

К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СХЕМ С КАСКАДНЫМ СЛИВОМ ДРЕНАЖА В КОНДЕНСАТОР

В. А. БРАГИН

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

В [1, 2] для оценки энергетической эффективности регенеративного подогрева воды в схемах турбоустановок предлагается выражение

$$\eta_r = \eta_0 \cdot \frac{1 + A_r}{1 + A_r \cdot \eta_0}, \quad (1)$$

которое позволяет просто и наглядно установить выгодность регенерации. Здесь через η_0 обозначен КПД исходной установки без регенерации, а через

$$A_r = \frac{\sum \alpha_r \cdot h_r}{\alpha_k \cdot H_k}$$

энергетический коэффициент. Чем больше энергетический коэффициент при прочих равных условиях, тем выше КПД турбоустановки η_r .

Однако в таком виде выражение (1) может использоваться только для анализа энергетической эффективности тех регенеративных схем установок, в которых тепло дренажа отборов полностью используется для подогрева воды. Если же дренаж греющего пара хотя бы частично сливается в конденсатор и его тепло теряется с охлаждающей водой, то наличие дополнительной потери тепла не учитывается выражением (1).

При его выводе предполагалось, что теряется только тепло отработанного пара, поступающего в конденсатор. Кроме этого, легко показать, что увеличение энергетического коэффициента не всегда приводит к росту КПД турбоустановки. Например, энергетический коэффициент для установки с регенеративной схемой, показанной на рис. 1, будет меньше, чем при схеме на рис. 2, а, но КПД установки, работающей по схеме на рис. 1, будет выше.

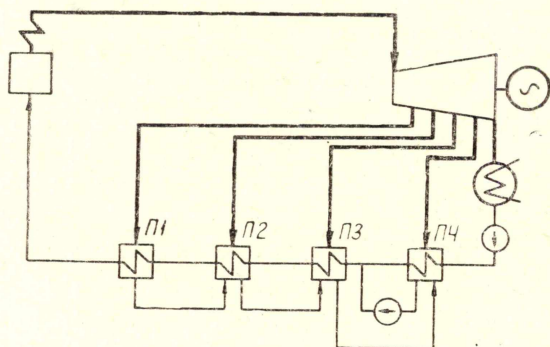


Рис. 1

Объясняется это тем, что суммарная потеря тепла в конденсаторе установки для схемы на рис. 1 будет меньше, чем при схеме, показанной на рис. 2, а. Дополнительная потеря тепла в случае установки со схемой, показанной на рис. 2, а, играет более существенную роль, чем увеличе-

ние выработки мощности на базе регенеративных отборов. Эти моменты иногда вводят в заблуждение студентов при анализе энергетической эффективности регенеративных схем, показанных на рис. 2. Поэтому представляется целесообразным вывести более общее выражение для КПД

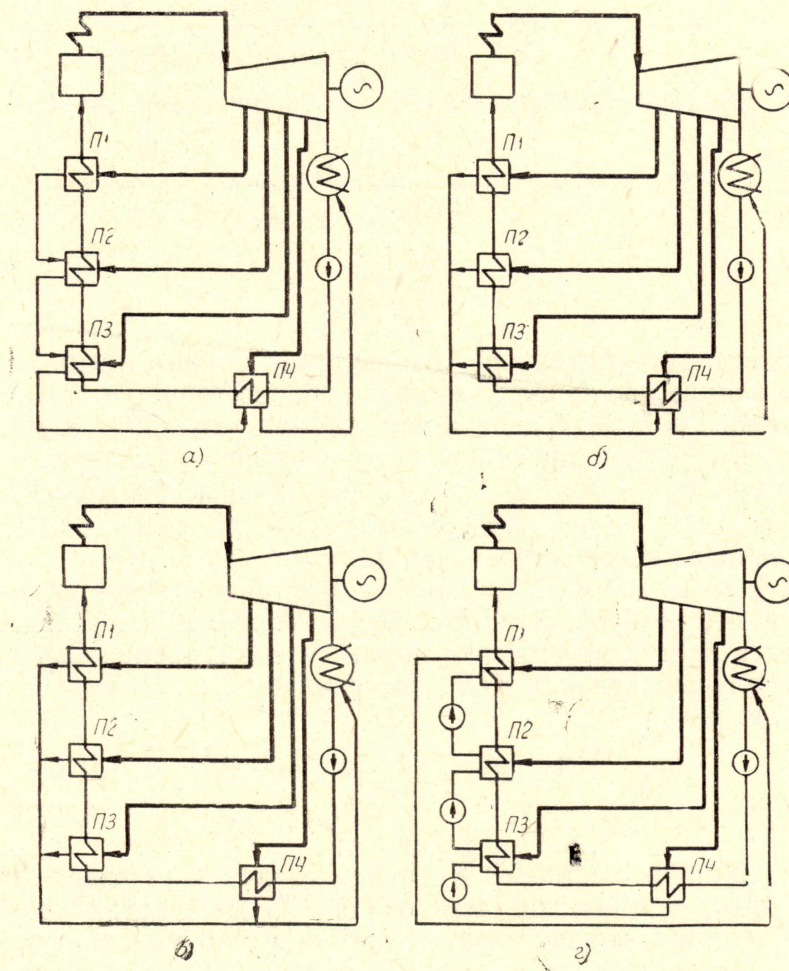


Рис. 2

турбоустановок, которое можно было бы использовать как для анализа экономичности установок со схемами без отвода дренажей в конденсатор, так и с различными способами отвода их в конденсатор.

В случае установки с регенеративными схемами, показанными на рис. 2, суммарная потеря тепла в конденсаторе будет равна

$$Q_k = \alpha_k q_k + \sum \alpha_r \cdot q'_k. \quad (2)$$

Здесь, как и в (1), α_k — доля пропуска пара в конденсатор, кг/кг;
 $q_k = i_k - \bar{t}_k$ — потеря тепла в конденсаторе с отработанным паром кдж/кг;

$\sum \alpha_r$ — суммарная доля регенеративных отборов, кг/кг.

Через $q_k = \bar{t}_r - \bar{t}_k$ обозначено тепло дренажа регенеративных отборов, передаваемое охлаждающей воде в конденсаторе, кдж/кг. Расход тепла на турбоустановку можно представить, как

$$Q_0 = \alpha_k \cdot q_k + \alpha_k \cdot H_k + \sum \alpha_r \cdot h_r + \sum \alpha_r \cdot q'_k, \quad (3)$$

где $H_k = i_0 - i_k$ — теплопадение пара, идущего в конденсатор, кдж/кг,

а $h_r = i_0 - i_r$ — теплопадение пара, уходящего в регенеративный отбор, кДж/кг .

Тогда КПД установки в соответствии с общепринятой формулой будет

$$\eta_r = 1 - \frac{\alpha_k \cdot q_k + \sum \alpha_r \cdot q'_k}{\alpha_k \cdot q_k + \alpha_k \cdot H_k + \sum \alpha_r \cdot h_r + \sum \alpha_r \cdot q'_k}$$

или после простых преобразований это выражение можно привести к виду

$$\eta_r = \eta_0 \frac{1 + A_r}{1 + A_r \cdot \eta_0 (1 + \kappa_r)} \quad (4)$$

Здесь

$$\kappa_r = \frac{\sum \alpha_r \cdot q'_k}{\sum \alpha_r \cdot h_r}$$

— коэффициент дополнительной потери тепла с дренажами, показывающий, какое количество тепла дренажей отборов теряется в конденсаторе по отношению к работе, совершаемой паром, уходящим в регенеративные отборы. Если сброс дренажей в конденсатор отсутствует и дополнительной потери тепла нет, то $\sum \alpha_r \cdot q'_k$ и κ_r равны нулю и формула (4) принимает вид (1). Таким образом, формула (4) может быть использована для анализа любых регенеративных схем.

Из (4) видно, что КПД установки с регенерацией в общем случае зависит от КПД простой установки без регенерации η_0 , энергетического коэффициента A_r и коэффициента потери тепла с дренажами κ_r .

Относительный прирост КПД по сравнению с установкой без регенерации будет равен:

$$\Delta \eta_r = \frac{\eta_r - \eta_0}{\eta_0} = \frac{1 - \eta_0 (1 + \kappa_r)}{\frac{1}{A_r} + \eta_0 (1 + \kappa_r)} \quad (5)$$

Из (5) видно, что прирост КПД при введении регенерации в схеме установки будет тем больше, чем меньше КПД простой установки η_0 , чем больше энергетический коэффициент A_r и чем меньше коэффициент потери тепла с дренажами κ_r . Величина коэффициента κ_r может быть меньше и больше единицы. Все зависит от величины энтальпии $\bar{t}_r$, с которой дренажи сбрасываются в конденсатор, и от количества сбрасываемых дренажей. Чем меньше $\bar{t}_r$ и количество сбрасываемого дренажа при прочих одинаковых условиях, тем меньше значение коэффициента κ_r и тем больший удельный вес в увеличении $\Delta \eta_r$ играет энергетический коэффициент. Наибольшее влияние энергетический коэффициент на прирост КПД оказывает в том случае, когда коэффициент κ_r равен нулю.

Поэтому переход от схемы на рис. 2, а к схеме на рис. 1 хотя и связан с некоторым снижением A_r , но в связи с тем, что для схемы на рис. 1 коэффициент $\kappa_r = 0$, КПД установки становится выше. Величины коэффициентов A_r и κ_r тесно увязаны друг с другом и изменение одного коэффициента приводит к изменению другого. Чаще всего в схемах, показанных на рис. 2, увеличение энергетического коэффициента связано с ростом коэффициента потери тепла с дренажами. Однако, например, переход от схемы на рис. 2, а к схеме на рис. 2, б связан с уменьшением энергетического коэффициента и ростом коэффициента потери тепла с дренажами. Объясняется это тем, что при данном переходе дополнительная потеря тепла с дренажами в конденсаторе уменьшается в меньшей степени, чем сокращается суммарная величина отборов пара на регенерацию. Поэтому коэффициент κ_r растет, а экономичность падает.

В приведенной ниже таблице для ряда регенеративных схем с каскадным сливом дренажей в конденсатор (рис. 1, 2) показаны значения энергетических коэффициентов и коэффициентов потери тепла с дренажами, а также их сравнительная экономичность ($P_0 = 29,4$ бар, $t_0 = 420^\circ \text{C}$, $P_k = 0,039$ бар, $P_1 = 5,75$ бар, $P_2 = 2,48$ бар, $P_3 = 0,892$ бар, $P_4 = 0,268$ бар, $\eta_0 = 0,284$).

Таблица 1

Схема	A_r	κ_r	κ_r/A_r	$\Delta\eta_r$
Рис. 1	0,1260	0	0	0,088
Рис. 2, а	0,1385	0,318	2,29	0,082
Рис. 2, б	0,1354	0,324	2,39	0,080
Рис. 2, в	0,1570	0,630	4,40	0,074
Рис. 2, г	0,1700	1,090	6,42	0,067

Данные таблицы наглядно показывают, какое влияние на относительный прирост КПД помимо энергетического коэффициента оказывает коэффициент потери тепла с дренажами. Любое изменение этих коэффициентов, приводящее к росту отношения κ_r/A_r , вызывает снижение экономичности схемы. Так, для схемы, показанной на рис. 2, г (комбинация «обратного» каскада со сливом дренажей в конденсатор), коэффициент κ_r , как и отношение κ_r/A_r , имеет наибольшее значение среди других схем, почему, несмотря на самое большое значение энергетического коэффициента, относительный прирост КПД оказывается наименьшим. Если в схеме установки, изображенной на рис. 2, а, предусмотреть охладитель дренажей на пути их слива из подогревателя П4 в конденсатор и предположить, что поток дренажа понижает свою температуру в нем примерно на 5°C , то коэффициент потери тепла с дренажами уменьшится с 0,318 до 0,276 (κ_r/A_r уменьшится с 2,29 до 2,02) и эффективность схемы возрастает примерно на 0,4%.

При уменьшении в схеме на рис. 2, а числа регенеративных подогревателей до одного и сохранении температуры питательной воды отношение κ_r/A_r возрастает примерно до 21,5 (резко возрастает удельный вес дополнительной потери тепла с дренажом), почему относительная экономичность установки падает почти на 6%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции. Изд. «Энергия», 1967.
2. Елизаров Д. П. Теплоэнергетические установки электростанций. Изд. «Энергия», 1967.

