

К ВОПРОСУ ОБ ОБЛАСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВОГО ПРИВОДА ДЛЯ РАБОЧИХ МАШИН

И. К. ЛЕБЕДЕВ

В 1952 году проф. Л. А. Мелентьев сделал попытку дать общую методику определения рациональных областей применения парового привода для рабочих машин [1]. В качестве критерия сравнения энергетических схем с паровым и электрическим приводом им введена некоторая величина ε , которую он выражает как

$$\varepsilon = \frac{W_{np}}{D_{n \cdot np}},$$

где W_{np} , *квт-ч.* — расход электроэнергии на электрический привод рабочей машины;

$D_{n \cdot np}$ *кг/час* — расход пара на паровой привод той же машины.

Позднее изложение этой методики было им повторено в его книге [2] лишь с тем изменением, что величина ε была обозначена ω .

Нам кажется, что введение этого критерия является излишним. Как будет показано ниже, расчеты, связанные с определением рациональных областей применения парового привода, могут быть упрощены, если не вводить критерий ε (или ω), а пользоваться общеизвестными коэффициентами полезного действия теплосиловых установок. В своих рассуждениях мы будем ориентироваться на те же три энергетические схемы, которые приняты и у проф. Мелентьева.

1. Энергоснабжение привода рабочих машин производится от ТЭЦ при наличии на предприятии или группе предприятий тепловых нагрузок, покрытие которых может осуществляться либо за счет использования тепла отработавшего пара паровых приводов (рис. 1, схема I), либо за счет отбора пара от теплофикационных турбин ТЭЦ при электрическом приводе рабочих машин (рис. 1, схема II).

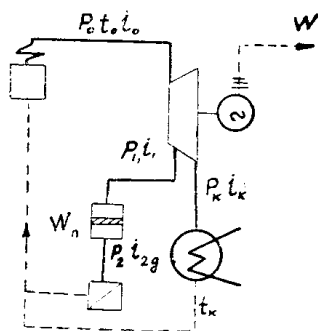


Схема I.
Паровой привод.

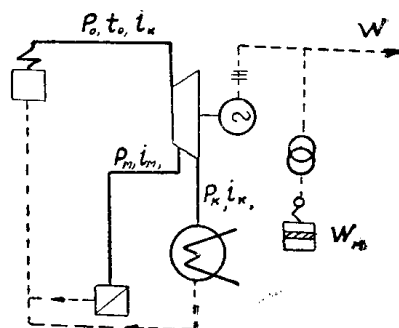


Схема II.
Электрический привод.

Рис. 1

2. Энергоснабжение привода рабочих машин осуществляется от ТЭЦ, но на данном предприятии нет тепловых потребителей, могущих использовать тепло отработавшего пара паровых приводов. В этом случае отработавший пар при наличии парового привода используется для получения электроэнергии в турбине мягкого пара или в последних ступенях турбины ТЭЦ (рис. 2, схема I). При наличии же электрического привода пар от начальных до конечных параметров срабатывается в паровой турбине, а снабжение электроэнергией привода рабочих машин идет от электрической сети (рис. 2, схема II).

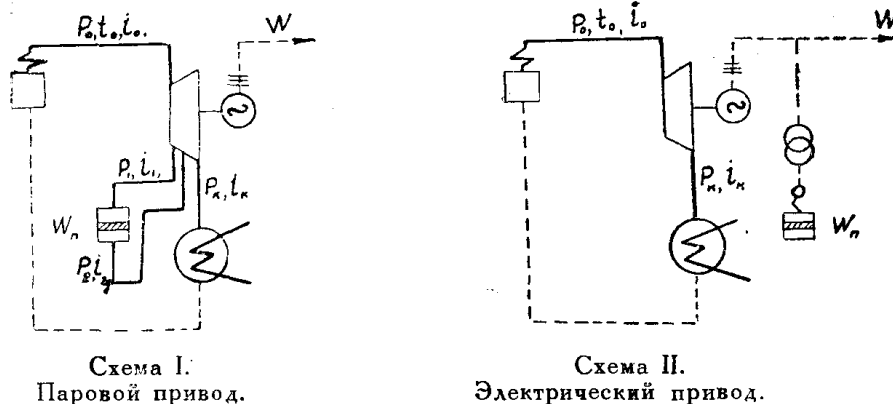


Рис. 2

3. Теплоснабжение предприятия осуществляется от заводской котельной, а электроснабжение—от районной электроэнергетической системы.

В этом случае возможно применение парового привода с использованием отработавшего пара для нужд теплоснабжения (рис. 3, схема I), или применение электрического привода и теплоснабжения от заводской промышленной котельной (рис. 3, схема II).

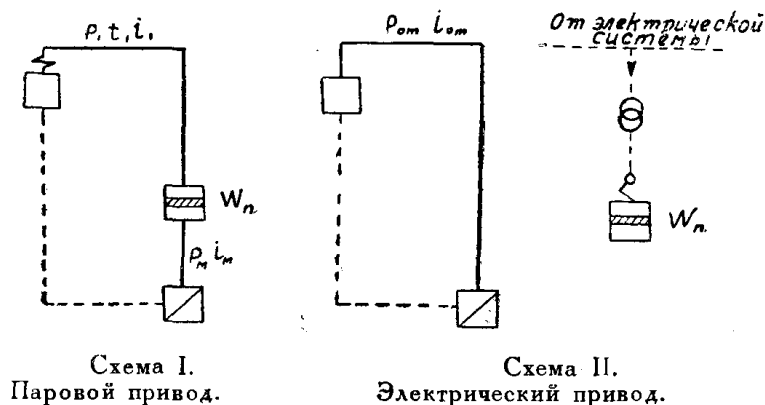


Рис. 3

Для простоты исследования наличием отборов пара на регенерацию от турбин ТЭЦ пренебрегаем, как это делает и проф. Мелентьев.

1-й случай:

Теплоснабжение и электроснабжение осуществляется от заводской ТЭЦ. Отработавший пар используется для нужд теплоснабжения (рис. 1).

При заданной выработке W квт-ч электроэнергии часовой расход пара D_1 кг/час на ТЭЦ, снабжающей паром приводы рабочих машин (схема I), может быть представлен обычным энергетическим уравнением турбины

$$D_1 = D_{кэ} + y_1 D_n \text{ кг/час}, \quad (1)$$

где $D_{кэ}$ кг/час — расход пара на выработку электрической энергии при чисто конденсационном режиме;

D_n кг/час — расход пара на паровой привод рабочих машин;

y_1 — коэффициент недовыработки пара, отобранного на привод рабочих машин.

Как известно,

$$D_{кэ} = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_g} \text{ кг/час}, \quad (2)$$

а коэффициент недовыработки

$$y_1 = \frac{i_1 - i_{к1}}{i_0 - i_k}, \quad (3)$$

где $i_0 - i_k$ ккал/кг — теоретический тепловой перепад в турбине ТЭЦ;

$i_1 - i_{к1}$ ккал/кг — теоретический тепловой перепад от отбора до конденсатора;

$\eta_{oi}, \eta_m, \eta_g$ — внутренний относительный, механический к. п. д. и к. п. д. генератора.

Расход пара на привод рабочей машины можно записать в следующем виде:

$$D_n = \frac{860 W_n}{(i_1 - i_2) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \text{ кг/час}, \quad (4)$$

где W_n квт-ч. — полезная работа рабочей машины;

$i_1 - i_2$ ккал/кг — теоретический тепловой перепад от отбора до выхлопа привода рабочей машины;

η_n^n — к. п. д. потока тепла от турбины до рабочей машины;

$\eta_{oi}^n \eta_m^n$ — внутренний относительный и механический к. п. д. парового привода рабочей машины;

η_p — к. п. д. рабочей машины при работе на данном режиме.

Подставив $D_{кэ}$, y_1 и D_n из уравнений (2), (3) и (4) в уравнение (1), получим

$$D_1 = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_g} + \frac{860 W_n (i_1 - i_{к1})}{(i_0 - i_k) (i_1 - i_2) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \text{ кг/час}. \quad (5)$$

Часовой расход пара D_2 при этих же условиях, но при электрическом приводе рабочих машин (схема II), будет

$$D_2 = \frac{860 (W + W'_n)}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_g} + y_2 D_m \text{ кг/час}, \quad (6)$$

где W'_n квт-ч — количество электроэнергии, выработанное турбиной для использования в приводе рабочей машины;

D_m кг/час — отбор пара на нужды теплоснабжения;

y_2 — коэффициент недовыработки пара, отобранного для нужд теплоснабжения.

Коэффициент недовыработки в данном случае будет

$$y_2 = \frac{i_M - i_{\kappa_2}}{i_0 - i_{\kappa}} \quad (7)$$

где $i_M - i_{\kappa_2}$ — теоретический тепловой перепад от отбора на теплоснабжение до конденсатора

Учитывая то, что теплофикационная установка (бойлерная) может находиться вблизи паротурбинной установки, как это имеет место на современных ТЭЦ, потерями пара от отбора до теплофикационной установки, а также тепловыми потерями на этом участке можно пренебречь.

Нетрудно видеть, что

$$W_n' = \frac{W_n}{\eta_{тр} \eta_{эм} \eta_D} \text{ квт-ч,} \quad (8)$$

где $\eta_{тр}$ — к.п.д. трансформатора и электросети;

$\eta_{эм}$ — электромеханический к.п.д. электропривода.

Подставим в уравнение (6) значение W_n' из уравнения (8) и значение y_2 из уравнения (7). При этом будем иметь

$$D_2 = \frac{860 W}{(i_0 - i_{\kappa}) \eta_{oi} \eta_m \eta_2} +$$

$$+ \frac{860 W_n}{(i_0 - i_{\kappa}) \eta_{oi} \eta_m \eta_2 \eta_{тр} \eta_{эм} \eta_D} + D_M \frac{i_M - i_{\kappa_2}}{i_0 - i_{\kappa}} \text{ кг/час.} \quad (9)$$

Экономия условного топлива при применении электрического привода может быть выражена

$$\Delta B = b (D_1 - D_2) = b \left[\frac{860 W_n}{(i_0 - i_{\kappa}) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \frac{i_1 - i_{\kappa_1}}{i_1 - i_2} - \right.$$

$$\left. \frac{860 W_n}{(i_0 - i_{\kappa}) \eta_{oi} \eta_m \eta_2 \eta_{тр} \eta_{эм} \eta_D} - D_M \frac{i_M - i_{\kappa_2}}{i_0 - i_{\kappa}} \right] \text{ кг/час,} \quad (10)$$

где b кг/кг — удельный расход условного топлива на выработку 1 кг пара в котельной ТЭЦ.

Теоретические и действительные тепловые перепады в турбине ТЭЦ от начальных параметров до давления отбора на паровой привод, до давления отбора на нужды теплоснабжения, а также теоретические и действительные тепловые перепады в паровом приводе, построенные в диаграмме i_s , даны на рис. 4. Кроме этого, на этом рисунке показаны теоретические тепловые перепады $(i_1 - i_{\kappa_3})$, $(i_M - i_{\kappa_2})$ и $(i_{2g} - i_{\kappa_3})$.

При одинаковом тепловом потреблении в обеих схемах и при полном использовании отработавшего пара паровых приводов на нужды теплоснабжения можно написать

$$D_M (i_M - t_M) = D_n (i_{2g} - t_2), \quad (11)$$

а отсюда

$$D_M = D_n \frac{i_{2g} - t_2}{i_M - t_M}, \quad (12)$$

где i_{2g} ккал/кг — энтальпия пара, обработавшего в паровом приводе;
 t_m °С — температура конденсата из бойлеров при их обогреве отборным паром;
 t_2 °С — то же при обогреве бойлеров обработавшим паром паровых приводов.

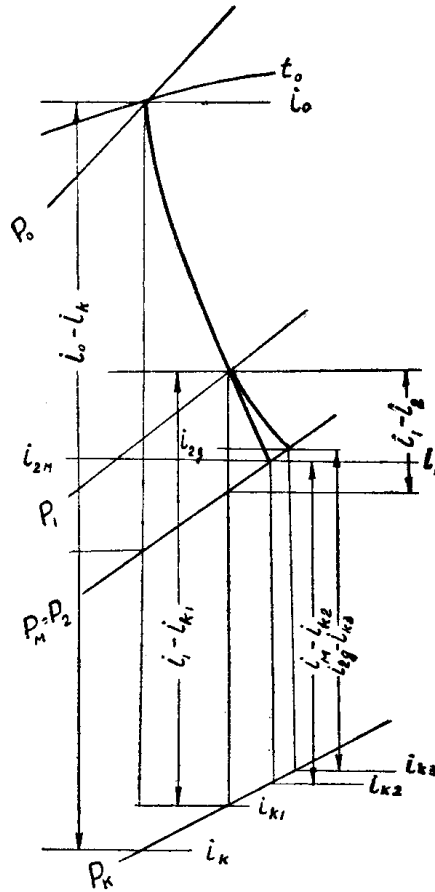


Рис. 4

Принимаем, что в обоих случаях переохлаждение конденсата либо отсутствует, либо имеет одинаковую величину. При этом, принимая во внимание то, что $P_m = P_2$,

$$t_m = t_2. \quad (13)$$

Подставим в уравнение (12) значение D_n из уравнения (4), учитывая в то же время равенство (13). При этом получим

$$D_m = \frac{860 W_n}{(i_1 - i_2) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \frac{i_{2g} - t_2}{i_m - t_2} \text{ кг/час.} \quad (14)$$

Заменяя в уравнении (10) D_m его значением из уравнения (14), будем иметь

$$\Delta B = \frac{860 \cdot b W_n}{(i_0 - i_k)} \left[\frac{1}{\eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \left(\frac{i_1 - i_{k1}}{i_1 - i_2} - \frac{i_{2g} - t_2}{i_m - t_2} \frac{i_m - i_{2k}}{i_1 - i_2} \right) - \frac{1}{\eta_{oi} \eta_m \eta_2 \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \text{ кг/час.} \quad (15)$$

Из диаграммы i_s (рис. 4) видно, что

$$i_M = i_1 - (i_1 - i_2) \eta_{oi} \quad (16)$$

$$i_{2g} = i_1 - (i_1 - i_2) \eta_{oi}^n. \quad (17)$$

Произведя несложные алгебраические преобразования в круглых скобках первого члена уравнения (15), стоящего внутри квадратных скобок, с учетом уравнений (16) и (17) получим

$$\Delta B = \frac{860 b W_n}{i_0 - i_k} \left[\frac{1}{\eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y} - \frac{1}{\eta_{oi} \eta_m \eta_2 \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \text{кз/час}, \quad (18)$$

$$\text{где } \eta_y = \frac{1}{\eta_{oi} + \frac{i_{k2} - i_{k1}}{i_1 - i_2} - \frac{i_M - i_{k2}}{i_M - t_2} (\eta_{oi} - \eta_{oi}^n)}. \quad (19)$$

Удельный расход условного топлива на выработанный кз пара в котельной можно выразить

$$b = \frac{i_0 - t_k}{7000 \eta_{кy}} \text{кз/кз}, \quad (20)$$

где t_k °С — температура питательной воды в котельной;
 $\eta_{кy}$ — к.п.д. котельной установки.

При этом уравнение (18) можно переписать в следующем виде

$$\Delta B = \frac{860 W_n}{7000 \eta_{кy} \eta_t} \left[\frac{1}{\eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y} - \frac{1}{\eta_{oi} \eta_m \eta_2 \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \text{кз/час}, \quad (21)$$

где η_t — термический к.п.д. установки, который выражается

$$\eta_t = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - t_k}. \quad (22)$$

В случае неполного использования отработавшего пара на нужды теплоснабжения, выразим, как и Мелентьев, долю использования этого пара

$$\delta = \frac{D_{исп}}{D_n}. \quad (23)$$

Тогда количество отборного пара из промежуточных ступеней турбины ТЭЦ для нужд теплоснабжения при применении электрического привода рабочих машин составит

$$D_M = D_{исп} \frac{i_{2g} - t_2}{i_M - t_2} = \delta D_n \frac{i_{2g} - t_2}{i_M - t_2} \text{кз/час}. \quad (24)$$

С учетом этого уравнение (19) примет вид

$$\eta_y = \frac{1}{\delta \eta_{oi} + \frac{(1-\delta) i_1 + \delta i_{k2} - i_{k1}}{i_1 - i_2} - \frac{i_M - i_{k2}}{i_M - t_2} (\eta_{oi} - \eta_{oi}^n) \delta}. \quad (25)$$

Для объяснения физической сущности коэффициента η_y укажем на следующее. При отборе пара на паровой привод увеличивается коэффи-

коэффициент недовыработки y_1 по сравнению с коэффициентом y_2 , как это видно из сравнения уравнений (3) и (7). Этот фактор вызывает увеличение расхода пара на турбины ТЭЦ. Но при электрическом приводе увеличивается выработка электроэнергии турбинами на величину потребляемой энергии электрическими приводами, что ведет к увеличению расхода пара турбинами. Вместе с этим за счет уменьшения y_2 по сравнению с y_1 расход пара на турбины уменьшается. Влияние этих факторов, взятых вместе, учитывается коэффициентом η , который мы условно называем коэффициентом уравнения.

2-й случай:

Электроснабжение осуществляется от заводской ТЭЦ. Отработавший пар приводов машин используется в турбине мягкого пара или в последних ступенях турбин ТЭЦ (рис. 2) из-за отсутствия тепловых потребителей.

При заданной выработке электроэнергии W кВт-ч расход пара на турбину при паровом приводе рабочих машин (схема 1) при полном использовании отработавшего пара приводов в последних ступенях турбины выразится

$$D_1 = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + D_n \frac{i_1 - i_{k1}}{i_0 - i_k} - \frac{i_{2g} - i_{k3}}{i_0 - i_k} D_n \quad \text{кг/час}, \quad (26)$$

где $i_{2g} - i_{k3}$ ккал/кг — теоретический тепловой перепад от выхлопа парового привода до конденсатора.

Принимая во внимание уравнения (4) и (17), уравнение (26) после простейших алгебраических преобразований примет следующий вид

$$D_1 = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{(i_0 - i_k) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_{yp}} \quad \text{кг/час}, \quad (27)$$

где

$$\eta_y = \frac{1}{\eta_{oi}^n + \frac{i_{k3} - i_{k1}}{i_1 - i_2}}. \quad (28)$$

Часовой расход пара при электрическом приводе рабочих машин будет

$$D_2 = \frac{W + W_n'}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} \quad \text{кг/час}. \quad (29)$$

С учетом уравнения (8) уравнение (29) можно переписать в следующем виде

$$D_2 = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \quad \text{кг/час}, \quad (30)$$

а экономия условного топлива от применения электрического привода будет

$$\Delta B = \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ky} \eta_t} \left[\frac{1}{\eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y} - \frac{1}{\eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \quad \text{кг/час}. \quad (31)$$

При неполном использовании отработавшего пара паровых приводов, если выразим

$$\delta = \frac{D_{исп}}{D_n}, \quad (32)$$

уравнение для коэффициента уравнивания примет вид

$$\eta_y = \frac{1}{\eta_{oi}^n + \frac{i_1(1-\delta) + (\delta i_{k3} - i_{k1})}{i_1 - i_2}} \quad (33)$$

3-й случай:

Электроснабжение осуществляется от районной электрической сети, а теплоснабжение от заводской котельной (рис. 3).

Расход пара турбинами районной системы на выработку заданного количества электроэнергии W *квт-ч* при паровом приводе рабочих машин (схема 1) выразится

$$D_1^p = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} \text{ кг/час.} \quad (34)$$

Выработка пара в заводской котельной составит

$$D_1^k = \frac{860 W_n}{(i_1 - i_m) \eta_n^r \eta_{oi}^n \eta_m^r \eta_p} \text{ кг/час.} \quad (35)$$

Суммарный расход топлива в районной системе и в заводской котельной будет

$$B_1 = b_p D_1^p + b_k D_1^k = b_p \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + b_k \frac{860 W}{(i_1 - i_m) \eta_n^r \eta_{oi}^n \eta_m^r \eta_p} \text{ кг/час,} \quad (36)$$

где b_p *кг/кг* — удельный расход условного топлива на выработанный килограмм пара в котельных районной системы;

b_k *кг/кг* — то же в заводской котельной.

Удельный расход условного топлива на 1 *кг* пара в котельных районной системы может быть выражен уравнением (20). Что касается заводской котельной, то будем предполагать, что отпуск тепла осуществляется в виде горячей воды, подогреваемой в бойлерах. Конденсат же греющего пара возвращается в котельную с температурой t_m и используется как питательная вода. При этом удельный расход топлива в заводской котельной может быть представлен как

$$b_k = \frac{i_1 - t_m}{7000 \eta_{ky}^n} \text{ кг/кг.} \quad (37)$$

Подставляя вместо b_p и b_k их значения из уравнений (20) и (37), будем иметь

$$B_1 = \frac{860 W}{7000 \eta_{ky} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{7000 \eta_n^r \eta_t^n \eta_{oi}^n \eta_m^r \eta_p \eta_n^r} \text{ кг/час,} \quad (38)$$

где $\eta_t^n = \frac{i_1 - i_m}{i_1 - t_m}$ — термический к. п. д. цикла парового привода рабочей машины по выработке механической энергии. При этом установка рассматривается как противоавдавленческая.

В случае применения электрического привода рабочих машин выработка электроэнергии в районной системе должна увеличиться на величину

отпуска энергии для приводов рабочих машин. Выработка пара в котельных районной системы при этом будет

$$D_2^p = \frac{860 W}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{(i_0 - i_k) \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \text{ кг/час.} \quad (39)$$

а расход условного топлива

$$B^p_2 = \frac{860 W}{7000 \eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \text{ кг/час.} \quad (40)$$

В случае применения электрического привода рабочих машин заводская котельная будет вырабатывать пар только для нужд теплоснабжения; для этого необходимое количество тепла примем равным количеству тепла, отпускаемого с отработавшим паром паровых приводов при полном его использовании. При этом

$$D_{om}(i_{om} - t_{om}) = D_1^k(i_m - t_m), \quad (41)$$

где D_{om} кг/час — количество пара, вырабатываемого заводской котельной для нужд теплоснабжения;

i_{om}, t_{om} ккал/кг — энтальпия пара, вырабатываемого заводской котельной и конденсата этого пара, возвращаемого из бойлеров.

Из уравнения (41)

$$D_{om} = D_1^k \frac{i_m - t_m}{i_{om} - i_{om}} \text{ кг/час.} \quad (42)$$

Подставим в последнее уравнение значение D_1^k из уравнения (35); при этом будем иметь

$$D_{om} = \frac{860 W_n}{(i_1 - i_m) \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \frac{i_m - t_m}{i_{om} - i_{om}} \text{ кг/час.} \quad (43)$$

Если принять удельный расход условного топлива в заводской котельной

$$b_k = \frac{i_{om} - t_{om}}{7000 \eta_{ку}^n} \text{ кг/кг,} \quad (44)$$

то расход условного топлива в заводской котельной будет

$$B_2^k = \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \frac{i_m - t_m}{i_1 - i_m} \text{ кг/час.} \quad (45)$$

Прибавим к числителю последнего множителя уравнения (45) и вычтем из него одинаковую величину i_1 . После этого несложные преобразования дают

$$B_2^k = \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_t^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} - \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \text{ кг/час.} \quad (46)$$

Суммарный расход условного топлива в районной системе и заводской котельной получим

$$B_2 = B^p_2 + B_2^k = \frac{860 W}{7000 \eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z} + \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} + \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_t^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} - \frac{860 W_n}{7000 \eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} \text{ кг/час.} \quad (47)$$

Экономия условного топлива при применении электрического привода будет

$$\Delta B = B_1 - B_2 = \frac{860 W_n}{7000} \left[\frac{1}{\eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p} - \frac{1}{\eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \text{ кг/час.} \quad (48)$$

При неполном использовании отработавшего пара паровых приводов для нужд теплоснабжения

$$D_{om} = \delta D_1^* \frac{i_m - t_m}{i_{om} - t_{om}} \text{ кг/час,} \quad (49)$$

а

$$\Delta B = \frac{860 W_n}{7000} \left[\frac{1}{\eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_t^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y} - \frac{1}{\eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p} \right] \text{ кг/час,} \quad (50)$$

где

$$\eta_y = \frac{1}{(1 - \delta) + \delta \eta_t^n}. \quad (51)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенного анализа видно, что для определения выгодности электрического или парового привода в тех или иных энергетических схемах нет нужды вводить какие-то новые понятия вроде того, как это делает проф. Мелентьев, которые, кстати, не облегчают, а затрудняют понимание сущности рассматриваемого вопроса, а обходиться широко известными коэффициентами полезного действия теплосиловых установок.

Электрический привод, как видно из уравнений (21), (31) и (50), будет выгоднее парового, если:

для энергетической схемы по рис. 1 и 2

$$\eta_n^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y < \eta_{oi} \eta_m \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p, \quad (52)$$

для энергетической схемы по рис. 3

$$\eta_{ку}^n \eta_n^n \eta_t^n \eta_{oi}^n \eta_m^n \eta_p \eta_y < \eta_{ку} \eta_t \eta_{oi} \eta_z \eta_{mp} \eta_{эм} \eta_p. \quad (53)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелентьев Л. А. — Об областях применения парового привода для рабочих машин, „За экономию топлива“ № 2, 1952 г.
2. Мелентьев Л. А. — Основные вопросы промышленной теплоэнергетики. ГЭИ, М.—Л., 1954.