть. Наличие в СССР резких температурных колебаний в зависимости от места и времени года усугубляет сложность оценки T_0 . Или, если взять пример ТЭЦ, имеющей одинаковую технологическую, тепловую и электрическую нагрузки круглый год, то по формуле (45) проф. Фукса Г. И. оказывается, что летом при температуре $T_0 = 293 \text{ K}$ и зимой при $T_0 = 253 \text{ K}$ степени совершенства ТЭЦ будут различны, в то время как по формуле (5) и фактический расход топлива будет один и тот же, т.е. к.п.д. будет неизменным.

Сторонники внедрения в практику чисто термодинамических оценок и среди них особенно проф. Гохштейн Д. П., энтузиаст второго закона термодинамики, забывают то основное, что термодинамика есть раздел физики и не есть еще техника, которая является синтезом физики и экономики, дающим техническое явление с его особыми закономерностями. Синтез этот на каждом этапе развития производства родит свои конструкции котельных агрегатов, определяет допустимый диаметр паропроводов, число регенеративных подогревателей и их поверхности, поверхности нагрева бойлеров, кратность охлаждения и тепловые напоры в конденсаторах, а также их поверхности, удельные веса кг/квт турбоагрегатов и т. д.

Поэтому пользование равенством (2) и формулой (5) вполне закономерно, тем более что последняя способна отразить и термодинамические устремления к уменьшению возрастания энтропии в котельных агрегатах, в бойлерах, в паропроводах, конденсаторах и т. д., так как изменение энтропии оказывает свое влияние на выработку электроэнергии на тепловом потреблении $\mathcal{E}_m$, на к.п.д. η_k и η_m .

Поскольку в обеих частях уравнения (2) стоят величины пропорциональные расходу топлива, возможна экономическая трактовка этого урав-

нения (2) теплового баланса, так как расход топлива со своей стороны пропорционален расходу общественно-необходимого труда на его добычу. Поэтому-то усредняющий к.п.д. может характеризовать и степень использования общественно-необходимого труда в отношении главной топливной составляющей денежных расходов ТЭЦ и с этой точки зрения может быть назван экономическим к.п.д. ТЭЦ.

Критикуя формулу (5), проф. Г. И. Фукс (Известия ТПИ, т. 66, вып. 2, стр. 91) указывает, что самые значения η_k и η_m для данной теплосиловой установки являются условными величинами. Такое заключение автора статьи является непонятным. В самом деле, к.п.д. η_m для данной установки вычисляется по вполне определенной формуле (4). Это дает возможность получить расход топлива для тепловых потребителей в виде

$$B_m = \frac{Q_{выр}}{\eta_k \cdot Q_p^* \cdot 10^3} m,$$

так что при известном рабочем расходе B_m на ТЭЦ расход топлива для электрических потребителей определяется в m , как $B_s = B - B_m$.

Отсюда $\eta_s = \frac{860 \cdot \mathcal{E}}{B_s \cdot Q_p^* \cdot 10^3}$ — общий к.п.д. по выработке электроэнергии на ТЭЦ.

Чтобы определить теперь к.п.д. η_k конденсационной части, эксплуатируемой ТЭЦ, надо знать расход топлива на эту часть, который равен

$$B_k = B - B_m - \frac{860 \cdot Q_{выр}}{10^3 \cdot q \cdot \eta_m \cdot Q_p^*} m, \quad \text{где}$$

$$B_m = \frac{860 \cdot Q_{выр}}{10^3 \cdot q \cdot \eta_m \cdot Q_p^*} — \text{расход в } m \text{ топлива для выработки электроэнергии}$$

$\mathcal{E}_m$ квтч на тепловом потреблении, $q = \frac{Q_{выр}}{\mathcal{E}_m}$ — количество калорий,

получаемых с каждого квтч на тепловом потреблении для нужд последнего. Тогда к.п.д. конденсационной части

$$\eta_k = \frac{860(\mathcal{E} - \mathcal{E}_m)}{B_k \cdot Q_p^* \cdot 10^3} = \frac{860 \left(\mathcal{E} - \frac{Q_{выр}}{q} \right)}{B_k \cdot Q_p^* \cdot 10^3},$$

т. е. величина не условная, а вполне определенная для данной ТЭЦ.

Столь же не понятно звучит и второе утверждение проф. Г. И. Фукса о том, что „для получения соответственного результата автору пришлось ввести допущение, что различные варианты установки сравниваются между собой при одинаковой выработке электроэнергии, причем недостаток последней покрывается за счет добавочной конденсационной установки с к.п.д. η_k “. При сравнении вариантов в качестве заданной для ТЭЦ величины фигурирует не выработка электроэнергии, а энергетический коэффициент $Q_{выр}/860\mathcal{E}$, каковая величина и входит в состав формулы (5) и других формул, включающих самостоятельные котельные, а также ток от гидростанций. Задачи для ТЭЦ и энергосистемы обязательно должны решаться с учетом именно энергетического коэффициента, как исходной данной.

Почему эти, указанные выше, условия проф. Г. И. Фукс считает „произвольными“, мешающими получить обоснованные доказательства правильности формулы (5), которую автор почему-то смешал с формулой проф. Гриневецкого, написав ее в своих обозначениях

$$\eta = \frac{860 \cdot N_s + \sum Q_4}{B \cdot Q_p^*}, \text{ является совершенно неясным.}$$

Он применил здесь известный паралогизм „подмены доказательства“ (*ignoratio elenchi*), которым широко воспользовался в своё время А. С. Горшков, выступив в № 6 за 1948 г. в журнале „Электрические станции“ с критикой якобы моих формулировок, причем свои возражения он построил, полемизируя тоже против формулы проф. Гриневецкого.

Его возражения, таким образом, били мимо цели, а редакция ведомственного журнала отказала в помещении моего протеста против применения софистических приемов в научной полемике.

Товарищ Сталин счел необходимым резко подчеркнуть эту выведенную из многовекового опыта формулу, „что никакая наука не может развиваться и преуспевать без борьбы мнений, без свободы критики. Но это общепризнанное правило игнорировалось и попиралось самым бесцеремонным образом“.

Игнорировалось и попиралось, так как существовал „аракчеевский режим“, культивировавший безответственность и поощрявший такие бесчинства в некоторых редакциях наших технических журналов.
