МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ
"СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПОПРАВОК К РАСХОДУ ТЕПЛА ТУРБОАГРЕГАТАМИ

СО 34.30.739

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1981

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ
"СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПОПРАВОК К РАСХОДУ ТЕПЛА ТУРБОАГРЕГАТАМИ

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО

Москва 1981

УДК 621.165.

Составлено службой топливоиспользования МГП Союзтехэнерго

С о с т а в и т е л и инженеры В.С.ЦВЕТКОВ, Л.А.ГАВРИЛИК

В настоящих Методических указаниях рассмотрены вопросы, связанные с расчетами поправок к расходам тепла и пара на турбоагрегат при условии сохранения постоянства его мощности и отпуска тепла или пара из регулируемых отборов, поправок к мощности турбоагрегата при сохранении постоянства расходов свежего пара на турбоагрегат и тепла или пара в регулируемые отборы, а также поправок к мощности турбоагрегата и к расходу свежего пара на турбоагрегат при его работе по тепловому графику.

Методические указания предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся составлением типовых энергетических и нормативных характеристик турбоагрегатов, а также тепловыми испытаниями турбоагрегатов.

© СПО Союзтехэнерго, 1981.

УТВЕРЖДАЮ:
Главный инженер
ПО "Союзтехэнерго"
Г.Г.ЯКОВЛЕВ
30 апреля 1981 г.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При решении вопросов нормирования и планирования основных технико-экономических показателей работы турбоагрегатов и оценки их в эксплуатационных условиях при отклонении тех или иных параметров пара, а также условий работы от исходных (номинальных) необходимо располагать соответствующими поправками, дающими возможность количественно определять изменения основных показателей.

При сложившейся практике нормирования и анализа работы турбоагрегатов наибольшее значение имеют поправки:

- к расходу тепла на выработку электроэнергии $Q_э$ и расходу свежего пара D_0 при работе турбоагрегата по электрическому графику нагрузки и неизменных мощности турбоагрегата и количества отбираемого из отборов тепла (для теплофикационных турбин) $N_т$ и $Q_{отб}$;
- к мощности турбоагрегата при работе его по электрическому графику и неизменных расходе свежего пара и количества отбираемого тепла;
- к мощности турбоагрегата и расходу свежего пара при работе его по тепловому графику и неизменном количестве отпускаемого от турбины тепла.

В формулах настоящего раздела не будут указываться единицы измерения величин, поскольку назначением данных формул является раскрытие взаимосвязей входящих в них величин. Рабочие формулы, по которым следует производить расчеты, будут даны в соответствующих разделах.

I.I. К подсчету поправок к расходу тепла и свежего пара при $N_т = const$, $Q_{отб}(D_{отб}) = const$

Поправка к расходу тепла на выработку электроэнергии $\Delta Q_э$ при неизменных значениях $N_т$ и $Q_{отб}$ численно равна изменению

общего (полного) расхода тепла на турбоагрегат ΔQ_0:

$$\Delta Q_э = Q_э - Q_{э(и)} = Q_0 - Q_{0(и)} = \Delta Q_0 \quad , \qquad (I.I)$$

поскольку $Q_э = Q_0 - Q_{отб}$, $Q_{э(и)} = Q_{0(и)} - Q_{отб}$.

В формуле (I.I) и далее наличие дополнительного подстрочного индекса и указывает на принадлежность величины к режиму с исходными (номинальными) условиями, параметрами пара, а отсутствие этого индекса - к режиму с новыми, изменившимися условиями, параметрами пара.

Полный (общий) расход тепла на турбоагрегат (сумма расходов тепла на выработку электроэнергии и из отборов турбины) в общем виде при исходных условиях может быть равен:

$$Q_{0(и)} = Q_{э(и)} + Q_{отб(и)} = D_{0(и)} i_{0(и)} - G_{п.в(и)} \bar{t}_{п.в(и)} + D_{пп(и)} i''_{пп(и)} - D_{пп(и)} i'_{пп(и)} + G_{доб(и)} (D_{доб(и)}) \bar{t}_{доб(и)} (i_{доб(и)}) ,$$

или

$$Q_{0(и)} = D_{0(и)} (i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп(и)} D_{0(и)} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)}) - G_{доб(и)} (D_{доб(и)}) \left[\bar{t}_{п.в(и)} - \bar{t}_{доб(и)} (i_{доб(и)}) \right] =$$

$$= D_{0(и)} \left[i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)} + K_{пп(и)} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)}) \right] - G_{доб(и)} (D_{доб(и)}) \left[\bar{t}_{п.в(и)} - \bar{t}_{доб(и)} (i_{доб(и)}) \right] . \qquad (I.2)$$

В дальнейшем для упрощения вывода необходимых формул без изменения физического существа результатов принимается, что $G_{доб}(D_{доб}) = 0$. Тогда $Q_{0(и)} = D_{0(и)} \left[i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)} + K_{пп(и)} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)}) \right]$. (I.2')

При изменившихся условиях, параметрах пара, но исходных значениях $N_т$, $Q_{от}$

$$Q_0 = (D_{0(и)} + \Delta D_0) \left[(i_0 - \bar{t}_{п.в}) + K_{пп} (i''_{пп} - i'_{пп}) \right] . \qquad (I.2)$$

В формулах (I.2), (I.2′), (I.2″) принято:

D_0, $G_{пв}$, $D_{пп}$, $G_{доб}$ ($D_{доб}$) – соответственно расход свежего пара, питательной воды, пара на промперегрев, добавок в тепловую схему воды (подвод пара от постороннего источника), $G_{доб}(D_{доб}) = (G_{пв} - D_0)$;

i_0, $i''_{пп}$, $i'_{пп}$, $\bar{t}_{пв}$, $\bar{t}_{доб}$ ($i_{доб}$) – соответственно энтальпия свежего пара, пара после промперегрева, пара на промперегрев, питательной воды, добавка воды (подводимого в схему пара от постороннего источника);

$\Delta D_0 = (D_0 - D_{0(и)})$ – изменение расхода свежего пара (поправка) для сохранения исходных значений $N_т$ и $Q_{отб}$;

$K_{пп}$ – коэффициент соотношения между расходом пара на промперегрев и расходом свежего пара:

$$K_{пп(и)} = \frac{D_{пп(и)}}{D_{0(и)}}; \qquad K_{пп} = \frac{D_{пп}}{(D_{0(и)} + \Delta D_0)}.$$

Подставив в формулу (I.2)

$$i_0 = i_{0(и)} + \Delta i, \quad \bar{t}_{пв} = \bar{t}_{пв(и)} + \Delta \bar{t}_{пв},$$

$$i''_{пп} = i''_{пп(и)} + \Delta i''_{пп}, \quad i'_{пп} = i'_{пп(и)} + \Delta i'_{пп}$$

и приняв $K_{пп} = K_{пп(и)}$ (без практического ущерба для точности в конечном результате), получим:

$$\begin{aligned} Q_0 = {} & D_{0(и)}\left[(i_{0(и)} - \bar{t}_{пв(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right] + \\ & + D_{0(и)}\left[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{пв}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right] + \\ & + \Delta D_0\left[(i_0 - \bar{t}_{пв}) + K_{пп}(i''_{пп} - i'_{пп})\right] + \\ & + \Delta D_0\left[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{пв}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]. \end{aligned} \qquad (I.3)$$

Изменение расхода тепла определяется вычитанием из уравнения (I.2′) уравнения (I.3).

После преобразований получим

$$\Delta Q_o = \Delta Q_э = D_{o(и)}\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right] +$$
$$+ \Delta D_o\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right] +$$
$$+ \Delta D_o\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]. \qquad (I.4)$$

В долях от исходного значения расхода тепла:

$$\frac{\Delta Q_o}{Q_{o(и)}} = \frac{D_{o(и)}\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]}{D_{o(и)}\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]} +$$
$$+ \frac{\Delta D_o\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]}{D_{o(и)}\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]} +$$
$$+ \frac{\Delta D_o\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]}{D_{o(и)}\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]} =$$
$$= \frac{\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]}{\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]} +$$
$$+ \frac{\Delta D_o}{D_{o(и)}} + \frac{\Delta D_o}{D_o}\cdot\frac{\left[(\Delta i_o - \Delta\bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right]}{\left[(i_{o(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]}. \qquad (I.5)$$

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_{э(и)}} = \frac{\Delta Q_э}{Q_{o(и)} - Q_{отб(и)}} = \frac{\Delta Q_э}{Q_{o(и)}\left(1 - \frac{\sum Q_{отб(и)}}{Q_{o(и)}}\right)} =$$

$$= \frac{[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})]}{[(i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})]\left(1 - \frac{Q_{отб(и)}}{Q_{0(и)}}\right)} +$$

$$+ \frac{\Delta D_0}{D_{0(и)}\left(1 - \frac{\sum Q_{отб(и)}}{Q_{0(и)}}\right)} +$$

$$+ \frac{\Delta D_0[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})]}{D_0\left(1 - \frac{Q_{отб(и)}}{Q_{0(и)}}\right)[(i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})]}. \quad (I.5')$$

Обозначив:

$$\frac{(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})}{(i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})} = \alpha_{\Delta i};$$

$$\frac{\Delta D_0}{D_{0(и)}} = \alpha_{\Delta D_0}, \text{ получим:}$$

$$\frac{\Delta Q_0}{Q_{0(и)}} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_0} + \alpha_{\Delta D_0}\alpha_{\Delta i}); \quad (I.5^{н})$$

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_{э(и)}} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_0} + \alpha_{\Delta D_0}\alpha_{\Delta i}) \frac{1}{\left(1 - \frac{\sum Q_{отб(и)}}{Q_{0(и)}}\right)}. \quad (I.5^{м})$$

Таким образом, при неизменных $N_т$ и $Q_{отб(и)}$ поправка к расходу тепла определяется изменениями значений как энтальпии пара, воды, так и расхода свежего пара на турбоагрегат.

Если $\alpha_{\Delta D_0}$ и $\alpha_{\Delta i} \leq 0{,}05$, произведением $\alpha_{\Delta D_0}\alpha_{\Delta i}$ можно пренебречь.

Содержащиеся в формулах (I.2″) - (I.5‴) значения изменения расхода свежего пара ΔD_0 (поправки к расходу свежего пара) рекомендуется определять заменой значения изменения мощности турбоагрегата (поправки к мощности), определяемого при условии $D_0 = const$, $Q_{отб}=const$ или $D_{отб} = const$ (вследствие отклонения условий, параметров пара, соответствующим эквивалентным изменением расхода свежего пара ΔD_0 из соотношения:

$$-\Delta D_0 = \Delta d_0 \Sigma \Delta N_T \ , \qquad (I.6)$$

где Δd_0 - в общем виде коэффициент, характеризующий связь изменений расхода свежего пара и мощности турбоагрегата или относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности турбоагрегата кг/(кВт·ч); т/(МВт·ч) зависимости $D_0 = f(N_T)$.

Сущность методики определения значения ΔD_0 понятна из рассмотрения рис.I, на котором изображены спрямленные участки зависимости общего вида $D_0=f(N_T, Q_{отб})$, представленные как $D_0 = D_{xx}+\Delta d_0 N_T + K Q_{отб}$ при условии $Q_{отб} = const$. Зависимость I соответствует исходным условиям работы турбоагрегата и исходным (номинальным) параметрам пара. Изменившиеся условия работы, параметры пара при неизменных произвольно выбранных значениях D_{01}, D_{02}, D_{03} и т.д. вызвали, например, увеличение мощности соответственно на $\Sigma\Delta N_{T1}$, $\Sigma\Delta N_{T2}$, $\Sigma\Delta N_{T3}$. Новые значения мощности (при неизменных D_0 и $Q_{отб}$) будут составлять $N_{T1}+\Sigma\Delta N_{T1}$, $N_{T2}+\Sigma\Delta N_{T2}$, $N_{T3}+\Sigma\Delta N_{T3}$ и т.д.

По полученным таким образом значениям N_T построена новая зависимость 2, отражающая работу того же турбоагрегата, но при измененных условиях, параметрах пара.

Из сопоставления значений D_0, определяемых по зависимости I и 2 для одного и того же значения N_T (в данном случае $N_T = N_{T3}$), и находится значение поправки ΔD_0.

Как видно из рис.I, отрезок AC определяет искомое значение ΔD_0, а отрезок AB - заданное значение $\Sigma\Delta N_T$ (в данном случае $\Sigma\Delta N_T = \Sigma\Delta N_{T3}$).

Из рассмотрения прямоугольного треугольника ABC следует, что $AC = tg\alpha\ AB$. Поскольку $tg\alpha=\frac{AC}{AB}=\frac{\Delta D_0}{\Delta N}=\Delta d_0$,

а $AB=\Sigma\Delta N$, то

$$\Delta D_0=\Delta d_0 \Sigma \Delta N ,$$

где Δd_0 - относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности при изменившихся условиях работы, параметрах пара (присущий зависимости 2).

В рассмотренном случае

$$\Delta d_0 = \frac{D_{03} - D_{02}}{(N_{T3} + \Sigma \Delta N_{T3}) - (N_{T2} + \Sigma \Delta N_{T2})} =$$

$$= \frac{D_{03} - D_{02}}{(N_{T3} - N_{T2}) \left(1 + \dfrac{\Sigma \Delta N_{T3} - \Sigma \Delta N_{T2}}{N_{T3} - N_{T2}}\right)} =$$

$$= \Delta d_{0(и)} \frac{1}{\left(1 + \dfrac{\Sigma \Delta N_{T3} - \Sigma \Delta N_{T2}}{N_{T3} - N_{T2}}\right)} ,$$

где $\Delta d_{0(и)} = \dfrac{D_{03} - D_{02}}{N_{T3} - N_{T2}}$ - относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности по исходной зависимости $D_0 = f(N_T)$ (зависимость I).

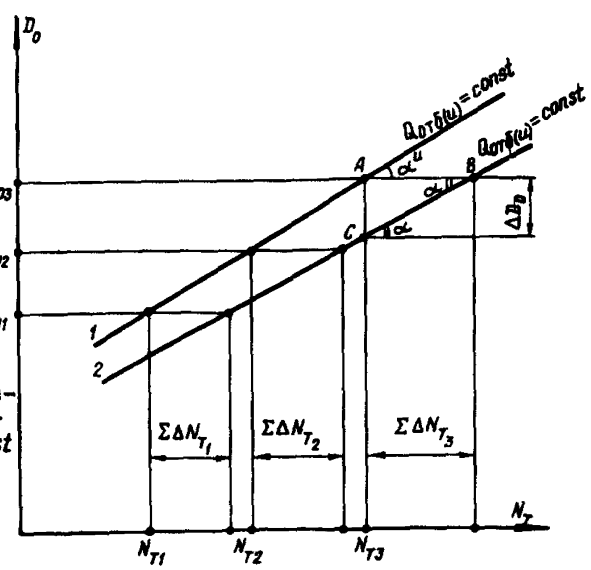


Рис.I. Определение изменения значения расхода свежего пара ΔD_0 при $N_T=const$

В общем виде

$$\Delta d_0 = \Delta d_{0(и)} \frac{1}{\left(1 + \frac{\Sigma\Delta N_{T2} - \Sigma\Delta N_{T1}}{N_{T2} - N_{T1}}\right)}, \qquad (I.7)$$

где $N_{T2} > N_{T1}$.

Как видно из выражения (I.7), связь между $\Delta d_{0(и)}$ и Δd_0 находится в зависимости от разности поправок к мощности, определяемых для задаваемых значений D_0 , в пределах которых находится Δd_0 .

В частных случаях, когда $\Sigma\Delta N_{T2} = \Sigma\Delta N_{T1}$, то

$\Delta d_{0(и)} = \Delta d_0$;

если $\Sigma\Delta N_{T2} = \Sigma\alpha_2 N_T$ и $\Sigma\Delta N_T = \Sigma\alpha_1 N_T$, а

$\Sigma\alpha_2 = \Sigma\alpha_1 = \Sigma\alpha$, то $\Delta d_0 = \Delta d_{0(и)} \frac{1}{(1+\Sigma\alpha)}$. (I.7')

Точность определения значения ΔD_0 по выражению (I.6) при заданном значении $\Sigma\Delta N_T$ будет определяться точностью нахождения, Δd_0 . Относительный прирост Δd_0 в общем случае рекомендуется определять на конкретном участке зависимости $D_0 = f(N_T)$ при $Q_{отб}(D_{отб}) = const$, ограниченном значениями N_T и $(N_T - \Sigma\Delta N_T)$ или N_T и $(N_T + \Sigma\Delta N_T)$, представляя его в виде прямой или в случае необходимости – ломаной линией.

Приведенные выше указания по определению значения ΔD_0 в равной степени распространяются как на конденсационные, так и на теплофикационные турбоагрегаты.

Ниже рассматривается физическое содержание относительного прироста расхода свежего пара.

Мощность турбоагрегата при конденсационном режиме, заданных параметрах и расходе свежего пара D_0 в общем виде может быть выражена как

$$N_{T(и)} = D_{0(и)} h_{0(и)}^{p_0 - p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2} \left(1 - \frac{\Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i\ рег(и)}^{p_{отб} - p_2}\right)}{D_{0(и)} h_{0(и)}^{p_0 - p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2}}\right) \frac{1}{860} - \Sigma\Delta N_{тм(и)}^{пот}. \qquad (I.8)$$

При новом значении расхода свежего пара ($D_{0(и)} + \Delta D_0$) мощность турбоагрегата составит:

$$(N_{T(и)} + \Delta N_T) = (D_{0(и)} + \Delta D_0)\, h_{0(и)}^{p_0 - p_2} \left(\eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2} + \Delta \eta_{oi}^{p_0 - p_2}\right) \times$$

$$\times \left[1 - \frac{\sum \left[(D_{рег(и)} + \Delta D_{рег})\left(h_{i\,рег}^{p_{отб} - p_2} + \Delta h_{i\,рег}^{p_{отб} - p_2}\right)\right]}{(D_{0(и)} + \Delta D_0)\, h_{0(и)}^{p_0 - p_2} \left(\eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2} + \Delta \eta_{oi}^{p_0 - p_2}\right)} \frac{1}{860} - \right.$$

$$\left. - \left(\Sigma \Delta N_{тн(и)}^{пот} + \delta \Sigma \Delta N_{тн}^{пот}\right)\right] \qquad (I.8)$$

В выражениях (I.8) и (I.8') принято:

$h_{0(и)}^{p_0 - p_2}$ – располагаемый теплоперепад на турбину в целом от состояния пара перед стопорным клапаном до давления в конденсаторе p_2 ;

$\eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2}$ – внутренний относительный КПД турбины в целом при исходном значении $D_{0(и)}$;

$\Delta \eta_{oi}^{p_0 - p_2}$ – изменение внутреннего относительного КПД турбины в целом при переходе с $D_{0(и)}$ на $(D_{0(и)} + \Delta D_0)$;

$D_{рег(и)}$, $(D_{рег(и)} + \Delta D_{рег})$ – расход пара в регенеративный отбор соответственно при исходном значении $D_{0(и)}$ и новом $(D_{0(и)} + \Delta D_0)$;

$h_{i\,рег(и)}^{p_{отб} - p_2}$ $(h_{i\,рег(и)}^{p_{отб} - p_2} + \Delta h_{i\,рег}^{p_{отб} - p_2})$ – использованные теплоперепады отсека проточной части турбины от точки отбора пара на регенерацию до последней ступени включительно (до давления пара в конденсаторе), соответственно при исходном значении $D_{0(и)}$ и новом $(D_{0(и)} + \Delta D_0)$;

$\delta \Sigma \Delta N_{тн}^{пот}$ – изменение суммарных потерь мощности турбоагрегата при переходе с $N_{T(и)}$ на $(N_{T(и)} + \Delta N_T)$.

Обозначив $(1 - K_{рег(и)}^{N}) = \left(1 - \dfrac{\sum (D_{рег(и)}\, h_{i\,рег(и)}^{p_{отб} - p_2})}{D_{0(и)}\, h_{0(и)}^{p_0 - p_2}\, \eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2}}\right)$;

$$(1 - K_{рег}^{N}) = \left[1 - \frac{\sum \left[(D_{рег(и)} + \Delta D_{рег})\left(h_{i\,рег(и)}^{p_{отб} - p_2} + \Delta h_{i\,рег}^{p_{отб} - p_2}\right)\right]}{(D_{0(и)} + \Delta D_0)\, h_{0(и)}^{p_0 - p_2} \left(\eta_{oi(и)}^{p_0 - p_2} + \Delta \eta_{oi}^{p_0 - p_2}\right)}\right]$$

и приняв (с достаточной точностью в конечных результатах) $K^{N}_{рег(и)} = K^{N}_{рег}$, после алгебраических преобразований получим:

$$\Delta N_T = (N_{T(и)} + \Delta N_T) - N_{T(и)} = \Delta D_0 h^{p_0-p_2}_{0(и)} \eta^{p_0-p_2}_{oi(и)} (1 - K^{N}_{рег(и)}) \frac{1}{860} \times$$

$$\times \left[\frac{\Delta \eta^{p_0-p_2}_{oi}}{\eta^{p_0-p_2}_{oi(и)}} \left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0} + 1 \right) + 1 \right] \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N^{пот}_{тя}}{\Delta N_i} \right), \qquad (I.9)$$

а

$$\Delta d_0 = \frac{\Delta D_0}{\Delta N_T} = \frac{860}{h^{p_0-p_2}_{0(и)} \eta^{p_0-p_2}_{oi(и)} (1 - K^{N}_{рег(и)}) \left[\frac{\Delta \eta^{p_0-p_2}_{oi}}{\eta^{p_0-p_2}_{oi(и)}} \left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0} + 1 \right) + 1 \right] \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N^{пот}_{тя}}{\Delta N_i} \right)} \qquad (I.10)$$

где $\frac{\delta \Sigma \Delta N^{пот}_{тя}}{\Delta N_i}$ – относительный прирост суммарных потерь мощности (механических и электрических) на единицу изменения внутренней мощности (N_i) турбоагрегата.

Как видно из выражения (I.IO), относительный прирост расхода свежего пара Δd_0 зависит в основном от располагаемого теплоперепада на турбину $h^{p_0-p_2}_{0(и)}$ (от начальных параметров свежего пара до давления пара в конденсаторе), уровня внутреннего относительного КПД турбины $\eta^{p_0-p_2}_{oi(и)}$, а также от влияния изменения внутреннего относительного КПД турбины на ее мощность при изменении расхода свежего пара $\left[\frac{\Delta \eta^{p_0-p_2}_{oi}}{\eta^{p_0-p_2}_{oi(и)}} \left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0} + 1 \right) + 1 \right]$

Обозначив сомножитель

$$\left[\frac{\Delta \eta^{p_0-p_2}_{oi}}{\eta^{p_0-p_2}_{oi(и)}} \left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0} + 1 \right) + 1 \right] = A,$$

получим: $$\Delta d_o = \frac{860}{h_{o(и)}^{p_o-p_2}\,\eta_{oi(и)}^{p_o-p_2}\,(1-K_{рег}^{N})\,A\left(1-\frac{\delta\Sigma\Delta N_{тя}^{пот}}{\Delta N_i}\right)}, \qquad (I.10)$$

При условии сохранения неизменным количества отпускаемого тепла $Q_{отб} = const$ относительный прирост расхода свежего пара будет зависеть также и от влияния на мощность турбины изменения расхода пара в отбор в случае отклонения энтальпии отбираемого пара. В этом случае сомножитель A в выражении (I.10) может быть представлен как

$$A = \left[\frac{\Delta\eta_{oi}^{p_o-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_o-p_2}}\left(\frac{D_{o(и)}}{\Delta D_o}+1\right)+1-\frac{D_{отб(и)}\,h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\,\Delta i_{отб}\,K_1}{\Delta D_o\,h_{i(и)}^{p_o-p_2}\,(i_{отб(и)}-\bar{t}_{возв(и)})(1-K_{рег(и)}^{N})}\right],$$

где $D_{отб(и)}$ – количество отбираемого пара (при исходных условиях);

$\Delta i_{отб}$ – изменение энтальпии отбираемого пара;

$i_{отб(и)}, \bar{t}_{возв(и)}$ – энтальпия соответственно отбираемого пара и возвращаемого в схему конденсата отобранного пара.

О коэффициенте K_1 будет сказано далее.

Ниже приводятся примеры, поясняющие физическую сущность определения поправки к расходу свежего пара через относительный прирост мощности.

При отклонении начальных параметров свежего пара и давления пара в конце процесса его расширения в проточной части турбины поправка к мощности (при условии $D_o = const$) в общем виде будет определяться изменением использованного теплоперепада на турбину Δh_i. Например, для конденсационной турбины эта поправка может быть выражена в виде

$$\Delta N_T = \frac{D_{o(и)}\Delta h_i - \left[\Sigma(D_{рег}\,h_{i\,рег}^{p_{отб}-p_2}) - \Sigma(D_{рег(и)}\,h_{i\,рег(и)}^{p_{отб}-p_2})\right]}{860}\left(1-\frac{\delta\Sigma\Delta N_{тя}^{пот}}{\Delta N_i}\right)$$

или, поскольку суммы произведений $\Sigma(D_{рег}\,h_{i\,рег}^{p_{отб}-p_2})$ и $\Sigma(D_{рег(и)}\,h_{i\,рег(и)}^{p_{отб}-p_2})$, как показывают расчеты, практически равны

$$\Delta N_T = \frac{D_{o(и)}\Delta h_i}{860}\left(1-\frac{\delta\Sigma\Delta N_{тя}^{пот}}{\Delta N_i}\right), \qquad (I.11)$$

где $\Sigma(D_{рег(и)} h_{i\,рег(и)}^{p_{отб}-p_2}), \Sigma(D_{рег} h_{i\,рег}^{p_{отб}-p_2})$ – сумма произведений расхода пара в регенеративный отбор на использованный теплоперепад группы ступеней от точки отбора до последней ступени включительно соответственно при исходных и измененных параметрах пара перед турбиной.

Поправка к расходу свежего пара для сохранения исходного значения мощности турбоагрегата в этом случае составит

$$\Delta D_0 = \Delta d_0 \Delta N_T = \frac{860 D_{0(и)} \Delta h_i \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right)}{h_{0(и)}^{p_0-p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0-p_2} \left(1-K_{рег(и)}^{N}\right) A \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right) 860} = D_{0(и)} \frac{\Delta h_i}{h_{i(и)}^{p_0-p_2} \left(1-K_{рег(и)}^{N}\right) A} \quad \text{(I.II}$$

Как видно из выражения (I.II), в рассмотренном случае поправка ΔD_0 пропорциональна отношению изменения использованного теплоперепада к использованному теплоперепаду на турбину в целом (при исходных параметрах пара перед турбиной) и обратно пропорциональна сомножителям $(I - K_{рег(и)}^{N})$ и A.

При дополнительном отпуске тепла (пара) от турбины или подводе его в тепловую схему турбоагрегата поправка к мощности турбины (при $D_0 = const$) в общем виде будет в основном зависеть от изменения расхода пара через соответствующие отсеки проточной части турбины. Например, при дополнительном отпуске тепла (пара) от турбины поправка к внутренней мощности может быть выражена как

$$\Delta N_i = \frac{\Delta D_{отс} h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{860},$$

а к мощности турбоагрегата –

$$\Delta N_T = \frac{\Delta D_{отс} h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{860} \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right),$$

где $\Delta D_{отс}$ – значение, на которое изменился расход пара через отсек проточной части турбины, включающий ступени турбины от точки отбора пара до последней ступени включительно. В данном случае это количество по абсолютному значению равно количеству отобранного пара ($\Delta D_{отс} = -\Delta D_{отб}$);

$h_i^{p_{отб}-p_2}$ – использованный теплоперепад отсека проточной части турбины от параметров пара в точке отбора до параметров за последней ступенью включительно (в конденсаторе);

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние на мощность возможных вторичных изменений расходов пара через отсеки из-за изменения режима работы регенеративных подогревателей при осуществлении дополнительного отпуска тепла, а также изменения теплоперепада на последнюю ступень турбины.

Поправка к расходу свежего пара для сохранения исходного значения мощности турбоагрегата в данном случае составит:

$$\Delta D_0 = \Delta d_0 \Delta N_T = \frac{860 \Delta D_{отб} h_i^{p_{отб}-p_2} K_1 \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right)}{h_{o(и)}^{p_0-p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) A \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right) 860} =$$

$$= \Delta D_{отб} \frac{h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{h_{o(и)}^{p_0-p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) A} \qquad \text{(I.I2)}$$

или

$$\Delta D_0 = \Delta D_{отб} \frac{h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{h_{i(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) A} , \qquad \text{(I.I2')}$$

где $h_{i(и)}^{p_0-p_2}$ – использованный теплоперепад на турбину в целом при исходных значениях $\eta_{oi(и)}^{p_0-p_2}$.

Как видно из выражения (I.I2'), в рассмотренном случае при дополнительном отпуске тепла (пара) от турбины поправка к расходу свежего пара (для сохранения исходного значения N_T) определяется как количеством дополнительно отпущенного пара, так и отношением использованных теплоперепадов отсека турбины от точки отбора пара до последней ступени включительно к **средневзвешенному** теплоперепаду турбины в целом. Это, в общем, тождественно определению поправки с помощью "коэффициентов ценности отбираемого пара (тепла)".

На практике в ряде случаев значение ΔD_0 для конденсационных, теплофикационных турбин, а также турбин с противодавле-

нием (при режиме $D_{отб} = 0$) определяется по имеющемуся значению $\Sigma\Delta N_T$ из соотношения $\frac{\Delta D_0}{D_0} = \frac{\Sigma\Delta N_T}{N_T}$ или $\Delta D_0 = D_0 \frac{\Sigma\Delta N_T}{N_T}$. Это справедливо, если на рассматриваемом участке зависимость $D_0 = f(N_T)$ представляется прямо пропорциональной, т.е. значения $D_{xx} = 0$, а $D_0 = d_0 N_T$ (где $\Delta d_0 = d_0$). В противном случае появится ошибка в поправке, равная $D_{xx} \frac{\Sigma\Delta N_T}{N_T}$, поскольку

$$\frac{\Delta D_0}{D_{xx} + \Delta d_0 N_T} = \frac{\Sigma\Delta N_T}{N_T} \quad \text{и} \quad \Delta D_0 = D_{xx} \frac{\Sigma\Delta N_T}{N_T} + \Delta d_0 \Sigma\Delta N_T .$$

Однако, как было показано ранее, истинное значение $\Delta D_0 = \Delta d_0 \Sigma\Delta N_T$.

Ошибка находится в прямой взаимосвязи со значением D_{xx}, и в отдельных случаях - для турбин с противодавлением и теплофикационных, а также конденсационных с дроссельным парораспределением - эта ошибка может быть существенна.

При определении значения ΔD_0 для сохранения исходных значений N_T и $Q_{отб}(D_{отб})$ в случае дополнительного отпуска тепла (пара) от турбины или подвода его от внешнего источника в схему турбоагрегата широкое распространение на практике получил так называемый коэффициент ценности отбираемого пара (тепла), представляющий в общем виде отношение соответственно

$$\frac{\Delta D_0}{\Delta D_{отб}} = \xi \quad \text{и} \quad \frac{\Delta Q_0}{\Delta Q_{отб}} = \xi'$$

или $\Delta D_0 = \xi \Delta D_{отб}$, $\Delta Q_0 = \xi' \Delta Q_{отб}$.

Сущность "коэффициента ценности отбираемого пара (тепла)" поясняется ниже.

При исходных, номинальных условиях без дополнительного отбора пара (тепла) мощность конденсационного турбоагрегата может быть выражена как

$$N_{T(и)} = \frac{D_{0(и)} h_{i(и)}^{P_0 - P_2} \left(1 - \frac{\Sigma D_{рег} h_{i\ рег}^{P_{отб} - P_2}}{D_{0(и)} h_{i(и)}^{P_0 - P_2}}\right)}{860} - \Sigma\Delta N_{тн}^{пот}$$

или $$N_{T(и)} = \frac{D_{0(и)} h_{i(и)}^{P_0-P_2} \left(1-K_{рег(и)}^{N}\right)}{860} - \Sigma\Delta N_{ТА}^{пот}. \qquad (I.I3)$$

При дополнительном отпуске пара $\Delta D_{отб}$, но неизменном исходном значении $D_{0(и)}$ мощность турбины уменьшится. Для восстановления исходного значения $N_{T(и)}$ необходимо расход свежего пара на турбину изменить на искомое значение ΔD_0. При этом выражение мощности турбоагрегата через расход пара и теплоперепады для случая $D_{отб} = D_{отс}$ может иметь вид

$$N_T = N_{T(и)} = \frac{(D_{0(и)}+\Delta D_0)\left(h_{i(и)}^{P_0-P_2}+\Delta h_i^{P_0-P_2}\right)\left[1-\frac{(\Sigma D_{рег}+\Delta D_{рег})\left(h_{i\,рег(и)}^{P_{отб}-P_2}+\Delta h_i^{P_{отб}-P_2}\right)}{(D_0+\Delta D_0)\left(h_{i(и)}^{P_0-P_2}+\Delta h_i^{P_0-P_2}\right)}\right]}{860} -$$

$$- \frac{\Delta D_{отб} h_i^{P_{отб}-P_2} K_1}{860} - \Sigma\Delta N_{ТА}^{пот}$$

или $$N_T = N_{T(и)} = \frac{(D_{0(и)}+\Delta D_0)(h_{i(и)}^{P_0-P_2}+\Delta h_i^{P_0-P_2})(1-K_{рег}^{N})}{860} - \frac{D_{отб} h_i^{P_{отб}-P_2} K_1}{860} - \Sigma\Delta N_{ТА}^{пот}. \qquad (I.I3')$$

Принимая без существенного ущерба в точности конечного результата $K_{рег(и)}^{N} = K_{рег}^{N}$ и осуществляя необходимые алгебраические преобразования после приравнивания выражений (I.I3) и (I.I3'), получим:

$$\frac{\Delta D_0}{\Delta D_{отб}} = \frac{h_i^{P_{отб}-P_2} K_1}{h_{i(и)}^{P_0-P_2}\left(1-K_{рег}^{N}\right)\left[\frac{\Delta h_i^{P_0-P_2}}{h_{i(и)}^{P_0-P_2}}\left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0}+1\right)+1\right]} = \xi, \qquad (I.I4)$$

или $$\frac{\Delta D_0}{\Delta D_{отб}} = \frac{h_i^{P_{отб}-P_2} K_1}{h_{0(и)}^{P_0-P_2}\,\eta_{oi(и)}^{P_0-P_2}\left(1-K_{рег}^{N}\right)\left[\frac{\Delta\eta_{oi}}{\eta_{oi(и)}^{P_0-P_2}}\left(\frac{D_{0(и)}}{\Delta D_0}+1\right)+1\right]} = \xi, \qquad (I.I4')$$

или $$\frac{\Delta D_0}{\Delta D_{отб}} = \frac{h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{h_{i(и)}^{p_0-p_2} (1-K^N_{рег})\, A} = \xi \,. \qquad (I.I4'')$$

Как видно из выражений (I.I4') и (I.I4''), значение "коэффициента ценности отбираемого пара (тепла)" зависит в основном от отношения $\frac{h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{h_{(и)}^{p_0-p_2} (1-K^N_{рег})}$ или $\frac{h_i^{p_{отб}-p_2} K_1}{h_{0(и)}^{p_0-p_2} \eta_{oi(и)}^{p_0-p_2} (1-K^N_{рег})}$ при заданном значении D_0, а также от изменения $\Delta h_i^{p_0-p_2}$ $(\Delta \eta_{oi}^{p_0-p_2})$ при переходе с D_0 на $D_0+\Delta D_0$.

При сопоставлении формулы (I.I2') для подсчета значения ΔD_0 через Δd_0 $(\Delta D_0 = \Delta d_0 \Delta N_T)$ для случая дополнительного отпуска пара (тепла) от турбины с выражением (I.I4'') видна их полная идентичность.

Однако в существующих в настоящее время методах определения "коэффициентов ценности отбираемого пара (тепла)" для практических расчетов величиной $\Delta h_i^{p_0-p_2} (\Delta \eta_{oi}^{p_0-p_2})$ пренебрегают. Такое допущение может быть оправдано (не приведет к существенным неточностям в конечном результате) при относительно небольших значениях ΔD_0 и пологом протекании зависимости $\eta_{oi}^{p_0-p_2} = f(D_0)$. Оценить заранее влияние этих факторов на конечный результат не всегда представляется возможным. Поэтому в рассмотренном случае (при дополнительном отпуске (подводе) пара, тепла) определение поправки ΔD_0 через относительный прирост Δd_0 предпочтительнее, так как более полно учитывает влияние необходимых факторов без предварительного их анализа.

"Коэффициент ценности отбираемого пара (тепла)" в частном случае, когда изменениями значения $\left[(i_0-\bar{t}_{п.в})+K_{пп}(i''_{пп}-i'_{пп})\right]$ пренебрегают, может быть определен как

$$\xi' = \frac{\Delta Q_0}{\Delta Q_{отб}} = \xi \frac{\left[(i_0-\bar{t}_{п.в})+K_{пп}(i''_{пп}-i'_{пп})\right]}{(i_{отб}-\bar{t}_{возвр})}.$$

Подставляя в формулу (I.4) $\Delta D_0 = \Delta d_0 \Sigma \Delta N_т$, получим в общем виде:

$$\Delta Q_э = D_{0(и)}\left[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right] +$$
$$+ \Delta d_0 \Sigma \Delta N_т \left[(i_{0(и)} - \bar{t}_{п.в(и)}) + K_{пп}(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right] +$$
$$+ \Delta d_0 \Sigma \Delta N_т \left[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{пв}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right], \qquad (I.I5)$$

или, принимая для упрощения $\Delta d_0 \approx \Delta d_{0(и)}$,

$$\Delta Q_э(\Delta Q_0) = D_{0(и)}\left[(\Delta i_0 - \Delta \bar{t}_{п.в}) + K_{пп}(\Delta i''_{пп} - \Delta i'_{пп})\right] +$$
$$+ \Delta q_{0(и)} \Sigma \Delta N_т + \delta \Delta q_{0(и)} \Sigma \Delta N_т . \qquad (I.I5')$$

В частном случае, когда энтальпии свежего пара и пара после промперегрева, а также зависимости $i'_{пп} = f(D_0)$ и $\bar{t}_{п.в} = f(D_0)$ не изменяются или сохраняется равенство $\Delta i_0 = \Delta \bar{t}_{пв}$ и $\Delta i''_{пп} = \Delta i'_{пп}$,

$$\Delta Q_э(\Delta Q_0) = \Delta q_{0(и)} \Sigma \Delta N_т . \qquad (I.I5'')$$

При подсчете поправок к расходу свежего пара ΔD_0 и тепла $\Delta Q_0 (\Delta Q_э)$ по заданным $\Sigma \Delta N_т , \Delta d_0 , \Delta q_0$ обращает на себя внимание то, что значение ΔD_0 во всех случаях изменения условий работы, параметров пара может подсчитываться как $\Delta D_0 = \Delta d_0 \Sigma \Delta N_т$. В то же время поправка к расходу тепла по аналогичного вида формуле $\Delta Q_э(\Delta Q_0) = \Delta q_0 \Sigma \Delta N_т$ может определяться только в частном случае, о котором было сказано выше.

Во всех других случаях необходимо учитывать влияние на расход тепла также изменения соответствующих энтальпий пара (воды), т.е. поправку к расходу тепла в абсолютных значениях следует определять по формулам (I.4) или (I.I5'), а в относительных единицах - по формулам (I.5)-(I.5''').

I.2. К подсчету поправок к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$, $Q_{отб}(D_{отб}) = const$

Суммарная поправка к мощности турбоагрегата в общем виде может содержать отдельные поправки, отражающие изменение использованных теплоперепадов на группы ступеней (отсеки) или турбину в целом и отклонение расходов пара через отдельные отсеки проточной

части при изменении того или иного условия работы турбоагрегата и параметров пара и может быть записана как

$$\Sigma\Delta N_T = \Sigma\Delta N_T^{\Delta h_i} + \Sigma\Delta N_T^{\Delta D_{отс}}$$

или в соответствии со сложившейся практикой в более развернутой форме

$$\Sigma\Delta N_T = \Delta N_T^{p_0} + \Delta N_T^{t_0} + \Delta N_T^{t_{пп}} + \Delta N_T^{p_п} + \Delta N_T^{p_т} + \Delta N_T^{p_2} + \Delta N_T^{\Delta D_{п.в}} + \Delta N_T^{\Delta t_{п.в}} +$$

$$+ \Delta N_T^{\Delta t_{а.к}} + \Delta N_T^{D_{отб}} + \Delta N_T^{\Delta D_{отс}} + \Delta N_T^{\Delta h_i} + \Delta N_T^{\Delta h_{вс}},$$

где $\Delta N_T^{p_0}, \Delta N_T^{t_0}, \Delta N_T^{t_{пп}}, \Delta N_T^{p_п}, \Delta N_T^{p_т}, \Delta N_T^{p_2}$ – поправки на отклонение соответственно давления и температуры свежего пара, температуры пара после промперегрева, давления в регулируемых производственном и теплофикационном отборах и давления отработавшего пара;

$\Delta N_T^{D_{пв}}, \Delta N_T^{\Delta t_{пв}}, \Delta N_T^{\Delta t_{ак}}$ – поправки на отклонение соответственно расхода и нагрева в ПВД питательной воды и нагрева в ПНД основного конденсата;

$\Delta N_T^{D_{отб}}$ – поправка на дополнительный отбор пара от турбины или прием пара (тепла) от постороннего источника;

$\Delta N_T^{\Delta D_{отс}}, \Delta N_T^{\Delta h_i}$ – поправки на дополнительное изменение соответственно расхода пара через отсеки проточной части турбины и использованного теплоперепада отсеков (группы ступеней) из-за отклонений условий помимо упомянутых выше;

$\Delta N_T^{\Delta h_{вс}}$ – поправка на изменение потерь с выходной скоростью на последней ступени проточной части турбины.

Указанные поправки, как правило, определяются с помощью специальных расчетов. Экспериментальным путем определяются лишь поправки на отклонение давления пара в конденсаторе ($\Delta N_T^{p_2}$) и в некоторых случаях на отклонение давления пара в регулируемых отборах ($\Delta N_T^{p_п}$, $\Delta N_T^{p_т}$).

Для сокращения объема работ при расчетах поправок без существенного ущерба в точности конечного результата **целесообразны** определенные допущения, которые рассматриваются ниже либо которые очевидны при применении формул, рекомендуемых для расчетов.

Подробные указания по расчету каждой поправки к мощности будут изложены далее в соответствующих разделах. Здесь лишь отмечаются общие моменты, характерные для большинства расчетов.

В тех случаях, когда в процессе расчета первоначально определяется поправка к внутренней мощности ΔN_i, переход к поправке к мощности турбоагрегата ΔN_T осуществляется по формуле

$$\Delta N_T = \Delta N_i - \delta \Sigma N_{TA}^{пот} \quad или \quad \Delta N_T = \Delta N_i \left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i}\right) . \qquad (I.16)$$

В практических расчетах поправок с достаточной точностью можно принять $\frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}}{\Delta N_i} = 0{,}01$ для всего диапазона нагрузок. В этом случае

$$\Delta N_T = \Delta N_i (1 - 0{,}01) = \Delta N_i \, 0{,}99 . \qquad (I.16')$$

При расчетах поправок к мощности турбоагрегата (отсека) на отклонение начальных параметров пара, в частности, целесообразны следующие допущения.

Мощность турбоагрегата без регулируемых отборов пара при исходных начальных параметрах пара может быть выражена как

$$N_{T(и)} = \frac{D_{0(и)} h_{i(и)}^{p_0 - p_2} - \Sigma (D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб} - p_2})}{860} - \Sigma \Delta N_{TA}^{пот} ;$$

при изменившихся параметрах пара

$$N_T = \frac{D_{0(и)} (h_{i(и)}^{p_0 - p_2} + \Delta h_i) - \Sigma (D_{рег} h_i^{p_{отб} - p_2})}{860} - (\Sigma \Delta N_{TA}^{пот} + \delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}) .$$

Изменение мощности турбоагрегата (поправка к мощности) составит

$$\Delta N_T = N_T - N_{T(и)} = \frac{D_{0(и)} \Delta h_i - [\Sigma (D_{рег} h_i^{p_{отб} - p_2}) - \Sigma (D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб} - p_2})]}{860} - \delta \Sigma \Delta N_{TA}^{пот}$$

$$\text{или}\quad \Delta N_T = \frac{\left[D_{0(и)}\Delta h_i - \left(\Sigma\left(D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}\right) - \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right)\right)\right]}{860}\left(1 - \frac{\delta\Sigma\Delta N_{тя}^{пот}}{\Delta N_i}\right),$$

где Δh_i – изменение использованного теплоперепада на турбину (от состояния пара перед турбиной до давления пара в конденсаторе);

$\Sigma\left(D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}\right), \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right)$ – сумма произведений расхода пара в регенеративный отбор на соответствующий использованный теплоперепад группы ступеней (отсека) от точки отбора пара до последней ступени включительно соответственно при изменившихся и исходных начальных параметрах пара.

Как показывают расчеты, при отклонении начальных параметров пара произведение $D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}$ и, следовательно, сумма этих сомножителей изменяются весьма несущественно, поскольку отклонение энтальпии пара в точках отборов в общем приводит к противоположным изменениям значений $D_{рег}$ и $h_i^{p_{отб}-p_2}$ практически в одинаковом размере. Например, при отклонении температуры свежего пара на 20°С (для конденсационной турбины без промперегрева) разница

$$\left[\Sigma\left(D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}\right) - \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right)\right]$$

составляет 0,2–0,3% $\Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right)$. **Если не учитывать этого значения неточность в конечном результате будет не более 0,03–0,04%. Поэтому в дальнейших расчетах целесообразно принять**

$$\Sigma\left(D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}\right) = \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right).$$

В этом случае

$$\Delta N_T = \frac{D_{0(и)}\Delta h_i}{860}\left(1 - \frac{\delta\Sigma\Delta N_{тя}^{пот}}{\Delta N_i}\right)$$

или

$$\Delta N_T = \frac{D_0 \Delta h_i}{860}\,0{,}99. \qquad (I.17)$$

Для турбоагрегатов, имеющих зависимости расхода свежего пара от мощности (конденсационные турбины и теплофикационные, работающие на конденсационном режиме), более удобным считается выражение поправки к мощности в относительных единицах (% или в долях):

$$\frac{\Delta N_T}{N_{T(и)}} = \frac{D_{0(и)} \Delta h_i^{p_0-p_2} 0{,}99 \cdot 860}{860 D_{0(и)} h_{i(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) \eta_{эм}} = \frac{\Delta h_i^{p_0-p_2} 0{,}99}{h_{i(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) \eta_{эм}}, \quad (I.I7')$$

а при постоянстве внутреннего относительного КПД турбины -

$$\frac{\Delta N_T}{N_{T(и)}} = \frac{\Delta h_0^{p_0-p_2} 0{,}99}{h_{0(и)}^{p_0-p_2} (1-K_{рег}^N) \eta_{эм}}. \quad (I.I7'')$$

Как показывают расчеты, выражение $(I - K_{рег}^N)$ для различных турбоагрегатов (исключая турбины с противодавлением) зависит в основном от давления пара в верхнем регенеративном отборе p_I (от уровня температуры питательной воды за ПВД), а конструктивные особенности турбины влияют на это значение несущественно.

Для турбин с противодавлением выражение $(I - K_{рег}^N)$ связано в определенной степени также и со значением противодавления.

На рис.2 приведены зависимости усредненных (для различных типов турбин) значений выражения $(I - K_{рег}^N)$ от давления пара в I верхнем регенеративном отборе пара, которые могут быть использованы при расчетах поправок. Для турбин типа P в случае отличия противодавления от указанных на рис.2 значений выражение $(1-K_{рег}^N)$ определяется с помощью интерполирования.

Для турбин с регулируемыми отборами пара типов Т, П и ПТ мощность при исходных начальных параметрах пара в общем виде составит

$$N_{T(и)} = \frac{D_{0(и)} h_{i(и)}^{p_0-p_2} - \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right) - \Sigma\left(D_{отб(и)} h_{i(и)}^{p_p-p_2}\right) K_1}{860} - \Sigma \Delta N_{тэ}^{пот},$$

где $h_{i(и)}^{p_p-p_2}$ - использованный теплоперепад от параметров регулируемого отбора до параметров за последней ступенью турбины (в конденсаторе),

а при изменившихся параметрах пара

$$N_T = \frac{D_{0(и)}\left(h_{i(и)}^{p_0-p_2} + \Delta h_i^{p_0-p_2}\right) - \Sigma\left(D_{рег}\, h_i^{p_{отб}-p_2}\right) - \Sigma\left(D_{отб(и)}\, h_i^{p_p-p_2}\right) K_1}{860} -$$

$$- \left(\Sigma \Delta N_{ТА}^{пот} + \delta \Sigma \Delta N_{ТА}^{пот}\right).$$

Изменение мощности турбоагрегата (поправка) при условии, что

$D_{отб} = const$, $K_1' = K_1$; $\Sigma\left(D_{рег} h_i^{p_{отб}-p_2}\right) = \Sigma\left(D_{рег(и)} h_{i(и)}^{p_{отб}-p_2}\right)$, $\left(1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{ТА}^{пот}}{\Delta N_{ТА}^{пот}}\right) = 0{,}99$ и $h_i^{p_p-p_2} = h_{i(и)}^{p_p-p_2} + \Delta h_i^{p_p-p_2}$, составит

$$\Delta N_T = N_T - N_{T(и)} = \frac{\left[D_{0(и)} \Delta h_i^{p_0-p_2} - \Sigma\left(D_{отб(и)} \Delta h_i^{p_p-p_2}\right) K_1\right]}{860} 0{,}99$$

или

$$\Delta N_T = D_{0(и)} \Delta h_i^{p_0-p_2} \left[1 - \Sigma\left(\frac{D_{отб} \Delta h_i^{p_p-p_2} K_1}{D_0 \Delta h_i^{p_0-p_2}}\right)\right] \frac{0{,}99}{860}. \qquad (I.18)$$

Для сохранения постоянного отпуска тепла из регулируемых отборов при отклонении начальных параметров пара расход пара регу-

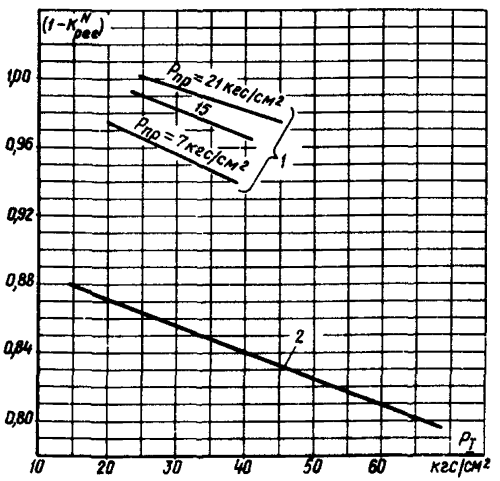


Рис.2. Зависимость выражения $(I - K_{рег}^{N})$ от давления пара в верхнем (I) регенеративном отборе P_1:

I – в режиме противодавления;

2 – в конденсационном режиме

лируемого отбора должен измениться на значение

$$\Delta D_{отб}=\frac{\Delta i_{отб}}{(i_{отб}-t_{воз вр})}\,D_{отб}\,.$$

При работе турбоагрегата по электрическому графику изменение расхода пара в регулируемый отбор при неизменном значении D_0 будет обеспечиваться соответствующим изменением расхода пара через отсеки проточной части турбины, расположенные за регулируемым отбором пара. Поправка к мощности турбоагрегата в этом случае может быть выражена как

$$\Delta N_T=\left\{D_{0(и)}\Delta h_i^{P_0-P_2}-\left[\Sigma\left[(D_{отб(и)}+\Delta D_{отб})(h_{i(и)}^{P_p-P_2}+\Delta h_i^{P_p-P_2})K_1\right]-\Sigma(D_{отб(и)}h_{i(и)}^{P_p-P_2})\right]\right\}\frac{0{,}99}{860}.$$

После соответствующих алгебраических преобразований и с учетом, что значение произведения величин $\Delta D\cdot\Delta h_i\cdot K$ пренебрежимо мало, получим:

$$\Delta N_T=D_{0(и)}\Delta h_i^{P_0-P_2}\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб(и)}\Delta h_i^{P_p-P_2}K_1}{D_{0(и)}\,\Delta h_i^{P_0-P_2}}\right)\right]\frac{0{,}99}{860}-\Sigma(\Delta D_{отб}h_i^{P_p-P_2}K_1)\frac{0{,}99}{860}\,.\quad(\text{I.18})$$

Для турбин с регулируемыми отборами пара в приведенных ниже формулах под изменением использованного теплоперепада на турбину в целом $(\Delta h_i^{P_0-P_2})$ подразумевается сумма изменений использованных теплоперепадов отсеков (частей) проточной части турбины, на которые условно разделена вся проточная часть турбины. Количество отсеков (частей) определяется как $n+1$, где n – число регулируемых отборов пара. **Под изменением теплоперепада от точки регулируемого отбора до последней ступени турбины** $(\Delta h_i^{P_p-P_2})$ подразумевается сумма изменений использованных теплоперепадов отсеков (частей), расположенных за рассматриваемым регулируемым отбором пара.

Например, для турбины с регулируемыми производственным и теплофикационным отборами пара

$$\Delta h_i^{P_0-P_2}=\Delta h_{i\ ЧВД}+\Delta h_{i\ ЧСД}+\Delta h_{i\ ЧНД};$$

для производственного отбора пара

$$\Delta h_i^{p_p-p_2}=\Delta h_{i\ чсд}+\Delta h_{i\ чнд};$$

для теплофикационного отбора

$$\Delta h_i^{p_p-p_2}=\Delta h_{i\ чнд}.$$

В данном примере турбина условно разделена на три отсека: часть высокого давления (ЧВД) включает в себя проточную часть от стопорного клапана до регулируемого производственного отбора пара; часть среднего давления (ЧСД) - проточную часть от камеры производственного регулируемого отбора пара до теплофикационного регулируемого отбора пара; часть низкого давления (ЧНД) - от камеры регулируемого теплофикационного отбора пара до последней ступени включительно.

Для турбин с одним регулируемым отбором пара разделение будет следующее: ЧВД - от стопорного клапана до регулируемого отбора пара и ЧНД - от регулируемого отбора пара до последней ступени включительно.

При наличии характеристик (отдельных отсеков или частей) турбины, расположенных за регулируемыми отборами пара) зависимости внутренней мощности отсека от расхода пара на входе в него, по которым можно определить относительный прирост расхода пара по мощности $\Delta d_{отс}=\frac{\Delta D}{\Delta N_i}$, последний член в выражении (I.I8′) может быть представлен в виде

$$\frac{\Sigma(\Delta D_{отб}\, h_i^{p_p-p_2} K_1)}{860}0{,}99=\Sigma\frac{\Delta D_{отб}}{\Delta d_{отс}}.$$

В этом случае в общем виде

$$\Delta N_T=\frac{D_0\,\Delta h_i^{p_0-p_2}\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}\,\Delta h_i^{p_p-p_2}K_1}{D_0\,\Delta h_i^{p_0-p_2}}\right)\right]0{,}99}{860}-\Sigma\frac{\Delta D_{отб}}{\Delta d_{отс}^{p_{отб}-p_2}}. \quad (I.I8'')$$

Для турбин с двумя регулируемыми отборами пара

$$\Sigma\frac{\Delta D_{отб}}{\Delta d_{отс}^{p_{отб}-p_2}}=\frac{\Delta D_{отб}^{п}}{\Delta d_{чсд}+\Delta d_{чнд}}+\frac{\Delta D_{отб}^{т}}{\Delta d_{чнд}}$$

$$\Delta N_T = \frac{D_0 \Delta h_i^{p_0-p_2}\left[1-\frac{D^{п}_{отб}}{D_0}\frac{\Delta h_i^{p_p^{п}-p_2}}{\Delta h_i^{p_0-p_2}}-\frac{D^{т}_{отб}}{D_0}\frac{\Delta h_i^{p_p^{т}-p_2}}{\Delta h_i^{p_0-p_2}}\right]0{,}99}{860} -$$

$$-\frac{\Delta D^{п}_{отб}}{\Delta d_{чсд}+\Delta d_{чнд}}-\frac{\Delta D^{т}_{отб}}{\Delta d_{чнд}} \quad . \qquad (I.18^{м})$$

В ряде случаев, когда отсутствуют данные по внутреннему относительному КПД отсеков (частей) турбины для расчета значения $\Delta h_i^{p_0-p_2}$, целесообразно поправку к мощности и для турбин с регулируемыми отборами пара выразить в относительных единицах $\frac{\Delta N_T}{N_T}$.

Представив N_T в виде

$$N_T = \frac{D_0 h_{i(и)}^{p_0-p_2}(1-K^{N}_{рег})\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}\frac{h_{i(и)}^{p_p-p_2}K_1}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}(1-K^{N}_{рег})}\right)\right]}{860}\eta_{эм}$$

и обозначив

$$\frac{\Delta h_i^{p_p-p_2}K_1}{\Delta h_i^{p_0-p_2}}=a\ , \qquad \frac{h_i^{p_p-p_2}K_1}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}(1-K^{N}_{рег})}=в\ ,$$

после алгебраических преобразований получим:

при $D_{отб}=const$

$$\frac{\Delta N_T}{N_T}=\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}(1-K^{N}_{рег})}\cdot\frac{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right)\right]0{,}99}{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\right]\eta_{эм}}; \qquad (I.19)$$

при $Q_{отб}=const$

$$\frac{\Delta N_T}{N_T}=\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}(1-K^{N}_{рег})}\cdot\frac{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right)\right]0{,}99}{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\right]\eta_{эм}}-\Sigma(\Delta D_{отб}в)\frac{1}{D_0\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\right]}\cdot\frac{0{,}99}{\eta_{эм}} \qquad (I.19^{т})$$

или $$\frac{\Delta N_т}{N_т} = \frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right)\right]0{,}99}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}\left(1-K_{рег}^{N}\right)\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\right]\eta_{эм}} -$$

$$- \frac{\Delta i_{отб}\quad \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\quad 0{,}99}{\left(i_{отб}-\bar{t}_{воздвр}\right)\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}в\right)\right]\eta_{эм}} . \qquad (I.I9'')$$

Коэффициент $в$ при отсутствии данных для его прямого вычисления может быть определен из диаграммы режимов турбины с учетом выражения (I.I2'), принимая при этом $h_i^{p_{отб}-p_2} = h_i^{p_p-p_2}$ и, без существенной неточности в конечном результате, A = I (см. разд.I.5).

Коэффициент a можно представить в виде

$$a = \frac{\Delta h_i^{p_p-p_2}K_1}{\Delta h_i^{p_0-p_2}} = \frac{h_{i(и)}^{p_p-p_2}\left(\frac{h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_p^c-p_2}}\frac{\eta_{oi}^{p_p^c-p_2}}{\eta_{oi}^{p_p^c-p_2}}-1\right)K_1}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}\left(\frac{h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}\frac{\eta_{oi}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}-1\right)}$$

или при практическом равенстве $\eta_{oi}^{p_p^c-p_2} = \eta_{oi(и)}^{p_p^c-p_2}$, $\eta_{oi}^{p_0^c-p_2} = \eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}$

$$a = в\left(1-K_{рег}^{N}\right)\frac{\left(\frac{h_0^{p_p^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_p^c-p_2}}-1\right)}{\left(\frac{h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}-1\right)}, \qquad (I.20)$$

где $h_0^{p_p^c-p_2}, h_0^{p_0^c-p_2}$ и $h_{0(и)}^{p_p^c-p_2}, h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}$ - располагаемые теплоперепады соответственно при изменившихся и исходных параметрах пара; с индексом $(p_p^c - p_2)$ - от состояния пара перед соплами I ступени за камерой отбора до состояния в конденсаторе, с индексом $(p_0^c - p_2)$ - от состояния пара перед соплами I ступени турбины до состояния в конденсаторе.

Для турбины с двумя регулируемыми отборами пара типов П и Т:

$$h_0^{p_p^c-p_2} = h_0^{p_п^c-p_т} + h_0^{p_т^c-p_2} \quad и \quad h_{0(и)}^{p_p^c-p_2} = h_{0(и)}^{p_п^c-p_т} + h_{0(и)}^{p_т^c-p_2}$$ - для отбора П;

$$h_0^{p_p^c-p_2} = h_0^{p_т^c-p_2} \quad и \quad h_{0(и)}^{p_p^c-p_2} = h_{0(и)}^{p_т^c-p_2}$$ - для отбора Т;

$$\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right) = \frac{D_п}{D_0}a_п + \frac{D_т}{D_0}a_т \quad .$$

Располагаемые теплоперепады определяются по is -диаграмме в соответствии с заданными условиями и изменениями начальных параметров пара (см.рис.3,*б*). Выражение $(I - K_{рег}^N)$ может приниматься по рис.2, если известны значения давлений пара в I регенеративном отборе.

Как видно, значение поправки к мощности турбоагрегата при отклонении начальных параметров пара и $D_0 = const$ пропорционально изменению использованного теплоперепада на турбину (отсек) Δh_i. Анализ показывает, что основными составляющими, формирующими это изменение при переходе со значений $p_{0(и)}, (p_{0(и)}^c), t_{0(и)}, (t_{0(и)}^c)$ на новые $p_0 (p_0^c)$, $t_0 (t_0^c)$, являются изменения:

а) располагаемого теплоперепада турбины (отсека) $\Delta h_0^{p_0^c-p_2}$, определяемого от состояния пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека) $\Delta h_0^{p_0^c-p_2}$ по среднезвешенному давлению пара (перед соплами I-й ступени) p_0^c и начальной энтальпии пара i_0;

б) потерь от влажности пара - для доли теплоперепада, расположенного ниже линии $X = I$ (где X - степень сухости пара) $\Delta\eta_{oi(x)}^{p_0^c-p_2}$;

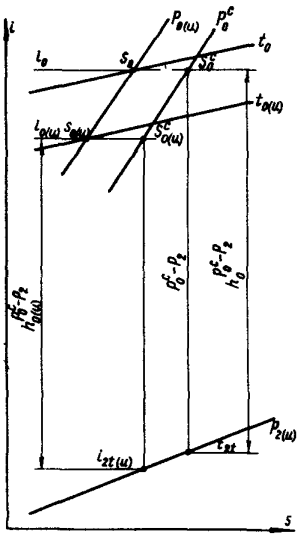


Рис.3,*а*. Определение теплоперепадов в зоне перегретого пара

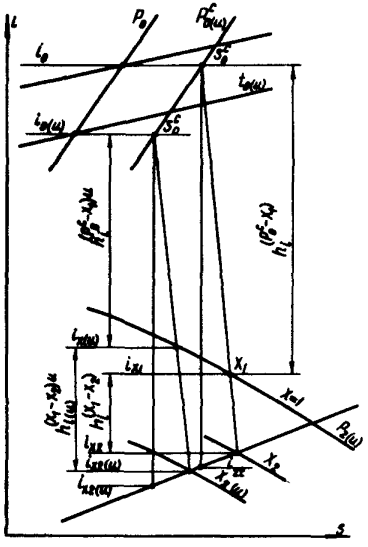


Рис.3,*б*. Определение теплоперепадов на конденсационную турбину

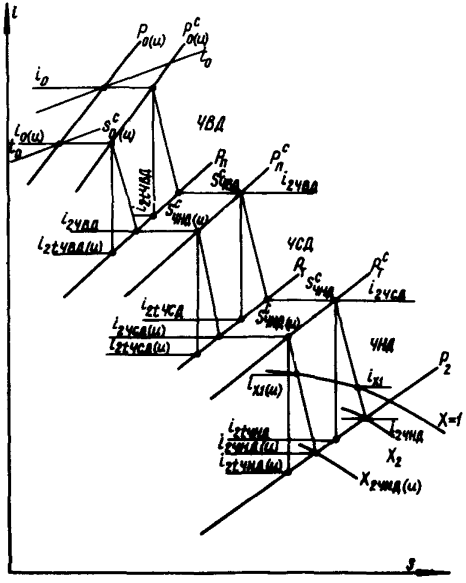


Рис.3,*в*. Определение теплоперепадов на отдельные отсеки турбины типа ПТ

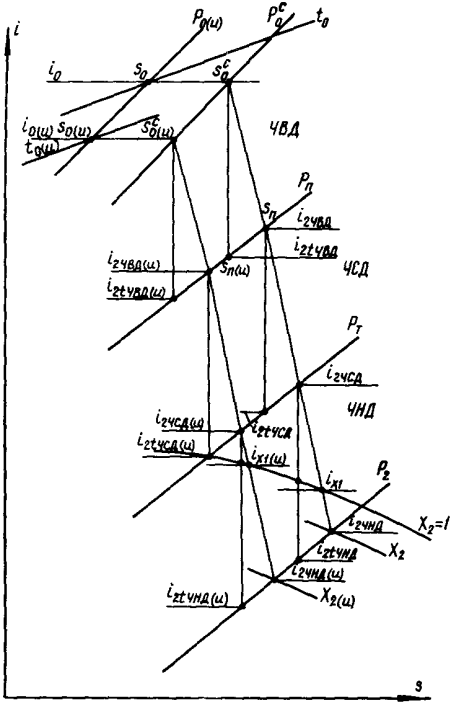


Рис.3,г. Определение теплоперепадов на отдельные отсеки турбины типа ПТ

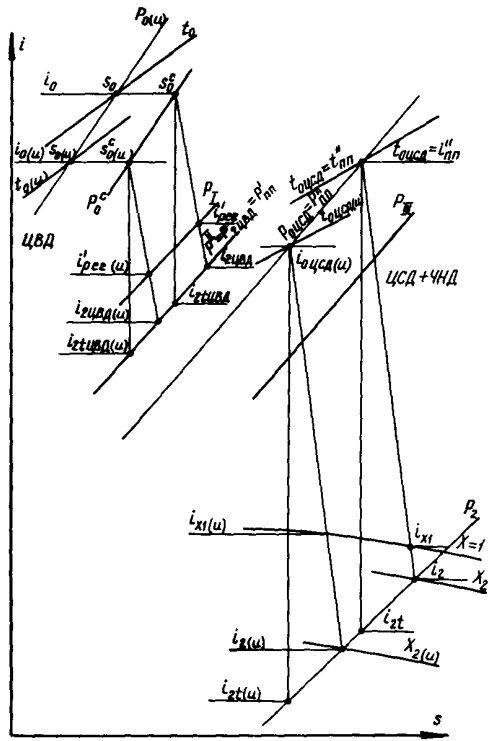


Рис.3,д. Определение теплоперепадов на турбину с промперегревом пара

в) КПД регулирующей I-й ступени турбины (отсека) за счет отклонения параметра $\frac{u}{c_0}$ вследствие изменения располагаемого теплоперепада на эту ступень $\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_0^c-p_2}$,

где u – окружная скорость вращения рабочего диска регулирующей ступени;

c_0 – теоретическая скорость истечения пара из сопл регулирующей ступени.

Принимая во внимание сказанное в пп. $б$ и $в$, а также что $\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}} = \frac{\Delta h_i^{p_0^c-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0^c-p_2}}$, можно записать

$$\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}} = \frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}} + \frac{\Delta\eta_{oi(x)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}} + \frac{\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}, \qquad (I.21)$$

где $\frac{\Delta\eta_{oi(x)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}$ и $\frac{\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}$ – поправки, учитывающие влияние на значение $\Delta h_i^{p_0-p_2}$ изменения соответственно потерь от влажности пара и КПД регулирующей ступени (за счет изменения параметра $\frac{u}{c_0}$).

При практических расчетах, когда изменения давления и температуры пара перед соплами I-й ступени вызывают также изменение потерь от влажности пара, удобнее изменение располагаемого теплоперепада турбины (отсека) и значения потерь от влажности определять одновременно, т.е. представляя, что

$$\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}} = \frac{\Delta h_{0x}^{p_0^c-p_2}}{h_{0x(и)}^{p_0^c-p_2}} + \frac{\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}. \qquad (I.22)$$

Если процесс расширения пара протекает полностью в зоне перегретого пара при расчетах поправок целесообразно пользоваться соотношением

$$\frac{\Delta h_i^{p_0-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0-p_2}} = \frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}} + \frac{\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_0^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c-p_2}}, \qquad (I.23)$$

а в случаях, когда изменение располагаемого теплоперепада на регулирующую ступень несущественно, принимать $\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_o^c-p_2}=0$.

Методика определения значений

$\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c-p_2}}{h_{o(и)}^{p_o^c-p_2}}$, $\frac{\Delta h_{o}^{p_o^c-p_2}}{h_{o(и)}^{p_o^c-p_2}}$ и $\frac{\Delta\eta_{oi(p.ст)}^{p_o^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_o^c-p_2}}$ приводится в разд.I.4.

I.3. К подсчету поправок к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб}=const$

При работе теплофикационных турбин по тепловому графику заданной является тепловая нагрузка отборов - количество отпускаемого от турбины тепла или (реже) количества отбираемого пара. В этом случае отклонение тех или иных условий работы турбоагрегата, параметров пара перед турбиной и регулируемых отборов при неизменном расходе свежего пара на турбину может привести к изменению как мощности турбоагрегата, так и количества отпускаемого тепла (пара). Для сохранения неизменной заданной тепловой нагрузки отборов необходимо соответствующее изменение расхода свежего пара. Таким образом, при отклонении условий работы, параметров пара поправки будут вноситься к значениям мощности и расхода свежего пара (тепла). В общем виде поправка к расходу свежего пара на турбину будет составлять

$$\Sigma\Delta D_o=\Sigma\frac{\Delta D_{отб}}{(1-K_{рег}^{D})}\,, \qquad (I.24)$$

а поправка к мощности турбоагрегата будет определяться двумя составляющими, учитывающими изменение мощности вследствие:

- изменения условий, параметров пара без корректировки мощности на возможные отклонения количества отпускаемого тепла (пара) $\Delta N_{T(1)}$;
- изменения расхода свежего пара для обеспечения неизменного количества отпускаемого тепла (пара) $\Delta N_{T(2)}$;

$$\Sigma\Delta N_T=\Delta N_{T(1)}+\Delta N_{T(2)}\,.$$

Выражение $(1-K_{рег}^{D})$ учитывает связь $\Delta D_{отб}$ с ΔD_o; коэффициент $K_{рег}^{D}=\frac{\Sigma D_{рег}}{D_o}$, где $\Sigma D_{рег}$ - сумма расходов пара на регенеративные подогреватели из отсека проточной части от сто-

порного клапана до рассматриваемого регулируемого отбора (включая расход пара на регенеративный подогреватель, подключенный к регулируемому отбору).

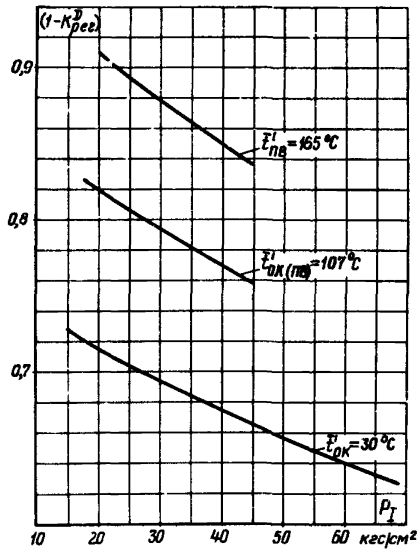


Рис.4. Зависимость выражения $(I - K^{D}_{рег})$ от давления пара в верхнем (I) регенеративном отборе P_1 : $\bar{t}_{п.в}, \bar{t}_{о.к(п.в)}, \bar{t}_{о.к}$ - энтальпии питательной воды (основного конденсата) на входе в первый (по ходу воды) регенеративный подогреватель турбины (отсека)

При отсутствии прямых данных для расчета выражения $(I - K^{D}_{рег})$ его можно определить по рис.4, если известны давления пара в I регенеративном отборе пара и температура конденсата (питательной воды), поступающего в регенеративный подогреватель, подключенный к рассматриваемому регулируемому отбору или к первому (по ходу конденсата, воды) подогревателю, относящемуся к данному отсеку.

При отклонении начальных параметров пара поправка к мощности в относительных единицах при работе турбоагрегата по тепловому графику и неизменном расходе тепла в отбор в общем виде может быть выражена как

$$\frac{\Delta N_т}{N_т} = \frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox}^{p_o^c - p_2}(1-K_{рег}^{N})} \left\{ \frac{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_o}a\right)\right]}{\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_o}в\right)\right]} \right\} \frac{0{,}99}{\eta_{эм}} -$$

$$- \Sigma \frac{\Delta D_{отб} 0{,}99}{(1-K_{рег}^{D})\Delta d_o^{p_o - p_p} N_т} . \qquad (I.25)$$

Для турбин типа P

$$\frac{\Delta N_т}{N_т} = \frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2} 0{,}99}{h_o^{p_o^c - p_2}(1-K_{рег}^{N})\eta_{эм}} - \frac{\Delta D_{пр}(\Delta D_{отб})}{\Delta d_o (1-K_{рег}^{D}) N_т} . \qquad (I.25')$$

В выражениях (I.25) и (I.25') $\Delta d_o^{p_o - p_p}$ и Δd_o – относительные приросты расхода пара на входе на единицу мощности соответственно отсека турбины от стопорного клапана до рассматриваемого регулируемого отбора и турбины в целом; сомножитель $(1 - K_{рег}^{D})$ учитывает расходы пара на регенеративные подогреватели, относящиеся к данным отсекам турбины.

Значения $\Delta d_o^{p_o - p_p}$ и Δd_o принимаются по зависимостям $N_{i\,отс} = f(D_{отс})$ и $N_т = f(D_o)$, построенным либо по результатам тепловых испытаний, либо по данным теплового расчета турбины (отсека). Кроме этого, с достаточной точностью значения $\Delta d_o^{p_o - p_2}$ могут быть найдены из диаграммы режимов турбины (см.разд.I.6).

I.4. К определению отношений $\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_o^c - p_2}}$, $\frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2}}{h_o^{p_o^c - p_2}}$ и $\frac{\Delta \eta_{oi(р.ст)}^{p_o^c - p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_o^c - p_2}}$ при расчете поправок на отклонение начальных параметров пара

Под термином "начальные параметры пара" здесь и далее подразумеваются либо давление и температура свежего пара перед стопорным клапаном турбины (p_o, t_o), либо давление и температура (энтальпия) пара перед регулирующим паровпуск органом отдельного отсека (части) турбины $(p_{отб}, t_{отб}, i_{отб})$.

Для конденсационных турбин без промперегрева пара или отдельных отсеков (частей) теплофикационных турбин и турбин с промперегревом пара процесс расширения пара заканчивается в области влажного пара.

При изменении начальных параметров пара происходит изменение располагаемого теплоперепада на турбину (отсек) и смещение процесса расширения пара в область большей или меньшей влажности пара, что приводит к увеличению или уменьшению потерь энергии пара от его влажности, т.е. к изменению его работоспособности.

В настоящих Методических указаниях учет изменения располагаемого теплоперепада и потерь от влажности рекомендуется осуществлять одновременно по формуле

$$\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(u)}^{p_0^c-p_2}} = \frac{\left[h_i^{p_0^c-x_1} + h_i^{x_1-x_2}\left(\frac{1+x_2}{2}\right)\right] - \left[h_{i(u)}^{(p_0^c-x_1)u} + h_{i(u)}^{(x_1-x_2)u}\left(\frac{1+x_2(u)}{2}\right)\right]}{\left[h_{i(u)}^{(p_0^c-x_1)u} + h_{i(u)}^{x_1-x_2}\left(\frac{1+x_2(u)}{2}\right)\right]} =$$

$$= \frac{h_i^{p_0^c-x_1} + h_i^{x_1-x_2}\left(\frac{1+x_2}{2}\right)}{h_{i(u)}^{(p_0^c-x_1)u} + h_{i(u)}^{(x_1-x_2)u}\left(\frac{1+x_2(u)}{2}\right)} - 1 \quad , \qquad \text{(I.26)}$$

где $h_i^{p_0^c-x_1}$, $h_i^{x_1-x_2}$, $h_{i(u)}^{(p_0^c-x_1)u}$ и $h_{i(u)}^{(x_1-x_2)u}$ – использованные теплоперепады турбины (отсека) по предварительно принятому процессу расширения пара соответственно от состояния пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека) до пересечения линии расширения пара с линией степени сухости пара $x = x_1 =$ I и от этой точки до точки пересечения с линией $x = x_2$ при новых и исходных начальных параметрах пара (см. рис. 3, *а*–*з*, *д*).

Процесс расширения пара в турбине (отсеке) строится в *is*-диаграмме на основании принимаемых значений КПД $\eta_{oi}^{p_0^c-p_2} = \eta_{oi(u)}^{p_0^c-p_2}$.

Начальная точка процесса определяется пересечением линий

$i = i_o$ и $P = P_o^c$, конечная - пересечением линии энтальпии пара $i = i_{x2}$ и степени сухости $X = X_2$ в конце процесса расширения. Значение i_{x2} находится по выражению

$$i_{x2} = i_o - h_o^{p_o^c - p_2} \eta_{oi}^{p_o^c - p_2},$$

где $h_o^{p_o^c - p_2} = i_o - i_{2t}$ - располагаемый теплоперепад;

i_{2t} - энтальпия пара в конце теоретического процесса расширения пара, определяемая пересечением линии энтропии пара по состоянию пара перед соплами I-й ступени s_o^c с линией давления пара в конце процесса расширения - давления отработавшего пара $P = P_2$.

Заданный процесс расширения пара представляется прямой линией, соединяющей начальную и конечную точки процесса.

В точке пересечения линии расширения пара с линией $X = X_1 = 1$ находится энтальпия пара i_{x1}.

Определяются теплоперепады при исходных параметрах пара в зоне перегретого пара

$$h_{i(и)}^{(p_o^c - x_1)u} = i_{o(и)} - i_{x1(и)}$$

и в зоне влажного пара

$$h_{i(и)}^{(x_1 - x_2)u} = i_{x_1(и)} - i_{x_2(и)},$$

а также при новых параметрах пара соответственно

$$h_i^{p_o^c - x_1} = i_o - i_{x_1}, \quad h_i^{x_1 - x_2} = i_{x_1} - i_{x_2}.$$

Если процесс расширения пара в турбине (отсеке) происходит полностью в области перегретого пара, при расчете поправок учитывают изменение располагаемых теплоперепадов от состояния пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека)

$$\frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2}}{h_{o(и)}^{p_o^c - p_2}} = \frac{(i_o - i_{2t}) - (i_{o(и)} - i_{2t(и)})}{i_{o(и)} - i_{2t(и)}} = \frac{(i_o - i_{2t})}{(i_{o(и)} - i_{2t(и)})} - 1. \qquad (I.26)$$

На рис.3,а - 3,д иллюстрируется нахождение необходимых теплоперепадов для расчета поправок с использованием is -диаграммы. При этом принято, что $p_o^c = p_{o(и)}^c$ и $P_2 = P_{2(и)}$.

Однако возможны случаи, когда эти давления при исходных и измененных начальных параметрах пара могут быть и не равны.

На рис.3,в иллюстрируется определение необходимых теплопе-

репадов теплофикационной турбины с двумя регулируемыми отборами пара типа ПТ.

Относительное изменение теплоперепада для турбин этого типа составит:

$$\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}} = \frac{(h_{i\ чвд} + h_{i\ чсд} + h_{i\ чнд})}{(h_{i(и)чвд} + h_{i(и)чсд} + h_{i(и)\ чнд}} - 1 ,$$

где

$$h_{i\ чвд} = (i_0 - i_{2t\ чвд})\eta_{oi\ чвд}^{p_0^c - p_п} ; \quad i_{2чвд} = i_0 \quad h_{i\ чвд} ;$$

$$h_{i\ чсд} = (i_{2чвд} - i_{2t\ чсд})\eta_{oi\ чсд}^{p_п^c - p_т} ; \quad i_{2чсд} = i_{2чвд} - h_{i\ чсд} ;$$

$$h_{i\ чнд(х)} = (i_{2чсд} - i_{2t\ чнд})\eta_{oi\ чнд}^{p_т^c - p_2} ; \quad i_{2чнд} = i_{2чсд} - h_{i\ чнд(х)} ;$$

$$h_{i\ чнд} = (i_{2чсд} - i_{x_1}) + (i_{x_1} - i_{2\ чнд})\left(\frac{1+X_2}{2}\right) .$$

Аналогично определяются теплоперепады и для исходных условий (с индексом $и$).

Давления $p_п^c$ и $p_т^c$ находятся по зависимостям $p_п^c = f(D_{чсд}^{вх})$ и $p_т^c = f(D_{чнд}^{вх})$ конкретных турбин, а при их отсутствии используются аналогичные зависимости однотипных турбин (с однотипным регулированием паровпуска в отсек), представленные в относительных единицах:

$$\frac{p_п^c}{p_п} = f\left(\frac{D_{чсд}^{вх}}{D_{чсд\ макс}^{вх}}\right), \quad \frac{p_т^c}{p_т} = f\left(\frac{D_{чнд}^{вх}}{D_{чнд\ макс}^{вх}}\right).$$

Значения КПД ЧВД, ЧСД, ЧНД (от состояния пара перед соплами I-й ступени) принимаются постоянными при изменениях параметров свежего пара и равными соответственно 0,80–0,83; 0,75–0,85; 0,70–0,80 (бóльшие значения – при бóльших расходах пара на входе в отсек).

Расчет влияния на основную поправку изменения внутреннего относительного КПД регулирующей ступени турбины (отсека) сводится к определению отношения

$$\frac{\Delta\eta_{oi(р.ст)}^{p_0^c - p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c - p_2}} = \frac{\Delta N_{р.ст}}{N_т} ,$$

где $\Delta N_{р.ст}$ – изменение мощности регулирующей ступени только за счет отклонения ее КПД, которое определяется как

$$\Delta N_{р.ст} = \frac{D_{о(и)} h_{о.р.ст(и)} \Delta\eta_{oi(р.ст)} 0{,}99}{860}, \qquad (I.27)$$

где $h_{о.р.ст(и)}$ – располагаемый теплоперепад на регулирующую ступень при исходных параметрах пара $p^c_{о(и)}$, $i_{о(и)}$, $p_{р.ст(и)}$;

$\Delta\eta_{oi(р.ст)}$ – изменение внутреннего относительного КПД регулирующей ступени за счет отклонения параметра $\frac{u}{c_о}$ при изменении располагаемого теплоперепада на данную ступень при переходе с исходных на новые параметры пара ($p^c_о$, $i_о$).

Для определения значения $\Delta\eta_{oi(р.ст)}$ необходимы зависимости $\eta_{oi(р.ст)} = f\left(\frac{u}{c_о}\right)$ или при заданных соответствующих геометрических параметрах ступени и скорости вращения ротора турбины – $\eta_{oi(р.ст)} = f(h_{о.р.ст})$.

На рис.5,*а* и 5,*б* иллюстрируются зависимости внутреннего относительного КПД одновенечной, а на рис.6 – двухвенечной регулирующих ступеней от располагаемого теплоперепада на ступень, построенные на основании специальных расчетов. Эти зависимости могут быть использованы для оценки изменения КПД $\Delta\eta_{oi(р.ст)}$ при отклонениях $h_{о\,р.ст}$.

Как видно из графиков, наиболее резкое изменение КПД регулирующей ступени наблюдается при отклонениях перепадов от оптимального значения в сторону уменьшения.

I.5. К определению коэффициента β по диаграмме режимов турбины

Сопоставляя выражение (I.I2') с выражением $\beta = \frac{h_{i(и)}^{p_р - p_2} K_1}{h_{i(и)}^{p_о - p_2}\left(1 - K_{рег}^{N}\right)}$, можно определить, что при $A = I$ $\beta = \frac{\Delta D_о}{\Delta D_{отб}}$, т.е. данный коэффициент равен отношению изменения расхода свежего пара $\Delta D_о$ к заданному изменению расхода пара в отбор $\Delta D_{отб}$ при сохранении неизменной мощности турбины $N_т$.

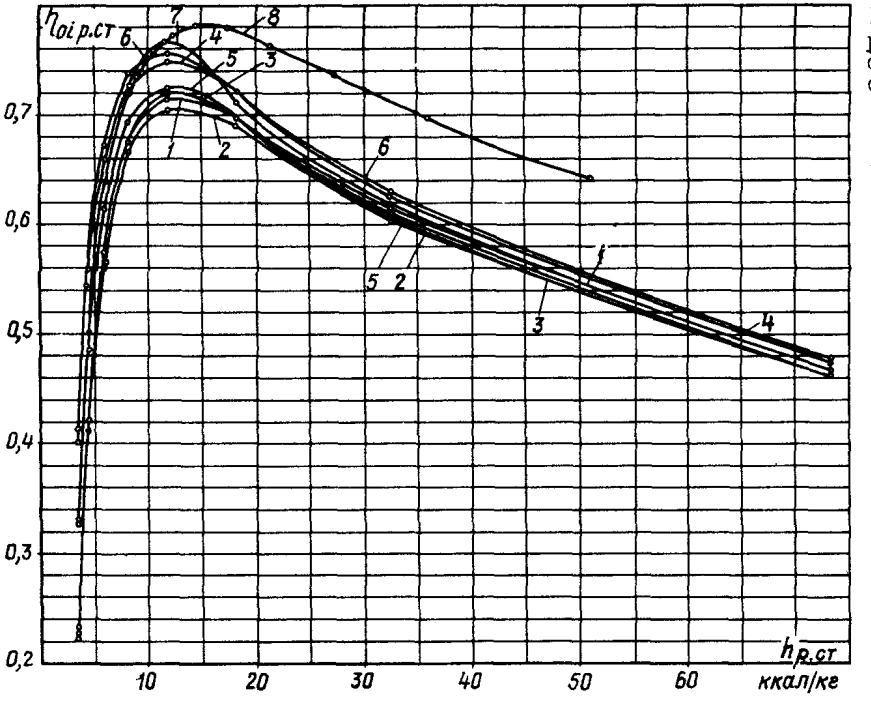


Рис.5,*а*. Зависимость внутреннего относительного КПД одновенечной регулирующей ступени $\eta_{oi\,p\,ст}$ от теплоперепада на ступень h:

I – $\alpha_1 = 12^\circ$, $\beta_2 = 18^\circ$, $\rho = 5\%$, $d = 0{,}9$ м;
2 – $\alpha_1 = 12^\circ$, $\beta_2 = 22^\circ$, $\rho = 5\%$, $d = 0{,}9$ м;
3 – $\alpha_1 = 12^\circ$, $\beta_2 = 18^\circ$, $\rho = 5\%$, $d = 1{,}0$ м;
4 – $\alpha_1 = 12^\circ$; $\beta_2 = 18^\circ$, $\rho = 10\%$, $d = 0{,}9$ м;
5 – $\alpha_1 = 16^\circ$, $\beta_2 = 18^\circ$, $\rho = 5\%$; $d = 0{,}9$ м;
6 – $\alpha_1 = 16^\circ$, $\beta_2 = 18^\circ$, $\rho = 5\%$, $d = 1{,}0$ м; 7 – $\alpha_1 = 16^\circ$, $\beta_2 = 22^\circ$, $\rho = 10\%$, $d = 0{,}9$ м;
8 – турбина К-300-240 ЛМЗ с $d = 1{,}01$ м (по данным теплового расчета ЛМЗ)

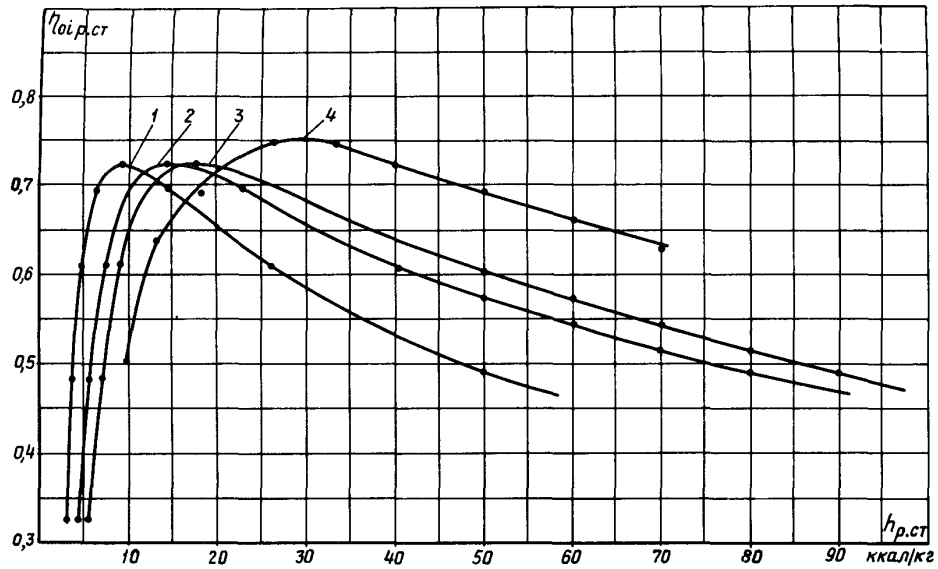


Рис. 5.5. Зависимость внутреннего относительного КПД одновенечной регулирующей ступени η_{oi} ,р.ст от теплоперепада на ступень h :

I -α_1 = I6°, d = 0,8м; 2 -α_1= I6°, d = I,0 м; 3 -α_1= I6°, d = I,I м;
4 -α_1= I2°, d = I,335 м (ЧНД турбины ПТ-60-I30/I3 ЛМЗ)

На рис.7 иллюстрируется определение коэффициента β по диаграмме режимов для теплофикационных турбин с одним и двумя регулируемыми отборами пара (типа П, Т и ПТ).

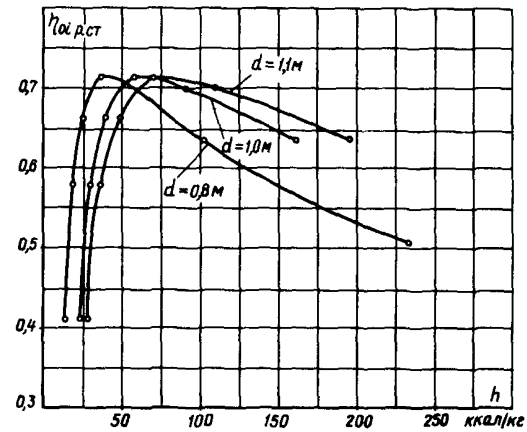


Рис.6. Зависимость внутреннего относительного КПД двухвенечной регулирующей ступени $\eta_{oi\,p.ст}$ от теплового перепада на ступень h

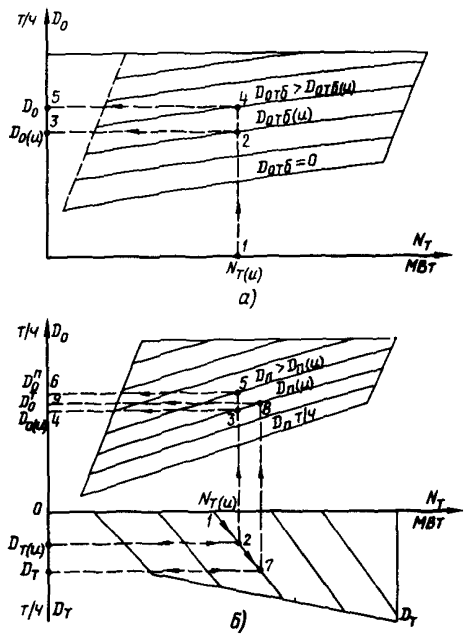


Рис.7. Определение коэффициента β по диаграмме режимов:

а – турбина типов П и Т

$$\beta_{п(т)} = \frac{\Delta D_0}{\Delta D_{отб}} = \frac{D_0 - D_{0(и)}}{D_{отб} - D_{отб(и)}};$$

б – турбина типа ПТ:
для производственного отбора

$$\beta_{(п)} = \frac{D_0^п - D_{0(и)}}{D_п - D_{п(и)}};$$

для теплофикационного отбора

$$\beta_{(т)} = \frac{D_0^т - D_{0(и)}}{D_т - D_{т(и)}}.$$

Для турбины с одним регулируемым отбором пара по заданным значениям $N_{т(и)}$, $D_{отб(и)}$ по диаграмме режимов (см.рис.7,*а*) определяется значение $D_{о(и)}$ (движение по точкам I-2-3). Затем, задаваясь новым значением расхода пара в регулируемый отбор $D_{отб}$ при $N_{т(и)}$, находим новое значение расхода свежего пара $D_о$ (движение по точкам 2-4-5). Вычисляются $\Delta D_о = D_о - D_{о(и)}$,

$$\Delta D_{отб} = D_{отб} - D_{отб(и)} \quad \text{и} \quad \beta_{п(т)} = \frac{\Delta D_о}{\Delta D_{отб}} .$$

Для турбины с двумя регулируемыми отборами пара по заданным значениям $N_{т(и)}$, $D_{п(и)}$, $D_{т(и)}$ определяется значение $D_{о(и)}$ (движение по точкам I-2-3-4, рис.7,*б*). Задаваясь новым значением $D_п$ при $N_{т(и)}$ и $D_{т(и)}$, находим значение $D_о^п$ (движение по точкам I-2-3-5-6). **Затем, принимая новое значение расхода пара в теплофикационный отбор $D_т$ при $D_{п(и)}$ и $N_{т(и)}$, определяем значение расхода свежего пара $D_о^п$ (движение по точкам** I-2-7-8-9).

Коэффициент β для производственного отбора равен

$$\beta_п = \frac{D_о^п - D_{о(и)}}{D_п - D_{п(и)}};$$

для теплофикационного отбора

$$\beta_т = \frac{D_о^т - D_{о(и)}}{D_т - D_{т(и)}}.$$

В случае, когда теплофикационный отбор на диаграмме режимов выражен в Гкал/ч, для нахождения коэффициента β следует от значения расхода тепла перейти к расходу пара в отбор в т/ч:

$$D_т = \frac{Q_т}{i_п - t_{воз} в_р} 10^3 ;$$

и аналогичным образом определить необходимые значения и вычислить коэффициент β.

По рис.8 находятся необходимые значения для расчетов коэффициента β для турбин с двойным теплофикационным отбором пара (турбины Т-50, Т-100, Т-175, Т-250) по диаграммам режимов двух типов (варианты I и 2).

В варианте I по заданным $Q_{т(и)}$ ($D_{т(и)}$), $N_{т(и)}$ и давлению в верхнем теплофикационном отборе $P_{1в(и)}$ определяется значение $D_{о(и)}$ (движение по точкам I-2-3-4-5). Принимая новое значение $Q_т(D_т)$, при значении $N_{т(и)}$ находим новое значение $D_о$ (движение по точкам 6-7-8-9-10).

Далее определяется

$$\delta_T = \frac{(D_0 - D_{0(и)})(i_T - \bar{t}_{воз}в)}{(Q_T - Q_{T(и)})} 10^{-3}.$$

В варианте 2 для определения необходимых значений движение осуществляется по точкам I-2-3-4-5 и I-6-7-8-9.

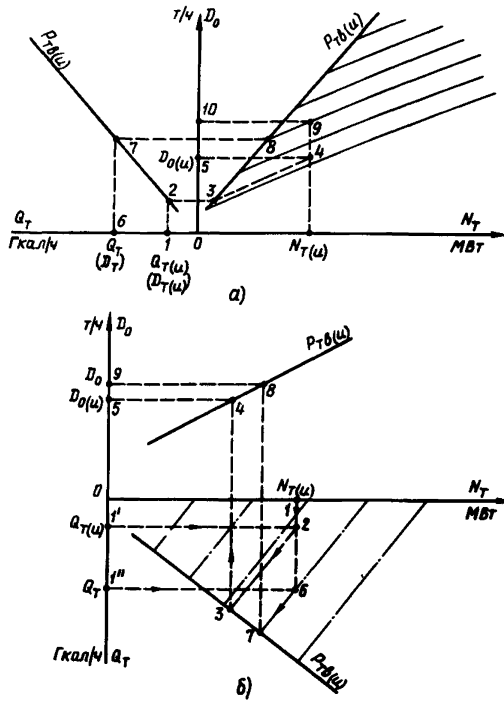


Рис.8. Определение коэффициента δ для турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250:

а - вариант I;

б - вариант 2

I.6. К определению значения $\Delta d_o^{p_o - p_p}$ по диаграмме режимов турбины

Относительный прирост расхода пара отсека турбины от стопорного клапана до рассматриваемого регулируемого отбора $\Delta d_{отс}^{p_o - p_p}$ может быть рассчитан с достаточной точностью по данным диаграммы режимов, на которых нанесены линии постоянных расходов пара

на входе в часть (отсек) турбины, расположенной за регулируемым отбором (или на выходе из отсека, после которого осуществляется отбор пара). Например, для турбины с одним регулируемым отбором пара (типа П,Т) это расход на входе в часть низкого давления ЧНД $D^{вх}_{чнд}$, для турбин с двумя регулируемыми отборами пара – расход на выходе из части среднего давления $D^{вых}_{чсд}$.

На рис.9, 10 иллюстрируется определение значения относительного прироста расхода пара $\Delta d_0^{P_0-P_{п(т)}}$ по диаграммам режимов турбин с одним и двумя отборами пара. Для турбины с одним отбором пара (типов П, Т) значение $\Delta d_0^{P_0-P_{п(т)}}$ определяется по изменению расхода пара при заданном изменении мощности турбины и движении по линии $D^{вх}_{чнд(и)} = const$, соответствующей $N_{т(и)}$ и $D_{п(т)(и)}$ (точки 2-5). Значения $D_{0(и)}$ и D_0 находятся (движением по точкам I-2-3 и 4-5-6);

$$\Delta d_0^{P_0-P_{п(т)}} = \frac{D_0 - D_{0(и)}}{N_т - N_{т(и)}}.$$

Для турбин с двумя регулируемыми отборами пара (типа ПТ) на диаграммах режимов, как правило, имеются линии $D^{вых}_{чсд} = const$. Поэтому с достаточной точностью для расчета поправок значение $\Delta d_0^{P_0-P_п}$ определяется с использованием этих линий, как указано выше. Значение $\Delta d_0^{P_0-P_т}$ для теплофикационного отбора может быть найдено следующим образом. По заданным значениям $D'_{п(и)}$, $N'_{т(и)}$ находят значения $D^{вых}_{чсд(и)}$ и $D'_{0(и)}$ (см.рис.9) (движение по точкам 4-5-6); затем, задаваясь новым значением $N_т$ (точка 7), в точке пересечения координаты $N_т$ и линии $D'_{п(и)}$ (точка 8) находим новое значение $D^{вых}_{чсд}$, а в точке 9 – расход свежего пара D_0. Определяются значения изменений:

- расхода пара на выходе из ЧСД

$$\Delta D^{вых}_{чсд} = D^{вых}_{чсд} - D^{вых}_{чсд(и)};$$

- мощности турбины при отпуске пара из теплофикационного отбора в количестве $\Delta D^{вых}_{чсд} = D_т$ как

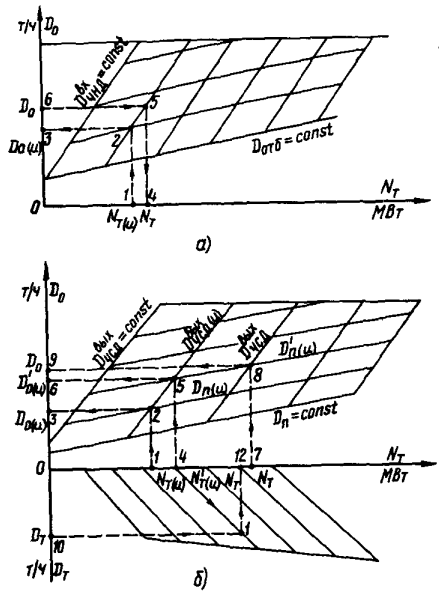


Рис.9. Определение относительных приростов расхода пара $\Delta d_0^{P_0-P_{п(т)}}$, $\Delta d_0^{P_0-P_п}$, $\Delta d_0^{P_0-P_т}$:

а – турбины типов П,Т

$$\Delta d_0^{P_0-P_{п(т)}} = \frac{D_0 - D_{0(и)}}{N_T - N_{T(и)}};$$

б – турбина типа ПТ;

для производственного отбора

$$\Delta d_0^{P_0-P_п} = \frac{D_{0(б)} - D_{0(и)}}{N_{T(4)} - N_{T(и)}};$$

для теплофикационного отбора

$$\Delta d_0^{P_0-P_т} = \frac{D_{0(9)} - D_{0(б)}}{(N_{T(7)} - N_{T(4)}) - (N_{T(12)} - N_{T(4)})};$$

$$D_т = D_{ЧСД(8)}^{вых} - D_{ЧСД(и)}^{вых} = \Delta D_{ЧСД}^{вых}$$

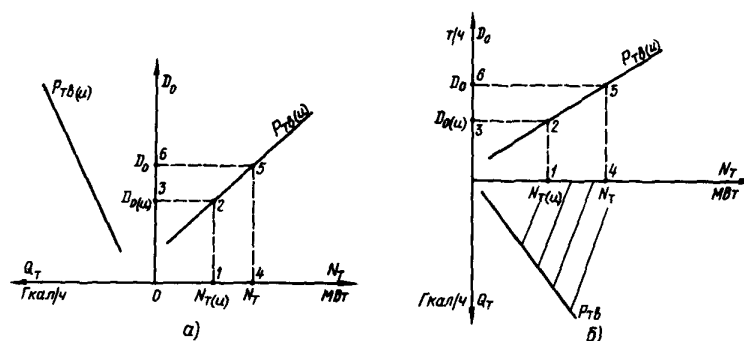


Рис.10. Определение относительного прироста расхода пара $\Delta d_0^{P_0-P_т}$ турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250:

а – вариант I: $\Delta d_0^{P_0-P_т} = \frac{D_0 - D_{0(и)}}{N_T - N_{T(и)}}$; *б* – вариант 2: $\Delta d_0^{P_0-P_т} = \frac{D_0 - D_{0(и)}}{N_T - N_{T(и)}}$

Определение значений $D_{0(и)}$ и D_0 по заданным $N_{т(и)}$ и $N_т$ по диаграммам режимов турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250 для расчета $\Delta d_0^{p_0-p_т}$ производится в точках пересечения координат $N_т$ с линией $D_0=f(N_т)$ при работе по тепловому графику и заданном давлении в верхнем теплофикационном отборе $P_{тв}$ (см.рис.10).

I.7. К выбору начальной точки процесса расширения пара в турбине при расчете поправок на отклонение начальных параметров

При расчете поправок на отклонение начальных параметров пара располагаемые теплоперепады предлагается определять по состоянию пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека), за регулирующим паровпуск органом (регулирующие клапаны, диафрагмы). Внутренний относительный КПД турбины (отсека) от состояния пара перед соплами I-й ступени при изменении положения органов паровпуска, но неизменном расходе пара на входе в турбину (отсек) может изменяться по причинам, указанным в разд.I.2. Отдельный последующий учет влияния этих причин на мощность турбины при расчете поправок делает возможным отношения $\frac{h_i}{h_{i(и)}}$ и $\frac{\Delta h_i}{h_{i(и)}}$ заменить соответствующими отношениями располагаемых теплоперепадов, т.е. принять

$$\frac{h_i^{p_0^c-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0^c-p_2}}=\frac{h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}};\qquad \frac{\Delta h_i^{p_0^c-p_2}}{h_{i(и)}^{p_0^c-p_2}}=\frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}.$$

Фиксируемыми и заданными начальными параметрами пара, как правило, являются давление и температура свежего пара - перед стопорным клапаном турбины, температура пара после промперегрева - перед отсечными клапанами турбины, давление и температура (энтальпия) пара в камере регулируемого отбора - перед регулирующим паровпуск органом отсека (части).

Поэтому для расчета поправок необходимо иметь возможность при различных значениях $D_0(D_{отс})$ и заданных начальных исходных и отклоненных параметрах пара определить начальную точку процесса расширения пара в турбине (отсеке) - состояние пара пе-

ред соплами I-й ступени с тем, чтобы при принятом значении P_2 найти искомые изменения теплоперепадов на турбину (отсек).

Методика нахождения начальной точки процесса расширения рассматривается в разд.2.

2. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ СВЕЖЕГО ПАРА ПЕРЕД СТОПОРНЫМ КЛАПАНОМ ТУРБИНЫ ПРИ $t_0 = const$

2.I. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$

При расчетах поправки на отклонение P_0 для условия $D_0 = const$ необходимо рассматривать две зоны регулирования паровпуска - дроссельного и соплового, для которых получаются принципиально различные результаты при одном и том же отклонении P_0.

При дроссельном регулировании паровпуска (при $D_0 = const$, $t_0 = const$) изменение значения P_0 приводит к весьма несущественному отклонению значения давления перед соплами I-й ступени P_0^c за счет изменения температуры пара t_0^c (вследствие дросселирования пара в органах паровпуска при $i_0 = const$);

$$P_0^c = P_{0(н)}^c \sqrt{\frac{T_0^c}{T_{0(н)}^c}},$$

где

$$T_0^c = t_0^c + 273^\circ K .$$

При расчетах поправки для практических целей этим изменением можно пренебречь и считать, что располагаемый теплоперепад будет изменяться только за счет отклонения t_0^c.

В зоне с сопловым регулированием паровпуска отклонение P_0 при условии $D_0 = const$ приводит к значительному изменению положения регулирующих клапанов и, следовательно, к изменению степени дросселирования пара в них, что, в свою очередь, приводит к изменению средневзвешенного значения давления пара перед соплами I-й ступени P_0^c.

При этом для заданных значений D_0 отклонение P_0 на одно и то же значение может дать различные отклонения P_0^c.

В конечном результате при расчете поправок по отклонениям располагаемых теплоперепадов, определенных от состояния пара перед стопорным клапаном турбины, может появиться существенная неточность, поскольку не во всех случаях выдерживаются соотношения:

$$\frac{p_0}{p_{0(и)}}=\frac{p_0^c}{p_{0(и)}^c};\quad \frac{h_0^{p_0-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}=\frac{h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}\quad \left(\frac{\Delta h_0^{p_0-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0-p_2}}=\frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}\right).$$

Для более точных расчетов поправок в зоне соплового регулирования необходимо иметь зависимости $p_0^c = f(D_0)$ при различных значениях $p_0\,(p_0' > p_{0(и)} > p_0'')$.

Средневзвешенное значение давления пара перед соплами I-й ступени при заданных значениях p_0 рассчитывается на основании данных диаграммы парораспределения - графической зависимости давления пара перед соплами I-й ступени каждого сегмента (за регулирующим клапаном) $p_{кл}$ и давления за I-й ступенью (в камере регулирующей ступени) $p_{р.ст}$ от расхода свежего пара (на входе в отсек) при номинальных (исходных) параметрах пара. Первоначально для этих условий рассчитывают зависимость $p_0^c = f(D_0)$. При этом следует иметь в виду, что при строгом расчете средневзвешенное значение давления p_0^c должно соответствовать средневзвешенному значению теплоперепада на регулирующую ступень

$$h_{р.ст}^{взв}=\frac{h_{сег}^{I} D_{сег}^{I}+h_{сег}^{II} D_{сег}^{II}+\ldots+h_{сег}^{n} D_{сег}^{n}}{D_0},$$

где $h_{сег}^{I}, h_{сег}^{II}, h_{сег}^{n}$ и $D_{сег}^{I}, D_{сег}^{II}, D_{сег}^{n}$ - **располагаемые теплоперепады на I-ю ступень от состояния пара перед I, II и n-м - сегментами сопл и соответственно расходы пара через данные сегменты сопл.**

Начальная точка в is -диаграмме при нахождении значения $h_{сег}$ для каждого сегмента сопл определяется пересечением линии $i = i_0$ (соответствующей $p_{0(и)}$ и $t_{0(и)}$) и с линией $p = p_{кл}^{I}$, а конечная - линий $S=S_{0(и)}$ (энтропии) и $p=p_{р.ст}$.

Значения $p_{кл}^{I}$ и $p_{р.ст}$ находятся по диаграмме парораспределения для задаваемых значений D_0.

Расходы пара через сегменты сопл определяются либо непосредственно по зависимости $D_{сег}(G_{сег})=f(D_0)$ **теплового** расчета парораспределения, либо, в случае отсутствия этого графика, по диаграмме парораспределения следующим образом:

а) определяется расход через I сегмент сопл (или I + II или I + II + III сегменты при одновременном открытии соответствующих клапанов), принимая, что $D_0 = D^{I}_{сег}$ (или $D_0 = D^{I+II}_{сег}$, или $D_0 = D^{I+II+III}_{сег}$)-до точки начала открытия следующего клапана; в точке открытия $D^{I*}_{сег} = D_0$.

Далее с достаточной точностью

$$D^{I}_{сег} = D^{I*}_{сег} \sqrt{\frac{p^{I2}_{кл} - p^{2}_{р.ст}}{p^{I*2}_{кл} - p^{*2}_{р.ст}}} \sqrt{\frac{T^{I*}_{сег}}{T^{I}_{сег}}},$$

если $\frac{p_{р.ст}}{p_{кл}} > 0{,}546$ и $D^{I}_{сег} = D^{I*}_{сег} \frac{p^{I}_{кл}}{p^{I*}_{кл}} \sqrt{\frac{T^{I*}_{сег}}{T^{I}_{сег}}}$,

если $\frac{p_{р.ст}}{p_{кл}} \leq 0{,}546$.

Здесь $p^{I*}_{кл}$, $p^{*}_{р.ст}$, $T^{I*}_{сег}$ – соответственно давление пара перед I(I+II или I+II+III) сегментом сопл, за соплами I-й ступени – в камере регулирующей ступени, температура пара перед соплами сегмента, °К (по $p^{I}_{кл}$ и i_0) в точке, соответствующей началу открытия следующего клапана $D_0 = D^{I*}_{сег}$;

$p^{I}_{кл}, p_{р.ст}, T^{I}_{сег}$ – то же, но для задаваемого значения $D_0 > D^{I*}_{сег}$;

б) определяется расход пара через II сегмент сопл, до точки начала открытия следующего клапана, как $D^{II}_{сег} = D_0 - D^{I}_{сег}$, в точке начала открытия клапана $D^{II*}_{сег} = D^{II}_{сег}$, далее – так же, как и для I сегмента – рассчитывают значения $D^{II}_{сег}$, задаваясь значением D_0;

в) производится расчет расходов для III и последующих сегментов таким же образом. Для последнего сегмента расход пара через него определяется как $D^{n}_{сег} = D_0 - \Sigma D^{n-1}_{сег}$.

После определения $h^{изв}_{р.ст}$ по is -диаграмме находится значение $p^{c}_{0(и)}$ в точке пересечения восходящего при $s = const$ от линии $p = p_{р.ст}$ отрезка, равного $h^{изв}_{р.ст}$, с линией $i = i_0$, соответ-

ствующей исходным p_0 и t_0.

Расчеты показывают, что средневзвешенное значение давления пара перед соплами I-и ступени, определенное по формуле

$$p_0^{c'} = \frac{p_{кл}^{I} D_{сег}^{I} + p_{кл}^{II} D_{сег}^{II} + \ldots + p_{кл}^{n} D_{сег}^{n}}{D_0},$$

существенно отличается от давления p_0^c только в зонах незначительного (менее чем на I/3 по давлению) открытия регулирующих клапанов. При большем открытии клапанов эти давления практически совпадают.

Для определения значения давления пара перед соплами I-й ступени при заданном отклонении p_0 и заданном значении D_0 производится пересчет зависимости $p_{0(и)}^c = f(D_{0(и)})$ на новое значение p_0. Для этого следовало бы пересчитать диаграмму парораспределения на измененные условия и вновь описанным выше способом найти зависимость $p_0^c = f(D_0)$. Однако, как показывают выполненные расчеты и анализ их результатов, с достаточной точностью зависимость $p_0^c = f(D_0)$ можно получить непосредственным пересчетом исходной зависимости $p_{0(и)}^c = f(D_{0(и)})$ минуя пересчет диаграммы парораспределения и другие промежуточные расчеты.

Значения давлений и расходов определяются по следующим формулам:

- для конденсационных турбин и теплофикационных при конденсационном режиме

$$p_0^c = p_{0(и)}^c \frac{p_0}{p_{0(и)}} \quad \text{и} \quad D_0 = D_{0(и)} \frac{p_0}{p_{0(и)}};$$

- для турбин с противодавлением и регулируемыми отборами пара

$$p_0^c = p_{0(и)}^c \frac{p_0}{p_{0(и)}} \quad \text{и} \quad D_0 = D_{0(и)} \sqrt{\frac{p_0^2 - p_p^2}{p_{0(и)}^2 - p_{p(и)}^2}},$$

где p_p – давление пара в регулируемом отборе пара или противодавление – для турбин типа Р.

Построив графические зависимости $p_{0(и)}^c = f(D_{0(и)})$ и $p_0^c = f(D_0)$ для заданных отклонений p_0 (заданного отношения $\frac{p_0}{p_{0(и)}}$), можно установить связь между заданными значениями $p_{0(и)}$ и p_0 и искомыми значениями $p_{0(и)}^c$, p_0^c для интересующего значения D_0. Иллюстрация этого приводится на рис.II,I2,I3 для конденсационной турбины, имеющей четыре сегмента сопл I-и ступени (четыре регулирующих клапана).

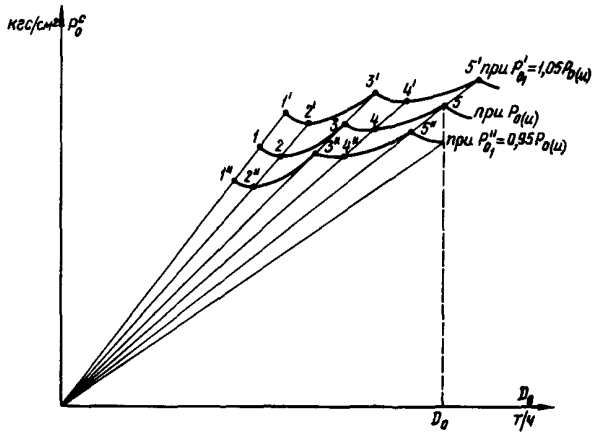


Рис.II. Средневзвешенное значение давления пара перед соплами **I-й ступени** турбины в зоне соплового парораспределения при $P_{0(и)}$, $p_0' > P_{0(н)}$, $p_0'' \geq P_{0(н)}$

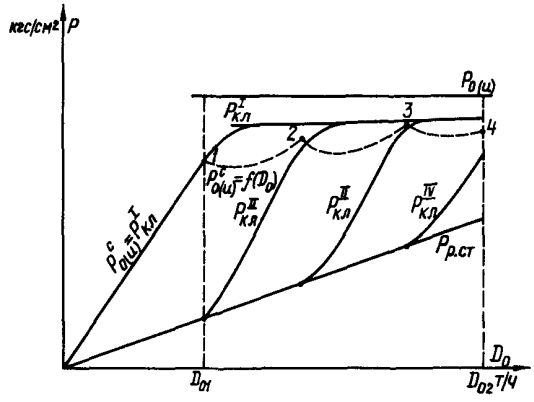


Рис.I2. Давление пара за регулирующими клапанами ($p_{кл}^{I}$, $p_{кл}^{II}$, $p_{кл}^{III}$, $p_{кл}^{IV}$) **и средневзвешенное значение давления пара пе-**ред соплами I-й ступени ($p_{0(и)}^{c}$)

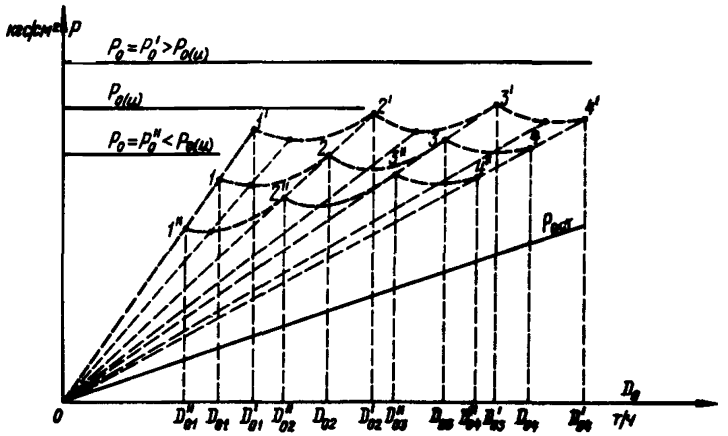


Рис.I3. Средневзвешенное давление пара перед соплами I-й ступени турбины при $P_{0(и)}$, $P_0'>P_{0(и)}$, $P_0''<P_{0(и)}$

На рис.I2 представлены диаграмма парораспределения и средневзвешенное (по перепаду) значение давления пара перед соплами I-й ступени при исходных параметрах пара, на рис.I3 - **средневзвешенные значения давления** P_0^c, $P_0^{c'}$ и $P_0^{c''}$ **при значениях** $P_0=P_{0(и)}$, $P_0=P_0'>P_{0(и)}$ и $P_0=P_0''<P_{0(и)}$.

На рис.I3 линией 0-I-2-3-4 изображена зависимость $P_0^c=f(D_0)$ при исходных параметрах пара, линией 0-I'-2'-3'-4' - при $P_0=P_0'>P_{0(и)}$, а линией 0-I''-2''-3''-4'' при $P_0=P_0''<P_{0(и)}$.

Значения $P_0^{c'}$, $P_0^{c''}$, D_0' и D_0'' для построения рассматриваемых зависимостей получены как:

$$P_0^{c'}=P_0^c\frac{P_0'}{P_{0(и)}},\quad D_0'=D_0\frac{P_0'}{P_{0(и)}};$$

$$P_0^{c''}=P_0^c\frac{P_0''}{P_{0(и)}},\quad D_0''=D_0\frac{P_0''}{P_{0(и)}}.$$

Линиями 0-I, 0-I', 0-I'' представлены зависимости $P_0^c=f(D_0)$ при дроссельном регулировании, линиями I-2-3-4, I'-2'-3'-4' и I''-2''-3''-4'' - при сопловом регулировании паровпуска. Как видно, зона дроссельного паровпуска, находящаяся в пределах расходов пара 0 - D_{01} при

$P_0 = P_{0(и)}$, расширяется до значения $D'_{01} = D_{01}\frac{P'_0}{P_{0(и)}}$, если $P_0 = P'_0 > P_{0(и)}$, и суживается до $D''_0 = D_0\frac{P''_0}{P_{0(и)}}$, если $P_0 = P''_0 < P_{0(и)}$.

При заданных значениях D_0 давление пара P_0^c в этой зоне не зависит от изменения P_0.

В зоне соплового регулирования связь между значениями P_0 и P_0^c при условии $D_0 = const$ неоднозначна: при одном и том же значении отклонения P_0 от $P_{0(и)}$ отклонения значений P_0^c различны.

В приложении I приведены графики средневзвешенных значений давления пара перед соплами I-й ступени, которые могут быть использованы при расчете поправок для наиболее распространенных типов турбин отечественного производства. Эти графики построены при отклонении давления P_0 на $\pm 10\%$ от $P_{0(и)}$. Определение зависимости $P_0^c = f(D_0)$ при меньших или больших отклонениях давления P_0 производится путем пересчета исходной зависимости $P_{0(и)}^c = f(D_{0(и)})$ на новые условия рассмотренным выше методом.

2.I.I. Расчет поправки к мощности при дроссельном регулировании паровпуска

При дроссельном регулировании паровпуска давление пара перед соплами I-й ступени при $D_0(D_{ст}) = const$ практически не зависит от изменения давления пара перед стопорным клапаном (регулирующим паровпуск органом в отсек).

В этом случае располагаемый теплоперепад на турбину (отсек, цилиндр - при наличии промперегрева пара) будет изменяться незначительно вследствие отклонения температуры пара перед соплами I-й ступени, а внутренние относительные КПД как регулирующей ступени, так и турбины (отсека, цилиндра) в целом (без потерь от влажности пара) практически останутся без изменения.

Для расчета поправки к мощности в этой зоне работы турбины задаются значениями расхода свежего пара для данной зоны: минимальным $D_{мин}$, средним $D_{0(сред)}$ и максимальным $D_{0\,макс}$ и, пользуясь зависимостью $P_0^c = f(D_0)$, находят значения $P_{0\,мин}^c$, $P_{0(сред)}^c$

$p^c_{0\,макс}$. Далее задаются значениями давления свежего пара $p'_{02} > p'_{01} > p_{0(и)} > p''_{01} > p''_{02}$ и по is - диаграмме в точках пересечений линий этих давлений с линией $t = t_{0(и)} = const$ находят значения энтальпий i'_{02}, i'_{01}, $i_{0(и)}$, i''_{01}, i''_{02}, а в точках пересечений линий $p^c_{0\,мин}$, $p^c_{0(сред)}$, $p^c_{0\,макс}$ и найденных энтальпий - значения энтропий $s^{c'}_{02}$, $s^{c'}_{01}$, $s^c_{0(и)}$, $s^{c''}_{01}$ и $s^{c''}_{02}$.

За давление отработавшего пара p_2 принимается для:

- турбин без промперегрева пара - давление отработавшего пара в конденсаторе;

- турбин с промперегревом пара - давление за ЦВД, после которого пар направляется на перегрев, $p_{2\,цвд}$;

- отсека - давление пара за отсеком турбины (в регулируемом отборе);

- турбин типа Р - противодавление.

Давление пара в конденсаторе может быть принято по характеристике конденсатора для условий постоянства расхода W и температуры $t^в_1$ охлаждающей воды при известных значениях $D_{0\,мин}$, $D_{0(сред)}$, $D_{0\,макс}$, а давление пара за ЦВД - по зависимости $p_{2цвд} = f(D_0)$.

Для каждого заданного значения p_0 описанным в разд.I.4 способом определяются тепловые перепады, рассчитываются отношения $\frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{ox}}{h^{p^c_0 - p_2}_{ox(и)}}$ или $\frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{0}}{h^{p^c_0 - p_2}_{0(и)}}$.

Поправки (%) определяются по следующим формулам:

- для конденсационных и теплофикационных турбин без промперегрева при отсутствии отбора пара

$$\alpha^{p_0}_N = \frac{\Delta N^{p_0}_T}{N_{T(и)}} = \frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{ox}\, 0{,}99}{h^{p^c_0 - p_2}_{ox(и)} (1 - K^N_{рег}) \eta_{эм}} = \frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{ox}}{h^{p^c_0 - p_2}_{ox(и)}} B \cdot 10^2 ; \qquad (2.I)$$

- для теплофикационных турбин при заданных значениях $D_{отб}$

$$\alpha^{p_0}_N = \frac{\Delta N^{p_0}_T}{N_{T(и)}} = \frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{ox} \left[1 - \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0} a\right)\right] 0{,}99}{h^{p^c_0 - p_2}_{ox(и)} (1 - K^N_{рег}) \left[1 - \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0} в\right)\right] \eta_{эм}} = \frac{\Delta h^{p^c_0 - p_2}_{ox}}{h^{p^c_0 - p_2}_{ox(и)}} B \frac{[1-C]}{[1-D]} 10^2 ; \qquad (2.Г)$$

– для теплофикационных турбин при $Q_{отб} = const$

$$\alpha_N^{p_0} = \frac{\Delta N_T^{p_0}}{N_{T(и)}} = \frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб(и)}a}{D_0}\right)0{,}99\right]}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}\left(1-K_{рег}^{N}\right)\left[1-\Sigma\left(\frac{D_{отб(и)}в}{D_0}\right)\right]\eta_{эм}} + \Sigma\left[\frac{\Delta i_{отб}\,\frac{D_{отб}}{D_0}\,в\;0{,}99}{\left(i_{отб}-\bar{t}_{возв}в\right)\left[1-\frac{D_{отб}}{D_0}в\right]\eta_{эм}}\right] =$$

$$= \left[\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}\,B\,\frac{(1-C)}{(1-D)} + E\right]10^2. \qquad (2.I'')$$

При расчете поправок к мощности на отклонение давления свежего пара для турбин с промперегревом пара изменение теплоперепада ЦВД необходимо относить ко всему теплоперепаду на турбину, т.е. в формулах (2.I), (2.I') и (2.I'') под отношением $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}$ подразумевается отношение $\frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_{2цвд}}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}} + h_{ox(и)}^{p''_{пп}-p_2}}$ или

$$\frac{\Delta h_0^{p_0^c-p_{2цвд}}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}\left(1+\frac{h_{ox(и)}^{p''_{пп}-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}}\right)},$$

где $h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}$, $h_{ox(и)}^{p''_{пп}-p_2}$ – теплоперепады на отсеки турбины (ЦВД и ЦСД + ЧНД) по состоянию пара соответственно перед соплами I-й ступени ЦВД и на выходе из ЦВД (на промперегрев), перед отсечными клапанами ЦСД и в конденсаторе турбины.

Начальная точка теплоперепада ЦВД $h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}$ (см. рис.3,д) находится на пересечении линий $P = p_{0(и)}^c$ и $i = i_{0(и)}$, конечная – на пересечении линий $P = p_{2цвд(и)}$ и s_0^c. Теплоперепад $h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}} = i_{0(и)} - i_{2tцвд}$. Начальная точка теплоперепада $h_{ox(и)}^{p''_{пп}-p_2}$ ЦСД + ЧНД определяется пересечением линий $P = p''_{пп} = p_{0цсд(и)}$ и $t = t''_{пп} = t_{0цсд(и)}$.

Теплоперепад ЦСД + ЧНД вычисляется как

$$h_{ox(и)}^{p''_{пп}-p_2} = (i_{0цсд(и)} - i_{x1(и)}) + (i_{x1(и)} - i_{2(и)})\left(\frac{1+X_{2(и)}}{2}\right).$$

Значения $i_{x1(и)}$, $i_{2(и)}$, $x_{2(и)}$ определяются по методике, приведенной в разд.I.4.

Давление пара за ЦВД ($P_{2\,цвд(и)}$) и перед отсечными клапанами ЦСД ($P_{0цсд} = P''_{пп(и)}$) определяется по зависимостям соответственно $P_{2\,цвд}(P'_{пп}) = f(D_0)$ и $P_{0цсд}(P''_{пп}) = f(D_0)$ согласно заданным значениям D_0.

Значения коэффициентов C, D и E, используемых при расчетах поправок, определяются по следующим формулам:

- для турбин с одним регулируемым отбором пара типа П или Т (включая турбины Т-50, Т-100 и т.д.):

$$C = \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right) = \frac{D_{п(т)}}{D_0}a_{п(т)};$$

$$D = \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}b\right) = \frac{D_{п(т)}}{D_0}b_{п(т)};$$

$$E = \Sigma\frac{\Delta i_{отб}\frac{D_{отб}}{D_0}b}{(i_{отб} - \bar{t}_{возв}b)\left[1 - \frac{D_{отб}}{D_0}b\right]} = \frac{\Delta i_{п(т)}\frac{D_{п(т)}}{D_0}b_{п(т)}}{(i_{п(т)} - \bar{t}_{возв})\left[1 - \frac{D_{п(т)}}{D_0}b_{п(т)}\right]};$$

- для турбин с двумя регулируемыми отборами пара типа ПТ:

$$C = \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}a\right) = \frac{D_п}{D_0}a_п + \frac{D_т}{D_0}a_т;$$

$$D = \Sigma\left(\frac{D_{отб}}{D_0}b\right) = \frac{D_п}{D_0}b_п + \frac{D_т}{D_0}b_т;$$

$$E = \Sigma\frac{\Delta i_{отб}\frac{D_{отб}}{D_0}b}{(i_{отб} - \bar{t}_{возв})(1 - \frac{D_{отб}}{D_0}b)} = \frac{\Delta i_п\frac{D_п}{D_0}b_п}{(i_п - \bar{t}_{возв})(1 - \frac{D_п}{D_0}b_п)} + \frac{\Delta i_т\frac{D_т}{D_0}b_т}{(i_т - \bar{t}_{возв})(1 - \frac{D_т}{D_0}b_т)}.$$

При расчетах поправок для условий $Q_{отб} = const$ в приведенные формулы вместо отношения $\frac{D_{отб}}{D_0}$ может быть подставлено отношение $\frac{Q_{отб}}{Q_0}$.

При расчет поправок для турбин типа Р следует пользоваться формулой (2.I). Если процесс расширения происходит полностью в области **перегретого пара, вместо отношения** $\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_o^c-p_2}}$ следует использовать отношение $\frac{\Delta h_o^{p_o^c-p_2}}{h_{o(и)}^{p_o^c-p_2}}$. Расчет поправок рекомендуется выполнять для нескольких значений противодавления $p_2=p_{пр}\ (p_2'>p_{2(и)}>p_2'')$.

2.I.2. Расчет поправки к мощности при сопловом регулировании паровпуска

В зоне соплового регулирования паровпуска изменение начального давления пара при $D_o = const$ приводит к изменению давления пара перед соплами I-й ступени p_o^c и располагаемого теплоперепада на турбину (отсек) преимущественно вследствие изменения располагаемого теплоперепада на регулирующую (I-ю) ступень. Поэтому при расчете поправки для этой зоны необходимо учитывать также и влияние на мощность изменения КПД регулирующей ступени $\left(\frac{\Delta N_{p.ст}}{N_T}=\frac{\Delta\eta_{oi\,p\,ст}^{p_o^c-p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_o^c-p_2}}\right)$.

Рекомендуется следующий порядок расчета значений отклонения **теплоперепадов на турбину**, отсек $\left(\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_o^c-p_2}};\ \frac{\Delta h_o^{p_o^c-p_2}}{h_o^{p_o^c-p_2}}\right)$.

Задаются значениями давления перед стопорным клапаном турбины (перед регулирующим органом отсека турбины)

$$p_{02}'>p_{01}'>p_{o(и)}>p_{01}''>p_{02}''.$$

Например, $p_{02}'=1{,}1p_{o(и)}$; $p_{01}'=1{,}05p_{o(и)}$; $p_{01}''=0{,}95p_{o(и)}$; $p_{02}''=0{,}9p_{o(и)}$.

На графиках, изображающих зависимости $p_o^c=f(D_o)$ при $p_o=p_{02}'=1{,}1p_{o(и)}$ и $p_o=p_{02}''=0{,}9p_{o(и)}$ **строят** зависимости $p_o^c=f(D_o)$ для давлений свежего пара $p_{01}'=1{,}05p_{o(и)}$ и $p_{01}''=0{,}95p_{o(и)}$ (данные для этого получаются путем пересчета исходной кривой $p_{o(и)}^c=f(D_{o(и)})$ на эти условия).

Имея для давлений p'_{02} , p'_{01} , $p_{0(и)}$, p''_{01} , p''_{02} зависимости $p_{02}^{c'}=f(D_0)$, $p_{01}^{c'}=f(D_0)$, $p_{0(и)}=f(D_0)$, $p_{01}^{c''}=f(D_0)$, $p_{02}^{c''}=f(D_0)$, по заданным значениям D_0 находят значения p_{02}^{c1} , p_{01}^{c1} , $p_{0(и)}^{c}$, $p_{01}^{c''}$, $p_{02}^{c''}$, причем в соответствующих зонах эти значения определяются для одного и того же значения D_0.

Значения D_0 выбирают таким образом, чтобы для каждого заданного p_0 были зафиксированы характерные точки по p_0^c для каждого сегмента сопл: начало работы сегмента (начало открытия соответствующего регулирующего клапана); частичное открытие регулирующего клапана, при котором получается минимальное средневзвешенное значение давления пара перед соплами при работе рассматриваемого сегмента $p_{0\,мин}^{c}$; начало работы последующего сегмента (начало открытия последующего клапана); частичное открытие последующего регулирующего клапана и так до максимального открытия регулирующего клапана последнего сегмента сопл.

Например, на рис.I2 показаны зависимости $p_0^c=f(D_0)$ при $p_0=p_{0(и)}$, $p'_0=1{,}05\,p_{0(и)}$ и $p''_{01}=0{,}95\,p_{0(и)}$ для случая соплового регулирования паровпуска двумя сегментами сопл. Точки I,2,3,4 и 5; I', 2', 3', 4' и 5'; I'', 2'', 3'', 4'' и 5'' являются характерными и должны быть обязательно учтены при выборе значений D_0. При расчете поправки для случая $p'_{01}=1{,}05\,p_{0(и)}$ значения $p_{0(и)}^{c}$ и $p_0^{c'}$ определяют при равных расходах D_0, соответствующих их значениям в точках I', 2', 3, 4, 3', 4', 5, а значения $p_0^{c''}$ и $p_{0(и)}^{c}$ при $p''_{01}=0{,}95\,p_{0(и)}$ - в точках I,2, 3'', 4'', 3, 4, 5''.

В точках пересечения линий заданных давлений $p=p'_{01}$, $p=p_{0(и)}$, $p=p''_{01}$ с линией $t=t_{0(и)}$ по is - диаграмме находят значения энтальпий i'_{01}, $i_{0(и)}$, i''_{01}.

Начальная точка для определения значений теплоперепадов находится на пересечении соответствующих линий начальной энтальпии пара i'_{01}, $i_{0(и)}$, i''_{01} и давления пара перед соплами I-й сту-

пени $p_{01}^{c'}$, $p_{0(и)}^{c}$, $p_{01}^{c''}$.

Для каждого принятого значения D_0 по is -диаграмме описанным в разд.I.4 способом определяются теплоперепады:

- для исходных (номинальных) значений $p_{0(и)}$, $i_{0(и)}(t_{0(и)})$, p_0^c и заданных p_{01}', $i_{01}'(t_{0(и)})$, $p_{01}^{c'}$;

- для исходных и заданных значений p_{01}'', i_{01}'', $p_{01}^{c''}$, а также рассчитывается отношение $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}}$ или $\frac{\Delta h_0^{p_0^c - p_2}}{\Delta h_{0(и)}^{p_0^c - p_2}}$

Аналогичным способом определяются теплоперепады и рассчитываются их изменения для условий $p_{02}' = 1{,}1 p_{0(и)}$ и $p_{02}'' = 0{,}9 p_{0(и)}$.

Одновременно с расчетами изменений теплоперепадов на турбину (отсек) по is -диаграмме определяются располагаемые теплоперепады на I-ю (регулирующую) ступень от начальной точки до давления в камере регулирующей ступени $p_{р.ст}$ при исходных ($h_{р.ст(и)}$) и измененных давлениях свежего пара ($h_{р.ст}'$, $h_{р.ст}''$). Давление пара $p_{р.ст}$ определяется по зависимости $p_{р.ст} = f(D_0)$ при выбранных для расчета поправки значениях D_0.

По зависимости $\eta_{oi\,р.ст} = f(h_{р.ст})$ (рис.5,*а*, 5,*б*,6) применительно к соответствующему типу регулирующей ступени по значениям $h_{р.ст(и)}$ и $h_{р.ст}'$, $h_{р.ст(и)}$ и $h_{р.ст}''$ оценивается изменение КПД регулирующей ступени $\Delta\eta_{oi\,р.ст}$. Поправку к мощности $\Delta N_{р.ст}$ вследствие такого изменения КПД следует определять по формуле (I.27).

В приложении 2 представлены построенные по результатам специальных расчетов графики поправок к мощности турбины (отсека) $\left(\frac{\Delta N_{р.ст}}{N_т} \text{ или } \Delta N_{р.ст}\right)$ вследствие изменения КПД регулирующей ступени $\eta_{oi\,р.ст}$ при отклонении давления свежего пара на ±10% номинального и условии постоянства расхода пара на турбину (отсек) практически для всех существующих основных типов турбин отечественного производства. Эти графики дают представление о значении данной поправки и характере ее зависимости от рассмот-

ренных факторов, и они могут быть использованы при расчетах поправки к мощности турбоагрегата на отклонение давления свежего пара (перед отсеком). Для возможности определения значения рассматриваемой поправки при отклонении давления на значение, отличающееся от ±10%, принятых при построении графиков приложения 2, рекомендуется построить новые линии $\frac{\Delta N_{p.ст}}{N_т}=f\left(\frac{D_0}{D_{0\,макс}}\right)$ или $\Delta N_{p\,ст}=f\left(\frac{D_0}{D_{0\,макс}}\right)$ для заданного (искомого) отклонения давления с использованием метода интерполяции. Необходимые значения для построения этих линий определяются как:

$$\left(\frac{\Delta N_{p\,ст}}{N_т}\right)_{\Delta P_0}=\left(\frac{\Delta N_{p\,ст}}{N_т}\right)\frac{\Delta P}{0{,}1P_{0\,(и)}},$$

$$D_{0(\Delta P_0)}=D_0\,\frac{1\pm\frac{\Delta P_0}{P_{0\,(и)}}}{1\pm 0{,}1},$$

где $\frac{\Delta N_{p\,ст}}{N_т}$ – значение поправки при отклонении давления пара на ±10% от исходного (номинального); определяется по упомянутой кривой поправок для заданных значений расходов пара D_0;

ΔP – заданное значение отклонения давления, для которого определяется поправка.

Поправки к мощности (в %) при отклонении начального давления пара в зоне соплового регулирования рекомендуется рассчитывать по формулам:

– для конденсационных и теплофикационных турбин без промперегрева пара при отсутствии отбора пара, а также турбин типа Р:

$$\alpha_N^{P_0}=\frac{\Delta N_T^{P_0}}{N_{T(и)}}=\left(\frac{\Delta h_{ox}^{P_0^c-P_2}}{h_{ox(и)}^{P_0^c-P_2}}B+\frac{\Delta N_{p.ст}}{N_т}\right)10^2; \qquad (2.2)$$

– для теплофикационных турбин при заданных значениях $D_{отб}=const$:

$$\alpha_N^{P_0}=\frac{\Delta N_T^{P_0}}{N_{T(и)}}=\left(\frac{\Delta h_{ox}^{P_0^c-P_2}}{h_{ox(и)}^{P_0^c-P_2}}B\,\frac{(1-C)}{(1-D)}+\frac{\Delta N_{p.ст}}{N_т}\right)10^2; \qquad (2.2')$$

– для теплофикационных турбин при заданных значениях $Q_{отб}=const$:

$$\alpha_N^{p_0} = \frac{\Delta N_T^{p_0}}{N_{T(и)}} = \left(\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + \frac{\Delta N_{p.ст}}{N_T} + E \right) 10^2 . \qquad (2.2'')$$

В формулах (2.2), (2.2′), (2.2″) и далее поправка $\frac{\Delta N_{p.ст}}{N_T}$ выражена в долях.

Для турбин с промперегревом пара в формулах (2.2), (2.2′) и (2.2″) под отношением $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_0^{p_0^c - p_2}}$ подразумевается отношение $\frac{\Delta h_0^{p_0^c - p_{2цвд}}}{h_{0(и)}^{p_0^c - p_{2цвд}} \left(1 + \frac{h_{пп}^{p_{пп}^н - p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c - p_{2цвд}}} \right)}$ (см.разд. 2.I.I).

Если расширение пара происходит в области перегретого пара, то отношение $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}}$ заменяется отношением $\frac{\Delta h_0^{p_0^c - p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c - p_2}}$.

Способы определения отдельных сомножителей, входящих в выражения $B = \frac{0{,}99}{(1 - K_{рег}^N)\eta_{эм}}$, $C = \Sigma \left(\frac{D_{отб}}{D_0} a \right)$, $D = \Sigma \left(\frac{D_{отб}}{D_0} b \right)$, были рассмотрены выше.

При определении коэффициента a (по формуле I.20) для случая, когда поправка определяется при неизменном расходе пара в отбор ($D_{отб} = const$), отношение $\frac{h_0^{p_p^c - p_2}}{h_{0(и)}^{p_p^c - p_2}}$ может быть заменено отношением располагаемых теплоперепадов от состояния пара перед регулирующими органами (в камере регулируемого отбора) $\frac{h_0^{p_p - p_2}}{h_{0(и)}^{p_p - p_2}}$,

т.е. $$a = \frac{b(1 - K_{рег}^N) \left(\frac{h_0^{p_p - p_2}}{h_{0(и)}^{p_p - p_2}} - 1 \right)}{\left(\frac{h_0^{p_0^c - p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c - p_2}} - 1 \right)} .$$

Это положение может быть использовано и при расчете поправок для условия $Q_{отб} = const$, поскольку при $D_0 = const$ изменение расхода пара в отбор, соответствующее изменению расхода пара на входе в отсек, расположенный за регулируемым

отбором, как правило, не вызывает существенного изменения давления пара перед соплами его I-й ступени (за регулирующим паровпуск органом).

Применительно к теплофикационным турбинам с одним регулируемым отбором пара типа П или Т (включая турбины типа Т-50, Т-100 и т.п.) коэффициент α определяется как

$$\alpha_{п(т)} = \frac{\beta_{п(т)}\left(1-K^{N}_{рег}\right)\left(\left(\frac{h_0^{P_{п(т)}-P_2}}{h_{0(и)}^{P_{п(т)}-P_2}}-1\right)\right)}{\left(\left(\frac{h_0^{P_0^c-P_2}}{h_{0(и)}^{P_0^c-P_2}}-1\right)\right)} .$$

Для турбин с двумя регулируемыми отборами пара типа ПТ коэффициент α определяется для каждого отбора:

$$\alpha_{п} = \frac{\beta_{п}\left(1-K^{N}_{рег}\right)\left(\left(\frac{h_0^{P_п-P_2}}{h_{0(и)}^{P_п-P_2}}-1\right)\right)}{\left(\left(\frac{h_0^{P_0^c-P_2}}{h_{в(и)}^{P_0^c-P_2}}-1\right)\right)}$$ или

$$\alpha_{п} = \frac{\beta_{п}\left(1-K^{N}_{рег}\right)\left[\left(\frac{h_{0.чсд}+h_{0.чнд}}{\left(h_{0.чсд}+h_{0.чнд}\right)_и}-1\right)\right]}{\left[\left(\frac{h_{0.чвд}+h_{0.чсд}+h_{0.чнд}}{\left(h_{0.чвд}+h_{0.чсд}+h_{0.чнд}\right)_и}-1\right)\right]} ;$$

$$\alpha_{т} = \frac{\beta_{т}\left(1-K^{N}_{рег}\right)\left[\left(\frac{h_0^{P_т-P_2}}{h_{0(и)}^{P_т-P_2}}-1\right)\right]}{\left[\left(\frac{h_0^{P_0^c-P_2}}{h_{0(и)}^{P_0^c-P_2}}-1\right)\right]}$$ или

$$\alpha_{т} = \frac{\beta_{т}\left(1-K^{N}_{рег}\right)\left[\left(\frac{h_{0.чнд}}{h_{0.чнд(и)}}-1\right)\right]}{\left[\left(\frac{\left(h_{0.чвд}+h_{0.чсд}+h_{0.чнд}\right)}{\left(h_{0.чвд}+h_{0.чсд}+h_{0.чнд}\right)_и}-1\right)\right]} .$$

(Коэффициент $\beta_{т}$ приведен в разд.I.5).

Как видно из рис.3 *г*, для теплофикационных турбин типа ПТ:

$$h_{0.\,чВД} = i_0 - i_{2t.\,чВД};$$

$$h_{0\,чСД} = i_{2\,чВД} - i_{2t\,чСД};$$

$$h_{0.\,чНД} = i_{2\,чСД} - i_{2t\,чНД};$$

$$h_{0.\,чВД(и)} = i_{0(и)} - i_{2t\,чВД(и)};$$

$$h_{0.\,чСД(и)} = i_{2\,чВД(и)} - i_{2t\,чСД(и)};$$

$$h_{0.\,чНД(и)} = i_{2\,чСД(и)} - i_{2t.\,чНД(и)}.$$

При определении теплоперепадов на ЧНД ($h_{0.\,чНД}$) для расчетов коэффициента a влиянием изменения влажности пара можно пренебречь.

При построении в is -диаграмме процессов расширения пара при исходных и измененных его начальных параметрах внутренние относительные коэффициенты полезного действия ЧВД, ЧСД и ЧНД принимаются одинаковыми и равными:

$$\eta_{oi.\,чВД(и)} = \eta_{oi.\,чВД} = 0{,}8 \div 0{,}85;$$

$$\eta_{oi\,чСД(и)} = \eta_{oi\,чСД} = 0{,}65 \div 0{,}85;$$

$$\eta_{oi\,чНД(и)} = \eta_{oi.\,чНД} = 0{,}65 \div 0{,}85.$$

Максимальные значения указанных КПД соответствуют отношению $\frac{D_{отс}}{D_{отс(н)}} = 1 \div 0{,}8$, а минимальные $\frac{D_{отс}}{D_{отс(н)}} = 0{,}3 \div 0{,}35$.

Аналогичным образом определяются необходимые теплоперепады и для турбин, имеющих один регулируемый отбор пара.

Отношение $\frac{\Delta i_{отб}}{i_{отб} - t_{возв}}$, входящее в приведенное ранее выражение E, целесообразно определять в процессе расчета изменения теплоперепадов $\left(\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_o^c - p_2}}, \frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2}}{h_{o(и)}^{p_o^c - p_2}} \right)$.

Отклонение энтальпии пара в регулируемом отборе при изменении начальных параметров пара находится как

$$\Delta i_{отб} = \Delta i_0 - \left(h_0^{p_0^c - p_p} - h_{0(и)}^{p_0^c - p_p}\right)\eta_{oi}^{p_0^c - p_p},$$

где $\Delta i_0 = i_0 - i_{0(и)}$ – изменение начальной энтальпии при отклонении начальных параметров пара;

$h_{0(и)}^{p_0^c - p_p} = i_{0(и)} - i_{t\,отб(и)}$; $h_0^{p_0^c - p_p} = i_0 - i_{t\,отб}$ – располагаемые теплоперепады от состояния пара перед соплами I-й ступени до давления пара в камере регулируемого отбора соответственно при исходных и измененных параметрах пара;

$i_{t\,отб(и)}$ и $i_{t\,отб}$ – энтальпии пара в отборе при теоретическом процессе расширения пара; определяются по is -диаграмме в точке пересечения линии $p = p_{отб}$ соответственно с линией $s = s_{0(и)}^c$ и $s = s_0^c$.

Разность ($i_{отб} - t_{возв}$) может быть принята равной 530–550 ккал/кг.

Для теплофикационных турбин типа ПТ изменение энтальпии пара определяется по формулам:

– в производственном отборе

$$\Delta i_{отб} = \Delta i_п = \Delta i_0 - \left(h_{0.\,чвд} - h_{0.\,чвд(и)}\right)\eta_{oi,\,чвд};$$

– в теплофикационном отборе

$$\Delta i_{отб} = \Delta i_т = \Delta i_0 - \left(h_{0.\,чвд} - h_{0\,чвд(и)}\right)\eta_{oi\,чвд} - \left(h_{0.\,чсд} - h_{0\,чсд(и)}\right)\eta_{oi.\,чсд}.$$

Аналогичным образом определяется значение $\Delta i_{отб}$ и для турбин, имеющих один регулируемый отбор пара.

Значения мощности $N_{т(и)}$, необходимые для расчета составляющей $\frac{\Delta N_{р.\,ст}}{N_{т(и)}}$, определяются по расходной характеристике или диаграмме режимов для принятых в расчете поправок значений $D_0, D_п\left(\frac{D_п}{D_0}\right), D_т\left(\frac{D_т}{D_0}\right)$

при исходных параметрах пара.

При расчетах изменений теплоперепадов для турбин с промперегревом пара рекомендуется также одновременно определять изменения энтальпий свежего пара Δi_0 , пара за ЦВД (на промперегрев) $\Delta i_{2цвд} \approx \Delta i'_{пп}$, которые будут использованы в дальнейшем при расчете поправки к расходу тепла на турбоагрегат:

$$\Delta i_0 = i_0 - i_{0(и)};$$

$$-\Delta i'_{пп} = \Delta i_0 - \left(h_0^{p_0^c - p_{2цвд}} - h_{0(и)}^{p_0^c - p_{2цвд}}\right)\eta_{oi}^{p_0^c - p_{2цвд}}.$$

Значения $\eta_{oi}^{p_0^c - p_{2цвд}}$ принимаются постоянными и равными примерно 0,82–0,85.

2.2. Поправка к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб} = const$

Поправка к мощности (в %) для этого случая рассчитывается по формулам:

– при работе в зоне соплового регулирования паровпуска в турбину (отсек)

$$\alpha_N^{p_0} = \frac{\Delta N_T^{p_0}}{N_T} = \left[\frac{\Delta h_{0x}^{p_0^c - p_2}}{h_{0x(и)}^{p_0^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + \frac{\Delta N_{р.ст}}{N_T} + E'\right] 10^2; \qquad (2.3)$$

– при дроссельном регулировании паровпуска

$$\alpha_N^{p_0} = \frac{\Delta N_T^{p_0}}{N_T} = \left(\frac{\Delta h_{0x}^{p_0^c - p_2}}{h_{0x(и)}^{p_0^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + E'\right) 10^2. \qquad (2.3')$$

Изменение теплоперепадов на турбину (отсек) при расчетах поправок определяется в соответствии с указаниями разд.2.I применительно к соответствующей зоне регулирования паровпуска.

Входящий в выражения (2.3) и (2.3') коэффициент E' определяется как

$$E' = \Sigma \frac{\Delta D_{отб}}{N_T(1-K_{рег}^D)\Delta d_0^{p_0-p_p}},$$

где $$\Delta D_{отб} = D_{отб} \frac{\Delta i_{отб}}{i_{отб} - t_{возв}} .$$

Сомножитель $(1 - K^{D}_{рег})$ определяется по кривым рис.4 в соответствии с температурой питательной воды или конденсата на входе в первый (по ходу воды) регенеративный подогреватель, относящийся к рассматриваемому отсеку (части) турбины, и давлением пара в первом регенеративном отборе пара; относительный прирост по расходу пара $\Delta d_0^{p_0 - p_p}$ определяется в соответствии с указаниями разд.I.6.

Для турбин типа Р процесс расширения пара, как правило, протекает в области перегретого пара. Поэтому при расчетах поправки в формулах (2.3) и (2.3') отношение $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{o(и)}^{p_0^c - p_2}}$ должно быть заменено отношением $\frac{\Delta h_0^{p_0^c - p_2}}{h_{o(и)}^{p_0^c - p_2}}$, а сомножители $(1 - C)$ и $(1 - D)$ должны быть приняты равными I.

Для турбин типа Р выражение для определения E' будет иметь вид

$$E' = -\frac{\Delta D_{пр}}{(1 - K^{D}_{рег}) \Delta d_0 N_т} ,$$

где $\Delta D_{пр}$ – изменение расхода пара на выходе из турбины (противодавления) для обеспечения постоянного отпуска тепла;

$$\Delta D_{пр} = D_{пр} \frac{\Delta i_{пр}}{i_{пр} - t_{возв}} .$$

Значения $N_т$ принимаются по расходной характеристике (или диаграмме режимов) в соответствии с заданными значениями для расчета поправок D_0 и $P_{пр}$ при исходных параметрах пара.

Результаты расчетов поправок к мощности, рассмотренные в разд.2.I, 2.2, рекомендуется свести в таблицы, по данным которых строятся номограммы, дающие возможность определять значения поправок и для промежуточных (по сравнению с принятыми в расчетах) значений P_0, D_0, $\frac{D_{отб}}{D_0}$:

– для конденсационных турбин

$$\alpha_N^{P_0} = f(D_0, P_0);$$

– для теплофикационных турбин с одним регулируемым отбором пара (включая турбины Т-50, Т-100 и т.п.)

$$\alpha_N^{P_0} = f\left[D_0, P_0, \frac{D_{\Pi(T)}}{D_0}\left(\frac{Q_{\Pi(T)}}{Q_0}\right)\right];$$

- для теплофикационных турбин с двумя регулируемыми отборами пара

$$\alpha_N^{P_0} = f\left[D_0, P_0, \frac{D_{\Pi}}{D_0}\left(\frac{Q_{\Pi}}{Q_0}\right), \frac{D_T}{D_0}\left(\frac{Q_T}{Q_0}\right)\right];$$

- для турбин с противодавлением типа Р

$$\alpha_N^{P_0} = f\left(D_0, P_{пр}\right).$$

2.3. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_T = const$

Для расчета данных поправок необходимо располагать поправками к мощности, выраженными в абсолютных значениях (МВт, кВт) $\Delta N_T^{P_0}$.

В разд.2.I приведены указания по расчету поправок к мощности в относительных единицах (в %). Поправки в абсолютных значениях составят

$$\Delta N_T^{P_0} = N_T \frac{\alpha_N^{P_0}}{100} \text{ . (кВт, МВт).}$$

Значения N_T определяются по расходным характеристикам или диаграммам режимов при исходных условиях их построения для задаваемых для расчета поправок расходов пара $D_0, D_{\Pi}(Q_{\Pi}), D_T(Q_T)$.

Расчет поправок целесообразно производить для тех же значений $D_0, \frac{D_{\Pi}}{D_0}\left(\frac{Q_{\Pi}}{Q_0}\right); \frac{D_T}{D_0}\left(\frac{Q_T}{Q_0}\right)$, для которых выполнен расчет поправок к мощности (см.разд.2.I).

В приводимых в дальнейшем формулах для расчета поправок величины $\Delta d_0, \Delta q_0, \Delta N_T, N_T, D_0, Q_0$ должны иметь размерности соответственно т/(МВт·ч), Гкал/(МВт·ч), МВт, МВт, т/ч, Гкал/ч.

2.3.I. Поправка к расходу свежего пара (к расходу пара на входе в отсек)

Поправка к расходу свежего пара (на входе в отсек) вычисляется по выражениям:

- в абсолютных значениях, т/ч

$$\Delta D_0 = -\Delta d_0 \Delta N_T^{p_0} = -\Delta d_{0(и)} \frac{\Delta N_T^{p_0}}{\left(1+\frac{\alpha_N^{p_0}}{100}\right)} \qquad (2.4)$$

или

$$\Delta D_0 = -\Delta d_{0(и)} \frac{\alpha_N^{p_0}}{\left(100+\alpha_N^{p_0}\right)} N_{T(и)}; \qquad (2.4')$$

- в относительных единицах, %

$$\alpha_{D_0}^{p_0} = \frac{\Delta D_0}{D_{0(и)}} = -\Delta d_{0(и)} \frac{\Delta N_T^{p_0}}{\left(1+\frac{\alpha_N^{p_0}}{100}\right) D_{0(и)}} 10^2 \qquad (2.5)$$

или

$$\alpha_{D_0}^{p_0} = -\Delta d_{0(и)} \frac{\alpha_N^{p_0} N_{T(и)}}{\left(100+\alpha_N^{p_0}\right) D_{0(и)}} 10^2. \qquad (2.5')$$

Используемый в выражениях (2.4)-(2.5') относительный прирост по расходу свежего пара (на входе в отсек) $\Delta d_{0(и)}$ рекомендуется определять в окрестностях значений D_0, $D_П$ и $D_T(Q_T)$, принятых при расчетах поправок, по расходным характеристикам $D_0 = f(N_T)$ или диаграммам режимов - линия $D_0 = f(N_T)$ при $D_{0TB} = const$, - построенным для исходных (номинальных) параметров пара. При этом целесообразно рассматривать окрестности, ограниченные значениями мощности $N_{T(и)}$ и $(N_{T(и)} - \Delta N_T^{p_0})$ (с учетом знака поправки). Если рассматриваемая зависимость $(D_0 = f(N_T))$ представлена ломаной линией с прямолинейными отрезками, имеющими различные относительные приросты, например, $\Delta d'_{0(и)}$ и $\Delta d''_{0(и)}$, и в рассматриваемую окрестность значений ($\Delta N_T^{p_0}$) входят участки этих отрезков (см.рис.I4), то

$$\Delta D_0 = -\left(\Delta d'_{0(и)} \Delta N'_T + \Delta d''_{0(и)} \Delta N''_T\right) \frac{1}{\left(1+\frac{\alpha_N^{p_0}}{100}\right)},$$

где $\Delta d'_{0(и)}$ и $\Delta d''_{0(и)}$ – относительные приросты отрезков, на которых располагаются соответственно начало окрестности (точка со значением $N_T = N_{T(и)}$) и ее окончание [точка с значением $N_T = (N_{T(и)} - \Delta N_T^{P_0})$];

$\Delta N'_T, \Delta N''_T$ – значение поправки $\Delta N_T^{P_0}$, приходящееся на участок соответственно от заданной точки $N_{T(и)}$ до точки сопряжения отрезков $N_{T(с)}$, и от этой точки до точки $(N_{T(и)} - \Delta N_T^{P_0})$,

$$\Delta N'_T + \Delta N''_T = \Delta N_T^{P_0}.$$

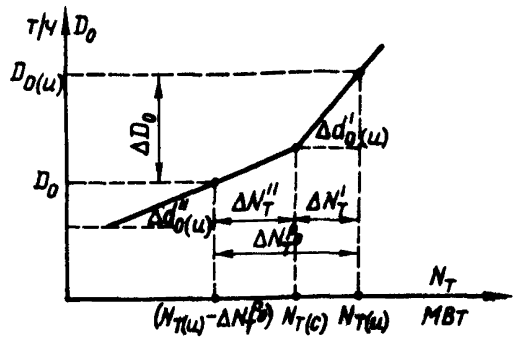


Рис.I4. Определение поправки к расходу пара ΔD_0 в зоне излома зависимости $D_0 = f(N_T)$

При расчетах поправок к расходу пара для теплофикационных турбин при условии $Q_{отб} = const$ или $D_{отб} = const$ используются табличные данные или номограммы поправок к мощности, рассчитанные для тех же условий.

Результаты расчетов поправок к расходу пара рекомендуется свести в таблицы, по данным которых строятся соответствующие номограммы, связывающие значения поправок со значениями отклонений давления свежего пара и с расходами свежего пара в регулируемые отборы, аналогично номограммам поправок к мощности (см.разд.2.2).

2.3.2. Поправка к расходу тепла на турбоагрегат

При выводе формул (I.4), (I.5), (I.5'), (I.5''), (I.5''') для расчета поправок к расходу тепла (см.разд.I) было принято, что $K_{пп} = K_{пп(и)}$. Однако отклонение начальных параметров пара перед турбиной вызывает изменение энтальпий пара в регенеративных отборах пара и расходов пара на подогреватели, что приводит и к изменению расхода пара на промперегрев $D_{пп}$. Таким образом, при $K_{пп} \neq K_{пп(и)}$ и при более строгом расчете поправок в соответствующих формулах необходимо прибавить (алгебраически) дополнительную поправку:

- в формуле (I.4)

$$\Delta Q_{\Delta K_{пп}} = D_{о(и)} \Delta K_{пп} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)});$$

- в формулах (I.5), (I.5'), (I.5''), (I.5''')

$$\alpha_{\Delta K_{пп}} = \frac{\Delta K_{пп} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})}{\left[(i_{о(и)} - \bar{t}_{пв(и)}) + K_{пп(и)} (i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)})\right]}.$$

Значение $\Delta K_{пп}$ для расчета данной дополнительной поправки может быть определено по выражению

$$\Delta K_{пп} = (1 - K_{пп(и)}) \frac{\Delta i_{рег}}{500},$$

где $\Delta i_{рег}$ – средневзвешенное отклонение энтальпии греющего пара регенеративных подогревателей (отборов) с давлением пара $P \geqslant P_{2цвд} = P'_{пп}$, ккал/кг; отклонение энтальпии в каждом отборе определяется по is -диаграмме при расчетах отклонений теплоперепадов (см.рис.3,д).

$$\Delta i^{I}_{рег} = (i^{I}_{рег} - i^{I}_{рег(и)});$$

$$\Delta i^{II}_{рег} = (i_{2цвд} - i_{2цвд(и)});$$

$$\Delta i_{рег} = \Delta i^{I}_{рег} \frac{\Delta \bar{t}^{I}_{п.в}}{\Delta \bar{t}^{I}_{п.в} + \Delta \bar{t}^{II}_{п.в}} + \Delta i^{II}_{рег} \frac{\Delta \bar{t}^{II}_{п.в}}{\Delta \bar{t}^{I}_{п.в} + \Delta \bar{t}^{II}_{п.в}}.$$

Здесь $\Delta\bar{t}^{I}_{п.в}$, $\Delta\bar{t}^{II}_{п.в}$ – повышение энтальпии питательной воды в подогревателях, подключенных соответственно к I (P_I) и II (P_{II}) регенеративным отборам.

Расчеты показывают, что эта дополнительная поправка, в общем, незначительна. Например, при отклонении энтальпии свежего пара примерно на 6 ккал/кг дополнительная поправка составляет:

– для конденсационных турбин примерно 0,05%;

– для теплофикационных турбин примерно $\frac{0{,}05}{1-\frac{\Sigma Q_{отб}}{Q_0}}$ %.

Дополнительную поправку следует учитывать только при детальных расчетах поправок, а для практических целей поправки к расходу тепла на турбоагрегат при отклонении давления свежего пара рекомендуется определять по приведенным ниже выражениям, полученным из формул (I.4), (I.5), (I.5'), (I.5''), (I.5''') :

– в абсолютных значениях:

для турбин без промперегрева пара

$$\Delta Q_0=\Delta Q_э=D_{0(и)}(\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в})+\Delta D_0(i_{0(и)}-\bar{t}_{п.в(и)})$$

или
$$\Delta Q_0=\Delta Q_э=D_{0(и)}(\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в})-\Delta q_{0(и)}\frac{\alpha_N^{P_0}}{100+\alpha_N^{P_0}}N_{т(и)}; \qquad (2.6)$$

для турбин с промперегревом пара

$$\Delta Q_0=\Delta Q_э=D_{0(и)}\left[(\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в})+K_{пп}\Delta i'_{пп}+\Delta K_{пп}(i''_{пп(и)}-i'_{пп(и)})\right]+$$
$$+\Delta D_0\left[(i_{0(и)}-\bar{t}_{п.в(и)})+K_{пп}(i''_{пп(и)}-i'_{пп(и)})\right]$$

или

$$\Delta Q_0=\Delta Q_э=D_{0(и)}\left[(\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в})+K_{пп}\Delta i'_{пп}+\Delta K_{пп}(i''_{пп(и)}-i'_{пп(и)})\right]-$$
$$-\Delta q_{0(и)}\frac{\alpha_N^{P_0}}{(100+\alpha_N^{P_0})}N_{т(и)}; \qquad (2.7)$$

- в относительных единицах, %:

для конденсационных турбин

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_э}=\frac{\Delta Q_0}{Q_0}=(\alpha_{\Delta i}+\alpha_{\Delta D_0})\,10^2\ ; \qquad (2.8)$$

для теплофикационных турбин

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_э}=(\alpha_{\Delta i}+\alpha_{\Delta D_0})\ \frac{10^2}{\left(1-\frac{\sum Q_{отб}}{Q_0}\right)}\ . \qquad (2.9)$$

В формулах (2.8) и (2.9) под $\alpha_{\Delta i}$ и $\alpha_{\Delta D_0}$ подразумевается:

- для турбин без промперегрева пара

$$\alpha_{\Delta i}=\frac{\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в}}{i_{0(и)}-\bar{t}_{п.в(и)}}\ ; \qquad (2.10)$$

- для турбин с промперегревом пара

$$\alpha_{\Delta i}=\frac{(\Delta i_0-\Delta\bar{t}_{п.в})+K_{пп}\Delta i'_{пп}+\Delta K_{пп}(i''_{пп(и)}-i'_{пп(и)})}{(i_{0(и)}-\bar{t}_{п.в(и)})+K_{пп}(i''_{пп(и)}-i'_{пп(и)})}; \qquad (2.10')$$

- для конденсационных и теплофикационных турбин

$$\alpha_{\Delta D_0}=\frac{\Delta D_0}{D_0}=-\Delta d_{0(и)}\frac{\alpha_N^{P_0}N_{т(и)}}{(100+\alpha_N^{P_0})D_{0(и)}}=-\Delta q_{0(и)}\frac{\alpha_N^{P_0}N_{т(и)}}{(100+\alpha_N^{P_0})Q_{0(и)}}. \qquad (2.11)$$

Изменение энтальпии питательной воды за последним (по ходу воды) ПВД $\Delta\bar{t}_{п.в}$ определяется как

$$\Delta\bar{t}_{п.в}=\bar{t}_{п.в\,(D_0+\Delta D)}-\bar{t}_{п.в\,(D_{0(и)})}\ .$$

Значения энтальпии питательной воды $\bar{t}_{п.в\,(D_{0(и)})}$ и $\bar{t}_{п.в\,(D_{0(и)}+\Delta D_0)}$, отвечающие расходам свежего пара соответственно $D_{0(и)}$ и $(D_{0(и)}+\Delta D_0)$, определяются по зависимости $\bar{t}_{п.в}=f(D_0)$.

Методы определения значений Δi_0, $\Delta i'_{пп}$, $\Delta K_{пп}$ были рассмотрены в разд.2.1.2 и 2.3.2.

Значения поправок к мощности или к расходу свежего пара, необходимые для расчета поправок к расходу тепла, определяются по соответствующим табличным данным их расчетов либо по номограммам для задаваемых значений P_0, D_0, $\frac{D_п}{D_0}\left(\frac{Q_п}{Q_0}\right)$, $\frac{D_т}{D_0}\left(\frac{Q_т}{Q_0}\right)$ и $Q_{отб}=const$.

Результаты расчетов поправок к расходу тепла целесообразно свести в таблицы, по данным которых строятся соответствующие номограммы, связывающие значения поправок $\frac{\Delta Q_0}{Q_0}$, $\frac{\Delta Q_э}{Q_э}$, $\Delta Q_0=\Delta Q_э$ со значениями отклонений давления свежего пара, с расходами свежего пара, тепла в регулируемые отборы при соответствующих условиях, аналогично номограммам поправок к мощности (см.разд.2.2).

3. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕЖЕГО ПАРА ПРИ $P_0=const$

3.1. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_0=const$

При отклонении температуры свежего пара для обеспечения исходного значения D_0 регулирующие паровпуск клапаны перемещаются незначительно. Это приводит к несущественному (а в зоне соплового регулирования также и к неоднозначному) изменению давления пара перед соплами I-и ступени P_0^c, причем значение этого отклонения соизмеримо с точностью построения графиков $P_0^c=f(D_0)$.

Кроме того, как показывают расчеты, при изменении температуры свежего пара влияние отклонения КПД регулирующей ступени (из-за изменения теплоперепада) на внутренний относительный КПД турбины в целом также незначительно и в большинстве случаев не превышает 0,03-0,05% при отклонении температуры на 10°С. Поэтому при расчетах поправок для практических целей эти изменения учитывать нецелесообразно.

Начальные точки процесса расширения пара для определения значений теплоперепадов при исходной и заданных значениях температуры свежего пара находятся на пересечении линий $t=t_0=const$ с линиями $P=P_0=const$ в зоне соплового регулирования паровпуска, поскольку, как показывают расчеты, при незначительной разнице в значениях давлений P_0^c и P_0 в этой зоне отношения теплоперепадов, определяемых от состояния пара по темпе-

ратуре t_0 и давлением $p_0^c - h_{ox}^{p_0^c - p_2}$ и $p_0 - h_{ox}^{p_0 - p_2}$, практически равны, т.е.

$$\frac{h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}} = \frac{h_{ox}^{p_0 - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0 - p_2}};$$

$p = p_0^c = const$ - в зоне дроссельного регулирования.

Значение p_0^c определяется по зависимости $p_0^c = f(D_0)$ для задаваемых значений расхода свежего пара D_0.

Рекомендуется следующий порядок расчета поправки к мощности на отклонение температуры свежего пара:

- задаются значениями температур свежего пара, например

$$t_{0(и)},\ t'_{01} = t_{0(и)} + 10^\circ C;\ t'_{02} = t_{0(и)} + 20^\circ C;\ t''_{01} = t_{0(и)} - 10^\circ C;\ t''_{02} = t_{0(и)} - 20^\circ C;$$

принимаются значения давления p_2 (в соответствии с указаниями разд.2.I.I);

- принимаются значения расхода свежего пара в турбину (на входе в отсек) : минимальное, среднее и максимальное для каждой зоны регулирования паропуска;

- для каждого принятого значения расхода свежего пара и каждого заданного значения температуры свежего пара определяются начальные точки процесса расширения пара, теплоперепады (в соответствии с указаниями разд.I.4) на турбину (отсек) и вычисляются их относительные изменения;

- определяются вспомогательные сомножители a, b, B и отдельные составляющие основных уравнений C, D, E в соответствии с указаниями разд.2.I.I, 2.I.2 и I.5;

- рассчитываются поправки (в %) к мощности по формулам:

для конденсационных и теплофикационных турбин без промперегрева пара при отсутствии отбора пара

$$\alpha_N^{t_0} = \frac{\Delta N_T^{t_0}}{N_{T(и)}} = \frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c - p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}} B \cdot 10^2; \qquad (3.I)$$

для теплофикационных турбин при заданных значениях $D_{отб}=const$

$$\alpha_N^{t_0}=\frac{\Delta N_T^{t_0}}{N_{T(и)}}=\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}\,B\,\frac{(1-C)}{(1-D)}10^2; \qquad (3.I')$$

для теплофикационных турбин при заданных значениях $Q_{отб}=const$

$$\alpha_N^{t_0}=\frac{\Delta N_T^{t_0}}{N_{T(и)}}=\left[\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}\,B\,\frac{(1-C)}{(1-D)}10^2+E\cdot10^2\right]. \qquad (3.I'')$$

При расчете поправок к мощности для турбин с промперегревом пара в формулы (3.I), (3.I'), (3.I'') вместо отношения

$\dfrac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}$ подставляется $\dfrac{\Delta h_0^{p_0^c-p_{2цвд}}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}\left(1+\dfrac{h_{ox(и)}^{p_{пп}''-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_{2цвд}}}\right)}$.

Для турбин типа Р следует использовать формулу (3.I).

Если расширение пара происходит полностью в области перегретого пара, то отношение $\dfrac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}$ заменяется отношением $\dfrac{\Delta h_0^{p_0^c-p_2}}{h_{0(и)}^{p_0^c-p_2}}$. Расчет поправок рекомендуется выполнять для нескольких значении противодавлений $p_2'>p_{2(и)}>p_2''$ ($p_2=p_{пр}$).

Результаты расчетов поправок к мощности рекомендуется свести в таблицы, по данным которых строятся номограммы поправок, аналогичные приведенным в разд.2.2.

3.2. Поправка к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб}=const$

Поправка (в %) к мощности для этого условия рассчитывается по формуле

$$\alpha_N^{t_0}=\frac{\Delta N_T^{t_0}}{N_T}=\left(\frac{\Delta h_{ox}^{p_0^c-p_2}}{h_{ox(и)}^{p_0^c-p_2}}\,B\,\frac{(1-C)}{(1-D)}+E'\right)10^2. \qquad (3.2)$$

Изменение теплоперепадов на турбину (отсек) при расчетах поправок определяется в соответствии с указаниями разд.3.I.

Методы определения значений B, C и D приведены в разд. 2.I.I, 2.I.2 и I.5.

Коэффициент E' формулы (3.2) вычисляется по выражению, приведенному в разд.2.2; все указания этого раздела, относящиеся к вычислению коэффициента E' и его отдельных сомножителей, распространяются и на настоящий раздел.

Поправка (в %) для турбин типа Р определяется по формуле

$$\alpha_N^{t_0} = \frac{\Delta N_T^{t_0}}{N_T} = \left(\frac{\Delta h_0^{p_0^{\varepsilon}-p_2}}{h_{0(u)}^{p_0^{\varepsilon}-p_2}} B + E' \right) 10^2 . \qquad (3.2')$$

3.3. Поправка к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_T = const$

Поправки к расходу свежего пара (к расходу пара на входе в отсек) и тепла на турбоагрегат рассчитываются по формулам (2.4)÷(2.9), в которых поправки к мощности на отклонение давления свежего пара $\alpha_N^{p_0}$, $\Delta N_T^{p_0}$ заменяются соответствующими поправками к мощности на отклонение температуры свежего пара $\alpha_N^{t_0}$, $\Delta N_T^{t_0}$.

Все указания в разд.2.3, 2.3.I и 2.3.2 по расчету поправок и определению входящих в формулы отдельных величин распространяются и на настоящий раздел.

4. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА ПОСЛЕ ПРОМПЕРЕГРЕВА ($t_{пп} = t''_{пп} = t_{0цсд}$)

4.I. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$

При изменении температуры пара после промперегрева, но неизменном расходе свежего пара и расходе пара на промперегрев давление пара после промперегрева $P''_{пп} = P_{0\,цсд}$ (перед ЦСД) также изменится и составит:

$$P''_{пп} = P_{0\,цсд} = P_{0\,цсд\,(и)} \sqrt{\frac{t_{0\,цсд} + 273}{t_{0цсд(и)} + 273}} .$$

В результате изменится и давление пара за ЦВД, новое значение которого б.дет определяться как $P_{2\,цвд}=P_{0\,цсд}+\Delta P_{пп(и)}$ (здесь пренебрегли несущественным отклонением значения $\Delta P_{пп}$).

Изменение теплоперепада на турбину в целом будет определяться изменением теплоперепадов как на часть турбины до промперегрева - ЦВД, так и после промперегрева - ЦСД + ЧНД. В общем виде данное изменение может быть выражено как:

- в абсолютных значениях, ккал/кг;

$$\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2} = \Delta h_{ox(t''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2} + \Delta h_{ox(P''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2} + \Delta h_{o(P_{2цвд})}^{P_o^c-P_{2цвд}};$$

- в относительных единицах (долях)

$$\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_{ox}^{P_o^c-P_2}} = \frac{\Delta h_{ox(t''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2}}{h_{ox}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta h_{ox(P''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2}}{h_{ox}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta h_{o}^{P_o^c-P_{2цвд}}}{h_{ox}^{P_o^c-P_2}},$$

где $\Delta h_{ox(t''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2}$ - изменение теплового перепада отсека ЦСД + ЧНД только за счет отклонения температуры пара перед ЦСД от значения $t_{оцсд(и)}$ при условии $P_{o\,цсд} = P_{o\,цсд(и)}$ и $P_2 = P_{2(и)}$;

$\Delta h_{ox(P''_{пп})}^{P''_{пп}-P_2}$ - дополнительное изменение теплоперепада за счет отклонения давления пара перед ЦСД от значения $P_{o\,цсд(и)}$;

$\Delta h_{o(P_{2цвд})}^{P_o^c-P_{2цвд}}$ - изменение теплоперепада ЦВД за счет отклонения давления пара за ЦВД от значения $P_{2\,цвд(и)}$;

$h_{ox}^{P_o^c-P_2}$ - теплоперепад на турбину в целом (от состояния пара перед соплами I-й ступени).

Поправка к мощности при отклонении температуры пара после промперегрева будет определяться следующими составляющими:

а) изменением теплоперепада на отсек ЦСД + ЧНД за счет изменения температуры пара $t''_{пп}$ при неизменном давлении пара перед ЦСД ($P''_{пп} = const$);

б) различием значений изменения теплоперепадов на ЦВД и отсек ЦСД + ЧНД за счет повышения давления пара $P''_{пп}$ (при $D_o=const$)

и $P_{2\,цвд}$ в результате изменения температуры после промперегрева (перед ЦСД);

в) различием расходов пара, выходящего из ЦВД ($D^{вых}_{цвд}$) и направляемого на промперегрев ($D_{пп}$), в результате отбора пара после ЦВД на регенеративный подогреватель, а в ряде случаев также и на собственные нужды энергоблока.

Поправку к мощности, учитывающую факторы, отмеченные в пп. **б и в** , удобно представить отдельной дополнительной поправкой, в общем виде составляющей:

$$\alpha^{t''_{пп}}_{N(доп)} = \frac{\left[D^{вых}_{цвд}\cdot \Delta h^{P^c_0-P_{2цвд}}_{0(P_{2цвд})} + D_{пп}\cdot \Delta h^{P''_{пп}-P_2}_{ox(P''_{пп})}\right]\cdot 0{,}99}{D_0\, h^{P^c_0-P_2}_{ox}\cdot\left(1-K^N_{рег}\right)} .$$

Расчеты показывают, что эта дополнительная поправка незначительна: на $\pm\,\Delta t''_{пп}=10°C$ составляет $\mp(0{,}025\div0{,}03)\%$ - и в дальнейшем при расчетах полной поправки ее целесообразно определять

- в процентах: $\alpha^{t''_{пп}}_{N(доп)} = -0{,}003\,\Delta t''_{пп}$,
- в долях: $\alpha^{t''_{пп}}_{N(доп)} = -0{,}3\,\Delta t''_{пп}\cdot 10^{-4}$

Рекомендуется следующий порядок расчета поправки к мощности на отклонение температуры пара после промперегрева:

- для каждой зоны регулирования паровпуска задаются максимальным, средним и минимальным значениями расхода свежего пара D_0 (обычно четыре-пять значений);

- по зависимостям $P^c_0=f(D_0)$, $P_{2\,цвд}(P'_{пп})=f(D_0)$, $P_{0\,цсд}(P''_{пп})=f(D_0)$ соответственно заданным значениям D_0 определяются значения $P^c_{0(и)}$, $P_{2\,цвд(и)}(P'_{пп(и)})$, $P_{0\,цсд(и)}(P''_{пп(и)})$;

- по исходным значениям $P^c_{0(и)}$, $t_{0(и)}$, $P_{2\,цвд(и)}$ определяются теплоперепады на ЦВД $(h_{0(и)})$ (см.рис.3,д и разд. 2.I.I);

- задаются значениями температур пара после промперегрева, например $t''_{пп}=t''_{пп(и)}$, $t''_{пп(1)}=t''_{пп(и)}+10°C$, $t''_{пп(2)}=t''_{пп(и)}+20°C$,

$$t''_{пп(з)} = t''_{пп(и)} - 10°C\,,\quad t''_{пп(ч)} = t''_{пп(и)} - 20°C\,,$$

для каждого из заданных значений D_0 [соответствующего значения $P_{оцсд(и)}\left(P''_{пп(и)}\right)$] и значений $t''_{пп(и)}, t''_{пп(1)}, t''_{вд(2)}, t''_{пп(3)}, t''_{пп(ч)}$ по *is* диаграмме определяют теплоперепады на отсек ЦСД + ЧНД и рассчитывают их изменения. Начальные точки теплоперепадов на отсек ЦСД + ЧНД $\left(h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(t''_{пп})}\right)$ **находятся на пересечении линий**

$$P = P_{0\ цсд}\left(P''_{пп(и)}\right) \quad и \quad t = t_{0\ цсд}\left(t_{пп(и)}\right);$$

– вычисляются поправки (в %) к мощности по формулам:

для конденсационного режима

$$\alpha^{t''_{пп}}_{N} = \frac{\Delta N_T^{t''_{пп}}}{N_{T(и)}} = \left[\frac{\Delta h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(t''_{пп})} \cdot B}{h^{P^c_0-P_{2цвд}}_{0(и)} + h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}} - 0{,}3\,\Delta t''_{пп}\cdot 10^{-4}\right]\cdot 10^2 \quad (4.I)$$

или

$$\alpha^{t''_{пп}}_{N} = \left[\frac{\Delta h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(t''_{пп})} \cdot B}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}\left(\frac{h^{P^c_0-P_{2цвд}}_{0(и)}}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}}+1\right)} - 0{,}3\,\Delta t''_{пп}\cdot 10^{-4}\right]\cdot 10^2\,, \quad (4.I')$$

для теплофикационных турбин при работе по электрическому графику

$$\alpha^{t''_{пп}}_{N} = \frac{\Delta N_T^{t''_{пп}}}{N_{T(и)}} = \left[\frac{\Delta h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(t''_{пп})} \cdot B}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}\left(\frac{h^{P^c_0-P_{2цвд}}_{0(и)}}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}}+1\right)}\cdot\frac{\left(1-\frac{Q_т}{Q_0}\alpha_т\right)}{\left(1-\frac{Q_т}{Q_0}\beta_т\right)} + E - 0{,}3\Delta t''_{пп}\,10^{-4}\right]\cdot 10^2 \quad (4.2)$$

для теплофикационных турбин при работе по тепловому графику

$$\alpha^{t''_{пп}}_{N} = \left[\frac{\Delta h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(t''_{пп})} \cdot B}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}\left(\frac{h^{P^c_0-P_{2цвд}}_{0(и)}}{h^{P''_{пп}-P_2}_{ох(и)}}+1\right)}\cdot\frac{\left(1-\frac{Q_т}{Q_0}\alpha_т\right)}{\left(1-\frac{Q_т}{Q_0}\beta_т\right)} + E' - 0{,}3\,\Delta t''_{пп}\cdot 10^{-4}\right]\cdot 10^2 \quad (4.2')$$

Входящие в формулы (4.I) ÷ (4.2') теплоперепады на отсеки ЦВД, ЦСД + ЧНД и их изменения определяются в соответствии с указаниями разд.I.4, 2.I.I, прочие величины – в соответствии с указаниями разд.2.I.I, 2.I.2, 2.2, I.5 и I.6.

По результатам расчетов строится номограмма, связывающая значение поправки с отклонениями температуры пара после промперегрева, расходом свежего пара и для теплофикационных турбин - также и со значением отбора тепла.

4.2. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_T = const$

Поправка к расходу свежего пара рассчитывается по формулам:

- в абсолютных значениях, т/ч:

$$\Delta D_0 = -\Delta d_{0(n)} \frac{\Delta N_T^{t''_{пп}}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{t''_{пп}}}{100}\right)} \qquad (4.3)$$

или $$\Delta D_0 = -\Delta d_{0(n)} \frac{\alpha_N^{t''_{пп}}}{\left(100 + \alpha_N^{t''_{пп}}\right)} N_{T(n)} \; ; \qquad (4.3')$$

в относительных единицах, %:

$$\alpha_{D_0}^{t''_{пп}} = -\Delta d_{0(n)} \frac{\Delta N_T^{t''_{пп}}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{t''_{пп}}}{100}\right) D_{0(n)}} 10^2 \qquad (4.4)$$

или $$\alpha_{D_0}^{t''_{пп}} = -\Delta d_{0(n)} \frac{\alpha_N^{t''_{пп}} N_{T(n)}}{\left(100 + \alpha_N^{t''_{пп}}\right) D_{0(n)}} 10^2 \; . \qquad (4.4')$$

Поправка к расходу тепла на турбоагрегат рассчитывается по следующим формулам:

- в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_0 = \Delta Q_э = D_{0(n)} \left(K_{пп} \Delta i''_{пп} - \Delta \bar{i}_{пв}\right) + \Delta D_{0(n)} \left[\left(i_{0(n)} - \bar{i}_{пв(n)}\right) + K_{пп} \left(i''_{пп(n)} - i'_{пп(n)}\right)\right]$$

или $$\Delta Q_0 = \Delta Q_э = D_{0(n)} \left(K_{пп} \Delta i''_{пп} - \Delta \bar{i}_{пв}\right) - \Delta Q_{T0(n)} \frac{\alpha_N^{t''_{пп}}}{\left(100 + \alpha_N^{t''_{пп}}\right)} N_{T(n)} \; ; \qquad (4.5)$$

$$\Delta Q_0=\Delta Q_э=D_{0(н)}\left(K_{тп}\Delta i''_{тп}-\Delta\bar{t}_{пв}\right)-\Delta Q_{ро(н)}\frac{\Delta N_T^{t''_{тп}}}{\left(1+\frac{\alpha_N^{t''_{тп}}}{100}\right)}\ ; \qquad (4.5')$$

– в относительных единицах, %:

для конденсационных турбин

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_0}=\left(\alpha_{\Delta i}+\alpha_{\Delta D_0}\right)\cdot 10^2\ ; \qquad (4.6)$$

для теплофикационных турбин

$$\frac{\Delta Q_э}{Q_э}=\left(\alpha_{\Delta i}+\alpha_{\Delta D_0}\right)\frac{10^2}{\left(1-\frac{Q_T}{Q_0}\right)}\ . \qquad (4.6')$$

В формулах (4.6),(4.6') обозначено:

$$\alpha_{\Delta i}=\frac{K_{тп}\Delta i''_{тп}-\Delta\bar{t}_{пв}}{\left(i_{0(н)}-\bar{t}_{пв(н)}\right)+K_{тп}\left(i''_{тп(н)}-i'_{пт(н)}\right)}\ ;$$

$$\alpha_{\Delta D_0}=\frac{\Delta D_0}{D_{0(н)}}=-\Delta d_{0(н)}\frac{\alpha_N^{t''_{тп}}N_{T(н)}}{\left(100+\alpha_N^{t''_{тп}}\right)D_{0(н)}}=-\Delta Q_{ро(н)}\frac{\alpha_N^{t''_{тп}}N_{T(н)}}{\left(100+\alpha_N^{t''_{тп}}\right)Q_{0(н)}}\ ;$$

$$\Delta i''_{тп}=i''_{тп}-i''_{пп(н)}\ ;\quad \Delta\bar{t}_{пв}=\bar{t}_{пв(D_0+\Delta D_0)}-\bar{t}_{пв(D_{0(н)})}\ .$$

Значения поправок к мощности или к расходу свежего пара, необходимые для расчета поправок к расходу тепла, принимаются по данным таблиц расчетов поправок либо определяются для задаваемых с теми же интервалами значений $t''_{тп}$, D_0 и Q_T по соответствующим номограммам.

Результаты расчетов поправок к расходу тепла также целесообразно свести в таблицы, по данным которых строятся номограммы поправок к расходу тепла $\frac{\Delta Q_0}{Q_0}\left(\frac{\Delta Q_э}{Q_э}\right)=f\left(t''_{тп}, D_0, Q_T\right)$.

5. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА (ПАРА В КОНДЕНСАТОРЕ)

5.1. Поправка к мощности турбоагрегата

Поправка к мощности турбоагрегата на отклонение P_2, как правило, определяется экспериментальным путем. При отсутствии

экспериментальной поправки используются соответствующие данные расчетов завода-изготовителя турбины. В практике широкое распространение нашло представление этой поправки в виде сетки поправок - зависимости изменения мощности турбоагрегата от изменения P_2 : $\Delta N = f(P_2)$ при постоянных расходах пара в конденсатор (в ЧНД) $D_2'(D_{ЧНД}) = const$.

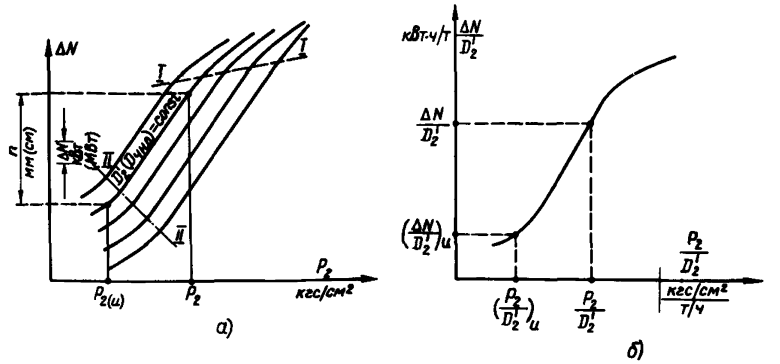


Рис.I5. Определение поправки к мощности турбоагрегата при отклонении давления отработавшего пара:

а - по сетке поправок на давление отработавшего пара; *б* - по "универсальной кривой" поправок к мощности на давление отработавшего пара P_2

Сетка поправок рассчитывается по данным так называемой универсальной кривой поправок на отклонение P_2 , представляющей зависимость $\frac{\Delta N_T}{D_2'} = f\left(\frac{P_2}{D_2'}\right)\left[\frac{\Delta N_T}{D_{ЧНД}} = f\left(\frac{P_2}{D_{ЧНД}}\right)\right]$, которая определяется экспериментально или в результате специальных расчетов.

Здесь под расходом пара в конденсатор D_2' подразумевается сумма расходов пара, вышедшего из последней ступени турбины D_2 и отобранного на первый по ходу конденсата регенеративный подогреватель низкого давления $D_{П1}$ $\left(D_2' = D_2 + D_{П1}\right)$.

На рис.I5,*а* иллюстрируется нахождение по сетке поправок изменения мощности турбины (отсека) при известном (неизменном) расходе отработавшего пара (на входе в ЧНД).

В общем виде значение поправки $\Delta N_T^{P_2}$ определяется как

$$\Delta N_T^{P_2} = \frac{\Delta N_T}{\Delta n} \cdot n \quad ,$$

где $\frac{\Delta N_T}{\Delta n}$ – изменение мощности на единицу длины (мм, см) оси ΔN (ось ординат), кВт/мм, кВт/см, МВт/см (указывается на графике при построении сетки поправок);

n – длина отрезка (интервала) по оси ΔN при движении по линии $D_2' = const$ от точки $P_{2(и)}$ до точки P_2, мм, см.

В ряде случаев на сетке поправок для зоны, расположенной между граничными линиями I–I и II–II, указывается значение поправки и мощности при отклонении давления отработавшего пара на $\pm$0,0I кгс/см^2.

Для данной зоны поправка рассчитывается как

$$\Delta N_T^{P_2} = \frac{\Delta N_T}{0{,}01} \cdot \Delta P_2 \, , \qquad (5.I)$$

где $\frac{\Delta N_T}{0{,}01}$ – поправка при отклонении давления P_2 на 0,0I кгс/см^2, кВт·см^2/кгс (МВт·см^2/кгс);

ΔP_2 – задаваемое значение отклонения давления пара P_2 кгс/см^2.

Изменение мощности при отклонении давления отработавшего пара может быть определено по данным "универсальной кривой" поправок. Для этого по известным исходным значениям $P_{2(и)}$ и $D'_{2(и)}$ и заданном давлении пара P_2 рассчитывают значения $\frac{P_{2(и)}}{D'_{2(и)}}$ и $\frac{P_2}{D'_{2(и)}}$ и, используя "универсальную кривую" поправок, определяют значения $\frac{\Delta N_T}{D_2'}$ и $\left(\frac{\Delta N_T}{D_2'}\right)_{(и)}$ (см.рис.I5,*б*).

Поправка к мощности [в кВт (МВт)] рассчитывается (при условии $D_2' = D'_{2(и)}$) как

$$\Delta N_T^{P_2} = \left[\frac{\Delta N_T}{D_2'} - \left(\frac{\Delta N_T}{D_2'}\right)_{(и)}\right] \cdot D_2' \quad . \qquad (5.2)$$

В относительных единицах (в %) поправка к мощности рассчитывается по формуле

$$\alpha_N^{P_2} = \frac{\Delta N_T^{P_2}}{N_{T(H)}} \cdot 10^2 . \qquad (5.2')$$

Для построения номограмм поправок $\Delta N_T^{P_2} = f(N_T, P_2)$, $\alpha_N^{P_2} = f(N_T, P_2)$ или $\Delta N_T^{P_2} = f[D_{ЧНД}(D_2), P_2]$ и $\alpha_N^{P_2} = f[D_{ЧНД}(D_2), P_2]$ может быть рекомендована следующая схема:

- для конденсационных турбин и теплофикационных при конденсационном режиме задаются рядом значений мощности турбоагрегата (от минимально возможной до максимальной через равные интервалы);
- по заданным значениям мощности турбоагрегата, используя соответствующие графические или аналитические зависимости, определяют расходы пара в конденсатор (в ЧНД) $D_2 (D_{ЧНД})$ при исходном (номинальном) значении давления P_2;
- для турбин с регулирующими отборами пара задаются значениями расходов пара на входе в ЧНД (в конденсатор) от минимально возможного до максимального;
- для каждого значения расхода пара в конденсатор (на входе в ЧНД) задаются отклонениями (через равные интервалы) давления отработавшего пара и, пользуясь сеткой поправок к мощности на отклонения P_2 либо "универсальной кривой" поправок, рассмотренными выше (в этом разделе) способами определяют соответствующие значения $\Delta N_T^{P_2}$ и $\alpha_N^{P_2}$.

5.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла на турбоагрегат ($при\ N_T = const$)

Поправки к расходу свежего пара ΔD_0 (в т/ч) и тепла $\Delta Q_0 (\Delta Q_э)$ (в Гкал/ч) на турбоагрегат в абсолютных значениях рассчитываются по следующим формулам:

в общем виде

$$\Delta D_0^{P_2} = -\Delta d_{0(H)} \frac{\Delta N_T^{P_2}}{\left(1 + \frac{\Delta N_{T2}^{P_2} - \Delta N_{T1}^{P_2}}{N_{T2} - N_{T1}}\right)} ; \qquad (5.3)$$

$$\Delta Q_0^{p_2} = \Delta Q_э = -\Delta q_{0(н)} \frac{\Delta N_T^{p_2}}{\left(1 + \frac{\Delta N_{T2}^{p_2} - \Delta N_{T1}^{p_2}}{N_{T2} - N_{T1}}\right)}, \qquad (5.3')$$

в частных случаях при равенстве значений $\Delta N_{T2}^{p_2} = \Delta N_{T1}^{p_2}$ (поправки в зоне граничных линий I–I и II–II):

$$\Delta D_0^{p_2} = -\Delta d_{0(н)} \Delta N_T^{p_2}; \qquad (5.4)$$

$$\Delta Q_0^{p_2} = \Delta Q_э = -\Delta q_{0(н)} \Delta N_T^{p_2}; \qquad (5.4')$$

при равенстве отношений $\frac{\Delta N_{T2}^{p_2}}{N_{T2}} = \frac{\Delta N_{T1}^{p_2}}{N_{T1}} = \alpha_N^{p_2} \cdot 10^2$:

$$\Delta D_0^{p_2} = -\Delta d_{0(н)} \frac{\Delta N_T^{p_2}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{p_2}}{100}\right)}; \qquad (5.5)$$

$$\Delta Q_0^{p_2} = \Delta Q_э = -\Delta q_{0(н)} \frac{\Delta N_T^{p_2}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{p_2}}{100}\right)} \qquad (5.5')$$

В относительных единицах (в %) эти поправки рассчитываются по следующим формулам:

– к расходу пара для турбин конденсационных и с регулируемыми отборами пара;

$$\alpha_{D_0}^{p_2} = \frac{\Delta D_0^{p_2}}{D_{0(н)}} \cdot 10^2; \qquad (5.6)$$

– к расходу тепла:

для турбин без регулируемых отборов пара

$$\alpha_{Q_0}^{p_2} = \frac{\Delta Q_0^{p_2}}{Q_{0(н)}} \cdot 10^2; \qquad (5.6')$$

для турбин с регулируемыми отборами пара

$$\alpha_{Q_э}^{p_2} = \frac{\Delta Q_э^{p_2} \cdot 10^2}{Q_{0(н)}\left(1 - \frac{\Sigma Q_{пг}}{Q_0}\right)}. \qquad (5.6'')$$

Значения входящих в формулы (5.6), (5.6'), (5.6'') величин $\Delta D_0^{P_2}$ и $\Delta Q_0^{P_2}$, $\Delta Q_э^{P_2}$ определяются по выражениям (5.3)-(5.5').

Относительные приросты по расходу пара $\Delta d_{o(и)}$ и расходу тепла $\Delta q_{o(и)}$ при исходных условиях определяются в соответствии с указаниями разд.I и 2.3.I.

Значения поправок к мощности, необходимые при построении номограмм поправок к расходу пара и тепла

$$\left(\Delta D_0^{P_2}, \Delta Q_0^{P_2}\right) = f\left(N_T, P_2\right) \quad ; \quad \left(\alpha_{D_0}^{P_2}, \alpha_{Q_0}^{P_2}\right) = f\left(N_T, P_2\right)$$

или $\Delta D_0^{P_2}, \Delta Q_0 = f\left(D_{чнд}, P_2\right)$; $\alpha_{D_0}^{P_2}, \alpha_{Q_0}^{P_2}, \alpha_{Q_э}^{P_2} = f\left(D_{чнд}, P_2\right)$

принимаются либо непосредственно из таблиц расчетов номограмм поправок к мощности (для всех принятых в расчетах значений N, P_2, $D_{чнд}$), либо определяются по номограммам поправок.

6. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ (ОХЛАЖДАЮЩЕЙ) ВОДЫ НА ВХОДЕ В КОНДЕНСАТОР

6.I. Поправка к мощности турбоагрегата

Для расчета данной поправки необходимо располагать значением изменения давления отработавшего пара при отклонении температуры охлаждающей воды от исходного значения. На практике это изменение удобно определять по характеристике конденсатора, представляющей графическую (аналитическую) зависимость $P_2 = f\left(D_2, t_1^б\right)$. Изменение давления в конденсаторе $\Delta P_2 = \left(P_{2(и)} - P_2\right)$ (рис.I6) определяют при условии постоянства расхода пара в конденсатор $D_2 = const$.

Получив для заданного изменения температуры $t_1^б$ значения ΔP_2 и пользуясь либо сеткой поправок к мощности, либо "универсальной кривой" поправок, рассмотренным в разд.5.I способом находят значения $\Delta N_T^{t_1^б}$. Основные положения по расчету данных для построения номограммы поправок $\left[\Delta N_T^{t_1^б} = f\left(N_T, t_1^б\right)\right.$; $\alpha_N^{t_1^б} = f\left(N_T, t_1^б\right)$ — для конденсационных турбин

и $\Delta N_T^{t_1^в} = f\left[D_2(D_{чнд}), t_1^в\right]$; $\alpha_N^{t_1^в} = f\left[D_2(D_{чнд}), t_1^в\right]$ –

для теплофикационных турбин, изложенные в разд.5.I, распространяются и на настоящий раздел.

6.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла

Расчет настоящих поправок производится в соответствии с изложенными в разд.5.2 указаниями по тем же формулам, в которые вместо поправок к мощности $\Delta N_T^{P_2}$, $\alpha_N^{P_2}$ подставляются поправки $\Delta N_T^{t_1^в}$, $\alpha_N^{t_1^в}$.

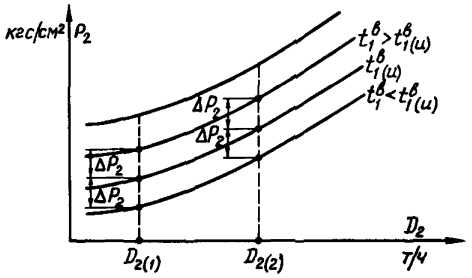


Рис.I6. Определение значения ΔP_2 при изменении $t_1^в$ по характеристике конденсатора

7. ПОПРАВКИ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОТПУСК ТЕПЛА (ПАРА) ИЗ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ОТБОРОВ

7.I. Поправки к мощности турбоагрегата (при постоянном расходе свежего пара или пара на входе в отсек)

При дополнительном отпуске пара (тепла) из нерегулируемого отбора турбины уменьшение мощности турбины будет определяться в основном значением изменения расхода пара через группу ступеней турбины (отсека), расположенных за точкой отбора пара, и теплоперепадом на эту группу ступеней. Кроме того, некоторое изменение мощности турбоагрегата будет вызвано отклонением режимов ра-

боты этой группы ступеней в связи с уменьшением расхода пара через нее.

Как показывает анализ процесса расширения пара в проточной части, дополнительный отбор пара (при неизменном значении расхода свежего пара в турбину или на входе в отсек) приводит к увеличению теплоперепада на предшествующую отбору ступень и уменьшению его на последнюю ступень турбины или отсека (при не прямо пропорциональном изменении давления пара перед последней ступенью и за ней). Теплоперепады на ступени, расположенные между ними, для конденсационных турбин практически остаются неизменными, поскольку отношение давлений пара за ступенью и перед нею при осуществлении отбора не изменяется.

Если у турбин с регулируемым отбором пара или противодавлением отбор осуществляется из точки, расположенной выше регулируемого отбора, теплоперепады для промежуточных ступеней могут несколько уменьшаться. Однако связанными с этим возможными отклонениями их экономичности при практических расчетах можно пренебречь.

Увеличение теплоперепада на ступень турбины, после которой осуществлен отбор пара, приводит к определенному изменению параметра ступени $\frac{u}{c_0}$, определяющего ее экономичность. Однако из-за ограниченности (по условиям прочности ступени) количества отбираемого пара изменение теплоперепада h на ступень и, следовательно, упомянутого параметра, равного $\frac{u}{c_0} = \frac{u}{k\sqrt{h}}$, также ограничено определенными пределами, причем для параметра $\frac{u}{c_0}$ эти пределы будут более узкими.

Учитывая это, а также то, что ступени проточной части турбины, исключая регулирующие и последние (для турбин с конденсацией пара), проектируются для работы в зоне оптимального, наивысшего значения КПД ступени, в которой он изменяется несущественно при относительно большом отклонении параметра $\frac{u}{c_0}$ [пологая зона зависимости $\eta_{oi} = f\left(\frac{u}{c_0}\right)$], принимаем КПД этой и промежуточных ступеней неизменными при осуществлении дополнительного отбора пара.

В этом случае изменение мощности турбоагрегата $\Delta N_T^{ст}$ (в МВт), связанное с изменением теплоперепада на предшествующую отбору ступень турбины, будет определяться значением его измене-

ния $\Delta h_{ст}$ и расходом пара, протекающего через эту ступень $D_{ст}$:

$$\Delta N_T^{ст} = \frac{\Delta h_{ст} \eta_{oi\,ст} D_{ст} \cdot 0{,}99}{860} \quad . \qquad (7.I)$$

Изменение располагаемого теплоперепада на ступень определяется по iS -диаграмме между точками пересечения:

а) линии предполагаемого (принимаемого) процесса расширения в проточной части турбины (отсека) и линии давления пара за ступенью при исходном режиме (без отбора пара) $P = P_{ст(п)}$;

б) линии энтропии $S = S_{ст(п)} = const$, проходящей через точку состояния пара за ступенью при исходном режиме (см.п.а), и линии давления пара за ступенью при изменившемся режиме (при наличии дополнительного отбора пара) $P = P_{ст}$.

Давление пара за ступенью при наличии дополнительного отбора пара определяется по следующим формулам:

- для конденсационных турбин (отсеков)

$$P = P_{ст} = P_{ст(п)} \left(1 - \frac{D_{отб}}{D_{ст}}\right) ; \qquad (7.2)$$

- для соответствующих отдельных отсеков (частей) турбин с регулируемыми отборами пара или противодавлением (ЧВД, ЧСД)

$$P = P_{ст} = \sqrt{\left(1 - \frac{D_{отб}}{D_{ст(п)}}\right)^2 \left(P_{ст(п)}^2 - P_{п(т)}^2\right) + P_{п(т)}^2} \quad , \qquad (7.2')$$

где $P_{п(т)}$ – давление пара за рассматриваемым отсеком (частью) турбины (противодавление), из которого осуществляется дополнительный отбор пара;

$\eta_{oi\,ст}$ – внутренний относительный КПД ступени, принимаемый равным η_{oi} = 0,83÷0,87; меньшее значение – для ступеней, работающих в области высоких давлений пара, большее – в области перегретого пара при относительно низких давлениях пара.

Расход пара через ступень определяется из материального баланса:

$$D_{ст} = D_0 - \Sigma D_{отб} - \Sigma D_{утл} \quad , \qquad (7.2'')$$

где $\Sigma D_{отб}$ – сумма отборов пара из регулируемых и нерегулируемых отборов, расположенных выше (по давлению) точки дополнительного отбора пара, т/ч;

$\Sigma D_{упл}$ – протечки пара через концевые уплотнения, не входящие в указанные выше значения расходов $\Sigma D_{отб}$.

Изменение мощности последней ступени турбины с конденсатором при дополнительном отборе пара может быть вызвано как уменьшением расхода пара и располагаемого теплоперепада на данную ступень, так и изменением ее экономичности, в основном вследствие отклонения потерь с выходной скоростью пара. Изменение мощности из-за уменьшения расхода пара через эту ступень будет входить в значение поправки (недовыработки мощности), связанное с уменьшением расхода пара на значение отбора на всем теплоперепаде от точки отбора до состояния пара за последней ступенью турбины.

Влияние на мощность турбоагрегата изменений теплоперепада и экономичности последней ступени турбины рекомендуется определять по сетке поправок к мощности на давление отработавшего пара (расчетной или экспериментальной). Для этого первоначально определяется давление отработавшего пара (за последней ступенью) p_2', при котором теплоперепад на эту ступень практически будет равен исходному значению:

$$p_2' = p_{2(и)} \left(1 - \frac{D_{отб}}{D_{2(и)}} \right) \quad . \qquad (7.3)$$

Затем, пользуясь сеткой поправок к мощности, для нового значения расхода пара в конденсатор (в ЧНД) $D_2 = D_{2(и)} - D_{отб}$ определяют значение поправки к мощности при переходе от давления пара p_2' до давления пара в конденсаторе, равного либо исходному $p_{2(и)}$, если поправка рассчитывается для условия $p_2 = const$, либо определенному по характеристике конденсатора $p_2 = f(D_2, t_1^б)$ для $D_2 = D_{2(и)} - D_{отб}$ при условии $W = const$, $t_1^б = const$.

Для случая с несколькими дополнительными отборами пара

$$p_2' = p_{2(и)} \left(1 - \frac{\Sigma D_{отб}}{D_{2(и)}} \right) \qquad (7.3')$$

$$D_2 = D_{2(и)} - \Sigma D_{отб} \, . \qquad (7.3'')$$

Для отдельных отсеков (частей) турбин с регулируемыми отборами пара или противодавлением, из которых осуществляется допол-

нительный отбор пара, изменение мощности последней ступени рассматриваемого отсека с достаточной точностью можно определять, исходя из условий неизменности ее КПД, по выражению, аналогичному (7.1). Изменение теплоперепада на ступень определяется по iS -диаграмме от давления пара за ступенью (отсеком) $p_{п(т)} = p_{п(т)(и)} \cdot \frac{p_{п(т)(и)}}{p_{ст(и)}}$ до исходного значения давления $p_{п(т)(и)}$ и при исходном значении энтропии пара $S_{ст(и)} = const$.

Значения КПД принимаются $\eta_{oi\ п.ст} = 0{,}80 \div 0{,}85$; расход пара через последнюю ступень отсека $D_{п.ст}$ определяется как

$$D_{п.ст} = D_{ст} - D_{отб} \quad .$$

(Расход пара $D_{ст}$ определяется по выражению (7.2); $D_{отб}$ - дополнительный отбор пара).

Кроме отмеченного выше, некоторое изменение мощности турбоагрегата (отсека) может быть отнесено за счет:

- перераспределения расходов пара на отдельные регенеративные подогреватели, связанного с изменением давления греющего пара в них $\Delta N'_{т(вт.ф)}$;

- изменения расхода основного конденсата через нижестоящие подогреватели $\Delta N''_{т(вт.ф)}$ в случае возврата в тепловую схему турбоустановки конденсата пара дополнительного отбора (обессоленной или химически очищенной воды) не в конденсатор, а в деаэратор или в линию основного конденсата перед ПНД, расположенным по ходу конденсата выше конденсатора.

Эти факторы условно отнесены к вторичным.

Изменение мощности из-за вторичных факторов в общем виде может быть выражено (в МВт) как:

$$\Delta N'_{т(вт.ф)} = \frac{\Delta t'_{пв(о.к)} \cdot D_{пв(р.к)} \quad h_{i(отс)} \cdot 0{,}99}{\left(i_п - \bar{t}'_{п.в(ак)}\right) \cdot 860} \quad ; \qquad (7.4)$$

$$\Delta N''_{т(вт.ф)} = \sum \left(\frac{D_{отб} \cdot \Delta \bar{t}_{ак} \cdot h_i^{p_{отб} - p_2} \cdot 0{,}99}{\left(i_п - \bar{t}'_{о.к}\right) \cdot 860} \right) \quad , \qquad (7.4')$$

где $\Delta \bar{t}_{ак}$ - повышение энтальпии основного конденсата в ПНД, через который проходит уменьшенный на значение $D_{отб}$ расход конденсата, ккал/кг;

$h_i^{P_{отб}-P_2}$ – использованный теплоперепад от состояния пара в камере регенеративного отбора на соответствующий ПНД до состояния за последней ступенью турбины (в конденсаторе) $h_i^{P_{отб}-P_2}=h_0^{P_{отб}-P_2}\eta_{0i}^{P_{отб}-P_2}$;

$h_0^{P_{отб}-P_2}$ – располагаемый теплоперепад от состояния пара в камере соответствующего отбора до давления пара в конденсаторе;

$(i_п-\bar{t}'_{пв(ок)})$ – разность энтальпий греющего пара и питательной воды (основного конденсата) на входе для соответствующего подогревателя (теплоиспользование), ккал/кг;

$\Delta\bar{t}'_{пв(ок)}$ – изменение энтальпии питательной воды (основного конденсата) на входе в регенеративный подогреватель, следующий по ходу воды за точкой дополнительного отбора пара, ккал/кг;

$h_{i(отс)}$ – использованный теплоперепад на группу (отсек) ступеней, заключенных между точкой дополнительного отбора пара и расположенным непосредственно выше нее по давлению регенеративным отбором, ккал/кг;

$$h_{i(отс)}=h_{0(отс)}\eta_{0i(отс)}\,.$$

Суммарная поправка к мощности турбоагрегата (в МВт) при дополнительном отпуске (отборе) пара может быть выражена как:

– для конденсационных турбоагрегатов (частей турбины)

$$\Delta N_T^{D_{отб}}=-\frac{D_{отб}h_i^{P_{ст(п)}-P_{2(п)}}\cdot 0{,}99}{860}+\sum\left(\frac{D_{отб}\Delta\bar{t}_{о.к}h_i^{P_{отб}-P_2}\cdot 0{,}99}{(i_п-\bar{t}'_{о.к})860}\right)+$$

$$+\frac{\Delta h_{i\,ст}D_{ст}}{860}-\frac{\Delta\bar{t}_{пв(ок)}D_{пв(ок)}h_{i(отс)}\cdot 0{,}99}{(i_п-\bar{t}_{пв(ок)})860}-\Delta N_T^{P_2}\,; \qquad (7.5)$$

– для отдельных отсеков (частей) турбин с регулируемыми отборами пара, противодавлением

$$\Delta N_{T(i)}^{D_{отб}}=-\frac{D_{отб}h_i^{P_{отб}-P_{п(п)}}\cdot 0{,}99}{860}+\sum\left(\frac{D_{отб}\Delta\bar{t}_{о.к}h_i^{P_{отб}-P_{п(п)}}0{,}99}{(i_п-\bar{t}'_{о.к})860}\right)+$$

$$+\frac{\Delta h_{i(ст)} D_{ст}}{860} - \frac{\Delta t'_{пв(ак)} D_{пв(ак)} h_{i(отс)} \cdot 0{,}99}{(i_п - t_{пв(ак)}) 860} - \frac{\Delta h_{пст} \eta_{oi\,пст} D_{пст} 0{,}99}{860} \quad . \qquad (7.5')$$

Как показывают расчеты, изменение мощности из-за вторичных факторов невелико и его удобно учитывать путем введения специальных коэффициентов к основным соответствующим составляющим.

В этом случае выражения (7.5) и (7.5') будут записаны как

$$\Delta N_т^{D_{отб}} = -\frac{D_{отб} h_i^{\rho_{ст(и)} - \rho_{2(и)}} 0{,}99}{860} K''_{вт.ф} + \frac{\Delta h_{i\,ст} D_{ст}}{860} K'_{вт.ф} - \Delta N_т^{\rho_2} \; ; \qquad (7.5'')$$

$$\Delta N_{т(i)}^{D_{отб}} = -\frac{D_{отб} h_i^{\rho_{ст(и)} - \rho_{п(т)}} \cdot 0{,}99}{860} K''_{вт.ф} + \frac{\Delta h_{i\,ст} D_{ст}}{860} K'_{вт.ф} - \frac{\Delta h_{п.ст} \eta_{oi\,п.ст} D_{п.ст} \cdot 0{,}99}{860} \; , \qquad (7.5''')$$

где $$K''_{вт.ф} = \left(1 - \frac{\Delta N''_{т(вт\,ф)} \cdot 860}{D_{отб} \cdot h_i^{\rho_{ст(и)} - \rho_{2(и)}} \cdot 0{,}99}\right) \; ;$$

$$K'_{вт\,ф} = \left(1 - \frac{\Delta N'_{т(вт\,ф)} \cdot 860}{\Delta h_{i\,ст} D_{ст}}\right) \quad .$$

При возврате конденсата дополнительного отбора (обессоленной или химически очищенной воды в том же количестве) в конденсатор турбины, в деаэратор или в линию основного конденсата перед последним (предпоследним) по ходу конденсата ПНД коэффициент $K''_{вт.ф}$ будет равен соответственно I,0; 0,9 и 0,93.

В расчетах рекомендуется принимать $K'_{вт.ф} = 0{,}95$.

В формулах (7.5) - (7.5''') $h_i^{\rho_{ст(и)} - \rho_{2(и)}}$, $h_i^{\rho_{ст(и)} - \rho_{п(т)(и)}}$ использованные теплоперепады от состояния пара в камере дополнительного отбора ($i_{ст}$) до состояния пара за последней ступенью турбины i_2, отсека $i_{п(т)}$ при исходных условиях.

Для конденсационных турбин без промперегрева или при осущест-

влении дополнительного отбора из точек, расположенных ниже (по давлению) промперегрева

$$h_i^{p_{ст(и)}-p_{2(и)}} = i_{ст(и)} - i_{2(и)}$$

Если же дополнительные отборы пара расположены выше точки промперегрева, то

$$h_i^{p_{ст(и)}-p_{2(и)}} = i_{ст(и)} - i_{2(и)} + \left(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)}\right).$$

Для отдельных отсеков турбин с регулируемым отбором пара значения использованных теплоперепадов $h_i^{p_{ст(и)}-p_{нт(т)}}$ (в ккал/кг) определяются как:

- для ЧВД (если $p_{ст} > p_п$)

$$h_i^{p_{ст(и)}-p_п} = i_{ст(и)} - i_п \quad ;$$

- для ЧСД (если $p_п > p_{ст} > p_т$)

$$h_i^{p_{ст(и)}-p_т} = i_{ст(и)} - i_т \quad .$$

Поправка к мощности турбоагрегата (в МВт) при дополнительном отпуске пара из нерегулируемого отбора и сохранении неизменным значения регулируемого отбора пара (тепла) будет определяться как сумма поправок к мощности рассматриваемого ($\Delta N_{т(1)}^{D_{отб}}$) и последующих ($\Delta N_{т(2)}^{D_{отб}}$) отсеков:

$$\Delta N_т^{D_{отб}} = \Delta N_{т(1)}^{D_{отб}} + \Delta N_{т(2)}^{D_{отб}} , \qquad (7.6)$$

Поправка к мощности (в МВт) последующих отсеков составит:

$$\Delta N_{т(2)}^{D_{отб}} = \Sigma\left(D_{отб} \cdot \frac{1}{d_{отс}}\right) .$$

Например, для турбины типа ПТ, если дополнительный отбор пара выполнен из ЧВД ($p_{ст} > p_п$),

$$\Delta N_{т(2)}^{D_{отб}} = \frac{D_{отб}}{d_{чсд}} + \frac{D_{отб}}{d_{чнд}} = D_{отб}\left(\frac{1}{d_{чсд}} + \frac{1}{d_{чнд}}\right) ;$$

если из ЧСД ($p_{ст} > p_т$) –

$$\Delta N_{т(2)}^{D_{отб}} = D_{отб} \cdot \frac{1}{d_{чнд}} .$$

Значения энтальпий пара, а также относительных приростов ($d_{чсд}$, $d_{чнд}$), необходимые для указанных выше расчетов, принимаются по данным тепловых испытаний (или типовых энергетических характеристик) соответствующих турбин, а при отсутствии их – по данным теплового расчета турбины (отсеков), проведенного заводом-изготовителем.

Знаки перед членами выражений (7.5)÷(7.5$'''$) соответствуют не посредственному влиянию на мощность турбоагрегата этих составляющих.

Поправку к мощности турбоагрегата на дополнительный отбор (тепла) пара от турбины рекомендуется рассчитывать на среднее значение дополнительного отбора для нескольких задаваемых значений расхода свежего пара (3–4 значения, включая минимальные и максимальные расходы) и расхода тепла (пара) в регулируемые отборы (для теплофикационных турбин).

В дальнейшем, используя полученные значения $\Delta N_T^{D_{отб}}$, определяют удельные поправки (в МВт·ч/Гкал или МВт·ч/т) на единицу отпущенного тепла (расхода пара), Гкал/ч (т/ч):

$$\alpha_N^{D_{отб}} = \frac{\Delta N_T^{D_{отб}}}{D_{отб}} \; ; \qquad \alpha_N^{Q_{отб}} = \frac{\Delta N_T^{D_{отб}}}{Q_{отб}}$$

и строят соответствующие зависимости

$$\alpha_N^{Q_{отб}} = f\left(D_0\right); \qquad \alpha_N^{D_{отб}} = f\left(D_0\right)$$

или

$$\alpha_N^{Q_{отб}} = f\left[D_0, Q_{п(т)}\left(D_{п(т)}\right)\right]; \; \alpha_N^{D_{отб}} = f\left[D_0, Q_{п(т)}\left(D_{п(т)}\right)\right];$$

$$\alpha_N^{Q_{отб}} = f\left[D_0, Q_п(D_п), Q_т(D_т)\right], \; \alpha_N^{D_{отб}} = f\left[D_0, Q_п(D_п), Q_т(D_т)\right].$$

В случае дополнительного отпуска тепла (пара) из нерегулируемых отборов от турбин с регулируемыми отборами пара или противодавлением и при работе их по тепловому графику поправку к мощности турбоагрегата следует определять по выражениям:

– для турбин типа Р

$$\Delta N_{т(тепл)}^{D_{отб}} = \frac{D_{отб}}{d_0\left(1 - K_{рег}^{D}\right)} - \Delta N_T^{D_{отб}} \; ; \qquad (7.7)$$

– для турбин типов П, Т (включая турбины Т-50, Т-100 и другие – этого типа), если дополнительный отбор выполнен из камер, расположенных выше (по давлению) регулируемого отбора ($P_{ст} > P_{пт}$)

$$\Delta N_{т(тепл)}^{D_{отб}} = \frac{D_{отб}}{d_{0\,ЧВД}\left(1 - K_{рег.\,ЧВД}^{'D}\right)} - \Delta N_T^{D_{отб}} \; ; \qquad (7.7')$$

– для турбин типа ПТ при дополнительном отборе пара из ЧВД ($P_{ст} > P_п$)

$$\Delta N_{т(тепл)}^{D_{отб}} = \frac{D_{отб}}{d_{0\,ЧВД}\left(1 - K_{рег.\,ЧВД}^{'D}\right)} - \Delta N_T^{D_{отб}} \; ; \qquad (7.7'')$$

при дополнительном отборе пара из ЧСД $(p_{ст} > p_{т})$

$$\Delta N_{т(тепл)}^{D_{отб}} = \frac{D_{отб}}{d_{а.чвд}\left(1-K_{рег.чвд}^{D}\right)} + \frac{D_{отб}}{\left(1-K_{рег.чсд}^{ID}\right)d_{чсд}} - \Delta N_{т}^{D_{отб}} \quad (7.7''')$$

Входящие в формулы (7.7)÷(7.7''')значения поправок $\Delta N_{т}^{D_{отб}}$ определяются по формулам (7.5)÷(7.6) для соответствующего случая, а сомножители $(1 - K_{рег.чвд}^{ID})$ и $(1 - K_{рег.чсд}^{ID})$ как:

$$\left(1-K_{рег.чвд}^{ID}\right) = \left(1-\frac{\Sigma D'_{рег}}{D_{0}}\right),$$

где $\Sigma D'_{рег}$ – сумма расходов пара на регенеративные подогреватели, относящиеся к ЧВД с давлением греющего пара выше давления пара в точке дополнительного отбора из ЧВД;

$$\left(1-K_{рег.чсд}^{ID}\right) = \left(1-\frac{\Sigma D'_{рег}}{D_{чсд}^{вх}}\right),$$

где $\Sigma D'_{рег}$ – сумма расходов пара на регенеративные подогреватели, относящиеся к ЧСД с давлением греющего пара выше давления пара в точке дополнительного отбора из ЧСД;

$D_{чсд}^{вх}$ – расход пара на входе в ЧСД.

7.2. Поправки к расходу свежего пара

При работе турбины по электрическому графику и дополнительном отборе пара (тепла) от турбины абсолютные значения поправок к расходу свежего пара (в т/ч) могут быть рассчитаны по выражениям:

$$\Delta D_{0} = -\Delta d_{0}\alpha_{N}^{Q_{отб}}Q_{отб} \quad (7.8)$$

или

$$\Delta D_{0} = -\Delta d_{0}\alpha_{N}^{D_{отб}}D_{отб}. \quad (7.9)$$

Удельные поправки на единицу отпущенного тепла, пара (в т/ч(Гкал/ч); т/ч(т/ч) определяются как:

$$\alpha_{D_{0}}^{Q_{отб}} = \frac{\Delta D_{0}}{Q_{отб}} = -\Delta d_{0}\alpha_{N}^{Q_{отб}}. \quad (7.10)$$

$$\alpha^{D_{отб}}_{D_0} = \frac{\Delta D_0}{D_{отб}} = -\Delta d_0 \alpha^{D_{отб}}_{N} , \qquad (7.11)$$

или

где
$$\Delta d_0 = \Delta d_{0(и)} \frac{1}{\left[1 + \frac{\left(\alpha^{Q_{отб}}_{N_2} - \alpha^{Q_{отб}}_{N_1}\right) Q_{отб}}{N_{T_2} - N_{T_1}}\right]} \qquad (7.12)$$

и
$$\Delta d_0 = \Delta d_{0(и)} \frac{1}{\left[1 + \frac{\left(\alpha^{D_{отб}}_{N_2} - \alpha^{D_{отб}}_{N_1}\right) D_{отб}}{N_{T_2} - N_{T_1}}\right]} . \qquad (7.12')$$

Здесь $\alpha^{Q_{отб}}_{N}$, $\alpha^{D_{отб}}_{N}$ – удельные значения поправок к мощности на дополнительный отпуск тепла (пара), МВт/Гкал (МВт·ч/т); определяются либо по табличным данным расчетов, рассмотренных в разд.7.I, либо по графическим зависимостям, построенным с использованием данных этих расчетов;

$\alpha^{Q_{отб}}_{N_2}$, $\alpha^{D_{отб}}_{N_2}$, $\alpha^{Q_{отб}}_{N_1}$, $\alpha^{D_{отб}}_{N_1}$ – значения удельных поправок к мощности в окрестностях значения мощности турбоагрегата (интервал между точками $N_{T_2} = N_{T(и)} + \Delta N_T^{D_{отб}}$ и $N_{T_1} = N_{T(и)}$), для которого определяется относительный прирост по расходу пара $\Delta d_{0(и)}$ (см.разд.I.I).

При незначительной разнице в значениях α_{N_2} и α_{N_1} $\left(\alpha_{N_2} - \alpha_{N_1} \leq 3\%\right)$ при расчетах поправок можно принимать $d_{0(и)} = d_0$ и значения поправок вычислять по выражениям:

– в абсолютных значениях, т/ч

$$\Delta D_0 = -\Delta d_{0(и)} \alpha^{Q_{отб}}_{N} Q_{отб} \qquad (7.8')$$

или
$$\Delta D_0 = -\Delta d_{0(и)} \alpha^{D_{отб}}_{N} D_{отб} ; \qquad (7.9')$$

– удельные значения поправок, т/ч (Гкал/ч), т/ч (т/ч);

$$\alpha^{Q_{отб}}_{D_0} = \frac{\Delta D_0}{Q_{отб}} = -\Delta d_{0(и)} \alpha^{Q_{отб}}_{N} \qquad (7.10')$$

или $$\alpha_{D_0}^{D_{отб}} = \frac{\Delta D_0}{D_{отб}} = -\Delta d_{o(и)}\, \alpha_N^{D_{отб}} \quad . \qquad (7.II)$$

При дополнительном отпуске тепла (пара) и работе теплофикационных турбин по тепловому графику поправки к расходу свежего пара вычисляются по выражениям:

- в абсолютных значениях (т/ч) соответственно

$$\Delta D_0 = \frac{Q_{отб}}{\left(i_{отб} - \bar{t}_{возв}\right)\left(1 - K_{рег}^{'D}\right)} \cdot 10^3 \qquad (7.I3)$$

или

$$\Delta D_0 = \frac{D_{отб}}{\left(1 - K_{рег}^{'D}\right)} \quad ; \qquad (7.I4)$$

- удельные значения поправок, т/ч/(Гкал/ч), т/ч/(т/ч);

$$\alpha_{D_{0(тепл)}}^{Q_{отб}} = \frac{\Delta D_0}{Q_{отб}} = \frac{10^3}{\left(i_{отб} - \bar{t}_{возв}\right)\left(1 - K_{рег}^{'D}\right)} \quad ;$$

$$\alpha_{D_{0(тепл)}}^{D_{отб}} = \frac{\Delta D_0}{D_{отб}} = \frac{1}{\left(1 - K_{рег}^{'D}\right)} \quad ,$$

где $$\left(1 - K_{рег}^{'D}\right) = \left(1 - \frac{\Sigma D'_{рег}}{D_0}\right) \quad ;$$

$\Sigma D'_{рег}$ – сумма расходов пара на регенеративные подогреватели с давлением греющего пара выше давления пара в точке дополнительного отбора;

$i_{отб}, \bar{t}_{возв}$ – энтальпии соответственно отбираемого пара и возвращаемого в схему конденсата, ккал/кг.

Относительные удельные поправки к расходу свежего пара в %/(Гкал/ч), %/(т/ч) вычисляются по выражениям:

$$\alpha_{D_0(\%)}^{Q_{отб}} = \frac{\alpha_{D_0}^{Q_{отб}}}{D_0} \cdot 10^2 \qquad (7.I5)$$

и

$$\alpha_{D_0(\%)}^{D_{отб}} = \frac{\alpha_{D_0}^{D_{отб}}}{D_0} \cdot 10^2 \quad . \qquad (7.I5')$$

При расчете данных для построения графиков поправок к расходу свежего пара при дополнительном отпуске тепла, пара от турбины удобно задаваться теми же значениями расходов свежего пара и расходов тепла, пара в регулируемые отборы (для теплофикационных турбин), для которых выполнены соответствующие расчеты поправок к мощности (разд.7.I), и значения поправок к мощности непосредственно принимать из таблицы этих расчетов.

7.3. Поправки к расходу тепла на турбоагрегат

Поправки к расходу тепла на турбоагрегат при работе турбины по электрическому графику и дополнительном отпуске тепла, пара из нерегулируемых отборов рассчитываются по формулам:

- к полному (общему) расходу тепла, подводимому к турбоагрегату без промперегрева пара, в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_0 = -\Delta q_0 \alpha_N^{Q_{отб}} Q_{отб} \quad ; \tag{7.I6}$$

$$\Delta Q_0 = -\Delta q_0 \alpha_N^{D_{отб}} D_{отб} \quad , \tag{7.I7}$$

удельные значения поправок, Гкал/ч/(Гкал/ч), Гкал/ч/(т/ч)

$$\alpha_{q_0}^{Q_{отб}} = \frac{\Delta Q_0}{Q_{отб}} = -\Delta q_0 \alpha_N^{Q_{отб}} \quad , \tag{7.I6'}$$

$$\alpha_{q_0}^{D_{отб}} = \frac{\Delta Q_0}{D_{отб}} = -\Delta q_0 \alpha_N^{D_{отб}} \quad , \tag{7.I7'}$$

- к расходу тепла на выработку электроэнергии турбоагрегатом без промперегрева пара в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_э = -\Delta q_0 \alpha_N^{Q_{отб}} Q_{отб} - Q_{отб} = -Q_{отб}\left(1 + \Delta q_0 \alpha_N^{Q_{отб}}\right), \tag{7.I8}$$

$$\Delta Q_э = -\Delta q_0 \alpha_N^{D_{отб}} D_{отб} - D_{отб}\left(i_{отб} - \bar{t}_{возв}\right) 10^{-3} = \\ = -D_{отб}\left[\left(i_{отб} - \bar{t}_{возв}\right)\cdot 10^{-3} + \Delta q_0 \alpha_N^{D_{отб}}\right] ; \tag{7.I9}$$

удельные значения поправок Гкал/ч/(Гкал/ч), Гкал/ч/(т/ч)

$$\alpha^{Q_{отб}}_{Q_э} = \frac{\Delta Q_э}{Q_{отб}} = -\left(1 + \Delta q_o \alpha^{Q_{отб}}_{N}\right); \qquad (7.18')$$

$$\alpha^{D_{отб}}_{Q_э} = \frac{\Delta Q_э}{D_{отб}} = -\left[\left(t_{отб} - \bar{t}_{возв}\right)\cdot 10^{-3} + \Delta q_o \alpha^{D_{отб}}_{N}\right] \qquad (7.19')$$

Для турбоагрегатов с промперегревом пара, если дополнительный отбор тепла (пара) осуществляется из точки, в которой давление пара выше или равно давлению пара на входе в промежуточный пароперегреватель ($P_{ст} = P_{отб} \geq P'_{пп}$), к формулам (7.16)÷(7.19') необходимо добавить член, учитывающий изменение затрат тепла в промежуточном пароперегревателе:

- в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_{пп} = -\left[D_{отб}\left(i''_{пп(и)} - i'_{пп(и)}\right)10^{-3} - D_{пп(и)}\Delta i'_{пп}\right]$$

- в удельных значениях, Гкал/ч/(Гкал/ч), (Гкал/ч/(т/ч)

$$\alpha^{Q_{отб}}_{Q_{пп}} = \frac{\Delta Q_{пп}}{Q_{отб}}; \quad \alpha^{D_{отб}}_{Q_{пп}} = \frac{\Delta Q_{пп}}{D_{отб}}.$$

Здесь $\Delta i'_{пп} = \left(i'_{пп(и)} - i'_{пп}\right)$ – изменение энтальпии пара, направленного на промперегрев, из-за снижения давления пара на входе в промежуточный пароперегреватель вследствие уменьшения расхода пара $D_{пп}$ на значение $D_{отб}$; определяется по iS -диаграмме в процессе расчета поправок к мощности.

Относительные приросты по расходу тепла при измененных условиях Δq_o и исходных $\Delta q_{o(и)}$ связаны один с другим так же, как и соответствующие значения относительных приростов по расходу свежего пара Δd_o и $\Delta d_{o(и)}$ по формулам (7.12) и (7.12').

Относительные приросты по расходу тепла $\Delta q_{o(и)}$ определяются либо непосредственно по соответствующим расходным характеристикам $Q_o = f(N_т)$, либо расчетным путем, если имеются относительные приросты по расходу свежего пара $\Delta d_{o(и)}$, как

$$\Delta q_{o(и)} = \Delta d_{o(и)}\left(t_o - \bar{t}_{пв}\right)\cdot 10^{-3}, \qquad (7.20)$$

а для турбин с промперегревом пара

$$\Delta q_{o(и)} = \Delta d_{o(и)}\left[\left(i_o - \bar{t}_{пв}\right) + K_{пп}\left(i''_{пп} - i'_{пп}\right)\right]. \qquad (7.20')$$

Все указания разд.7.2 по определению относительных приростов $\Delta d_{эф}$ и Δd_o и их применению, а также рекомендации по расчету данных для построения графических зависимостей поправок распространяются и на настоящий раздел.

Относительные удельные значения поправок к расходу тепла, %/(Гкал/ч), (%/(т/ч)) вычисляются как:

- к полному (общему) расходу тепла

$$\alpha^{Q_{отб}}_{Q_o(\%)} = \frac{\alpha^{Q_{отб}}_{Q_o}}{Q_o} \cdot 10^2 ; \qquad (7.21)$$

$$\alpha^{D_{отб}}_{Q_o(\%)} = \frac{\alpha^{D_{отб}}_{Q_o}}{Q_o} \cdot 10^2 ; \qquad (7.21')$$

- к расходу тепла на выработку электроэнергии

$$\alpha^{Q_{отб}}_{Q_э(\%)} = \frac{\alpha^{Q_{отб}}_{Q_э}}{Q_э} \cdot 10^2 ; \qquad (7.22);$$

$$\alpha^{D_{отб}}_{Q_э(\%)} = \frac{\alpha^{D_{отб}}_{Q_э}}{Q_э} \cdot 10^2 . \qquad (7.22')$$

8. ПОПРАВКИ НА ПОДВОД ТЕПЛА (ПАРА) В СХЕМУ ТУРБОАГРЕГАТА ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА

8.I. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_o = const$

Подвод тепла в схему турбоагрегата от внешнего источника приводит к изменению значений отборов пара непосредственно от турбины на регенеративные подогреватели и деаэратор. Эти изменения расходов пара зависят как от места подвода в теплодую схему внешнего теплоносителя, так и его начальной энтальпии, а также от количества теплоносителя, места его отвода из тепловой схемы (для обеспечения материального баланса $D_o = D_{п.в}$ или $D_o + D_{пр} = D_{п.в}$) и его энтальпии в точке отвода.

При составлении уравнений тепловых балансов для определения значений изменений расходов пара необходимо рассматривать как подогреватели, к которым непосредственно подводится внешний

теплоноситель, так и подогреватели, через которые в дальнейшем он прокачивается (до точки отвода его из схемы).

В общем виде изменение расхода пара на подогреватель может быть определено как:

- при подводе к подогревателю от внешнего источника пара в количестве $D_{подв}$ с энтальпией $i_{подв}$

$$\Delta D_{отб} = -D_{подв}\frac{(i_{подв} - \bar{t}_{др})}{(i_{отб} - \bar{t}_{др})}; \qquad (8.I)$$

- при подводе внешнего теплоносителя в количестве $D_{подв}$ с энтальпией $t_{подв}$ в линию основного конденсата (питательной воды) перед подогревателем

$$\Delta D_{отб} = D_{подв}\frac{(\bar{t}''_{о.к(п.в)} - \bar{t}_{подв})}{(i_{отб} - \bar{t}_{др})}; \qquad (8.I')$$

- при прохождении через последующий подогреватель внешнего теплоносителя в количестве $D_{подв}$.

$$\Delta D_{отб} = D_{подв}\frac{\bar{t}''_{о.к(п.в)} - \bar{t}'_{о.к(п.в)}}{i_{отб} - \bar{t}_{др}}. \qquad (8.I'')$$

В формулах (8.I)-(8.I'')

$i_{отб}$, $\bar{t}_{др}$ - энтальпия соответственно греющего пара и конденсата греющего пара (дренажа) рассматриваемого подогревателя, ккал/кг;

$\bar{t}''_{о.к(п.в)}$, $\bar{t}'_{о.к(п.в)}$ - энтальпия основного конденсата (питательной воды) соответственно на выходе из рассматриваемого подогревателя и на входе в него, ккал/кг.

После определения значений изменений расходов пара на соответствующие регенеративные подогреватели, деаэратор (изменения значений отборов пара от турбины), используя соответствующие формулы и указания разд.7.I, производят расчет поправок к мощности турбины при условии $D_0 = const$. При этом стоящие перед членами формул знаки изменяются на противоположные. По результатам расчетов аналогичным образом строят графические зависимости поправок к мощности турбоагрегата.

Для определения удельных поправок к мощности $\alpha_N^{Q_{подв}}$ количество подведенного от внешнего источника тепла в схему турбо-

агрегата $Q_{подв}$ определяется как

$$Q_{подв} = Q'_{подв} - Q_{отв} = D_{подв}\, \iota_{подв} \cdot 10^{-3} - D_{отв}\, \bar{t}_{отв} \cdot 10^{-3} \qquad (8.2)$$

или при равенстве расходов $D_{подв} = D_{отв}$

$$Q_{подв} = D_{подв} \left(\iota_{подв} - \bar{t}_{отв}\right) \cdot 10^{-3} \quad , \qquad (8.2')$$

где $\bar{t}_{отв}$ – энтальпия внешнего теплоносителя в точке его отвода из схемы, ккал/кг.

8.2. Поправки к расходу свежего пара на турбоагрегат

Указанные поправки к расходу свежего пара при условии $N_т = const$ рассчитываются по соответствующим формулам разд.7.2, в которые подставляются поправки к мощности турбоагрегата, рассчитанные для данного случая, $\Delta N_т^{Q_{подв}}$, $\alpha_N^{Q_{подв}}$ (разд.8.I).

Все указания по расчету поправок и определению необходимых значений, входящих в формулы, изложенные в разд.7.2, распространяются и на настоящий раздел. В значение поправки к расходу свежего пара в рассмотренном случае не включается расход пара от внешнего (постороннего) источника. В случае подвода от внешнего источника в тепловую схему турбоагрегата пара в количестве $D_{подв}$ поправку к расходу пара на турбоагрегат (поправка к расходу пара, включая расход от внешнего источника) определяются как:

– в абсолютных значениях, т/ч

$$\Delta D'_0 = -\Delta d_0\, \Delta N_т^{D_{подв}} + D_{подв} \qquad (8.3)$$

или

$$\Delta D'_0 = -\Delta d_0\, \alpha_{N_т}^{D_{подв}}\, D_{подв} + D_{подв} = D_{подв} \left(1 - \Delta d_0\, \alpha_{N_т}^{D_{подв}}\right); \qquad (8.3')$$

– удельное значение поправки, т/ч/(т/ч)

$$\alpha_{D'_0}^{D_{подв}} = \frac{\Delta D'_0}{D_{подв}} = \left(1 - \Delta d_0\, \alpha_{N_т}^{D_{подв}}\right); \qquad (8.4)$$

- относительное удельное значение поправки, %/(т/ч)

$$\alpha^{D_{подв}}_{D'_o(\%)} = \frac{\Delta D'_o}{D_{подв} D_{o(н)}} = \frac{(1-\Delta d_o \alpha^{D_{подв}}_{N_T})}{D_{o(н)}} \cdot 10^2. \qquad (8.4')$$

8.3. Поправки к расходу тепла на турбоагрегат

Расчет поправок к расходу тепла на турбоагрегат при подводе в его тепловую схему от внешнего источника тепла и работе турбоагрегата по электрическому графику следует производить по следующим формулам:

- в абсолютных значениях (Гкал/ч) к общему (или на выработку электроэнергии) расходу тепла

$$\Delta Q_o = \Delta Q_э = -\Delta q_{ro} \Delta N_T^{Q_{подв}} + D_{подв}(i_{подв} - \bar{t}_{отв}) \cdot 10^{-3} \qquad (8.5)$$

или

$$\Delta Q_o = \Delta Q_э = -\Delta q_{ro} \alpha^{Q_{подв}}_N Q_{подв} + Q_{подв} = Q_{подв}\left(1 - \Delta q_{ro} \alpha^{Q_{подв}}_N\right); \qquad (8.5')$$

- удельные значения поправки, Гкал/(Гкал/ч)

$$\alpha^{Q_{подв}}_{Q_o(Q_э)} = \frac{\Delta Q_o(\Delta Q_э)}{Q_{подв}} = \left(1 - \Delta q_{ro} \alpha^{Q_{подв}}_N\right); \qquad (8.6)$$

- относительные удельные значения поправки, %/(Гкал/ч)

$$\alpha^{Q_{подв}}_{q_o(Q_э)\%} = \frac{\Delta Q_o(\Delta Q_э)}{Q_{подв} Q_{o(н)}(Q_{э(н)})} = \frac{(1-\Delta q_{ro} \alpha^{Q_{подв}}_N)}{Q_{o(н)}(Q_{э(н)})} \cdot 10^2 \qquad (8.6')$$

В формулы (8.5)-(8.6') подставляются поправки к мощности $\Delta N_T^{Q_{подв}}, \alpha^{Q_{подв}}_N$, полученные в результате рассмотренных выше расчетов (разд.8.I). Все указания по определению относительных приростов Δq_{ro} и $\Delta q_{o(н)}$, получению данных для построения графических зависимостей поправок, изложенные в разд.7.3, распространяются и на настоящий раздел.

Приложение I

ГРАФИКИ СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПЕРЕД СОПЛАМИ I-й СТУПЕНИ ТУРБИНЫ
(ОТСЕКА) ПРИ ДАВЛЕНИИ СВЕЖЕГО ПАРА
$P_{0(и)}$; $1{,}1P_{0(и)}$ и $0{,}9P_{0(и)}$

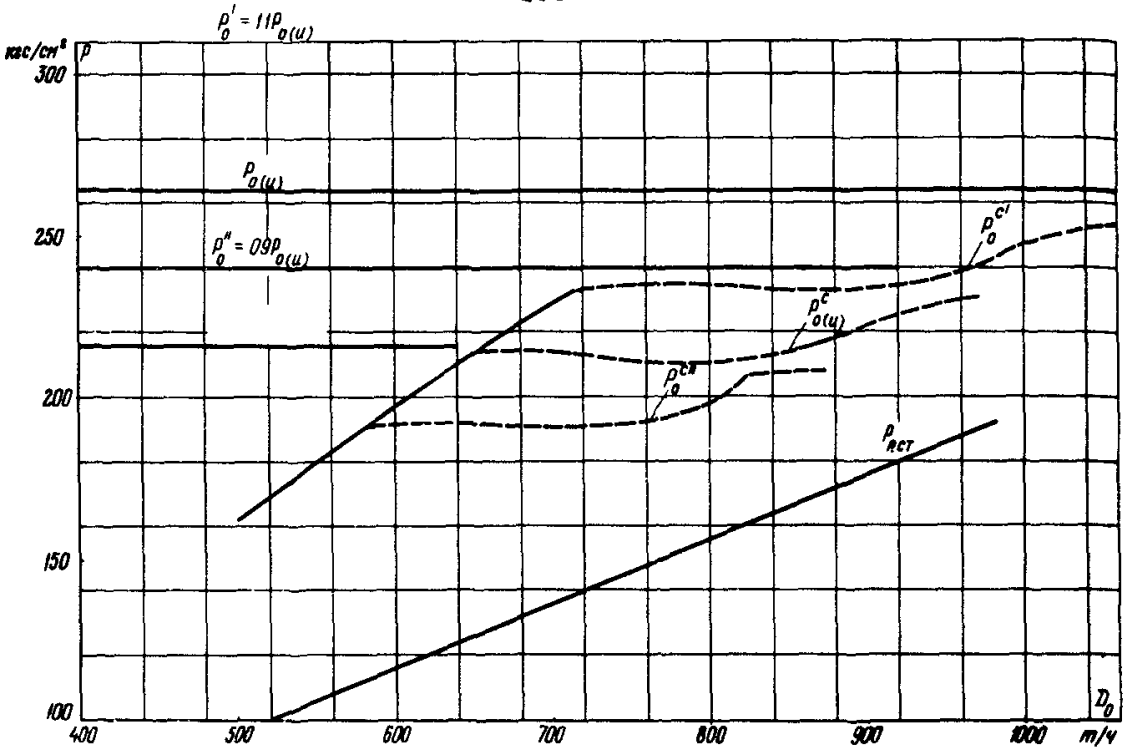


Рис.III-1. Турбина К-300-240 ЛМЗ

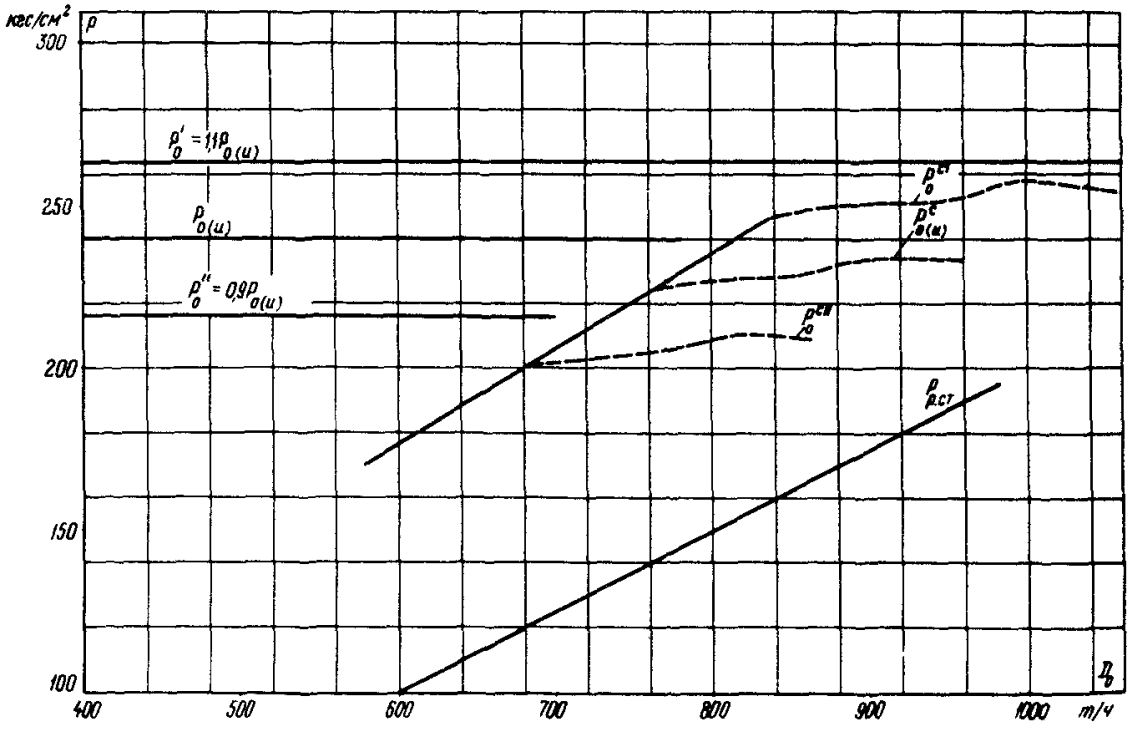


Рис.III-2. Турбина К-300-240 ХТГЗ (2-й модификации)

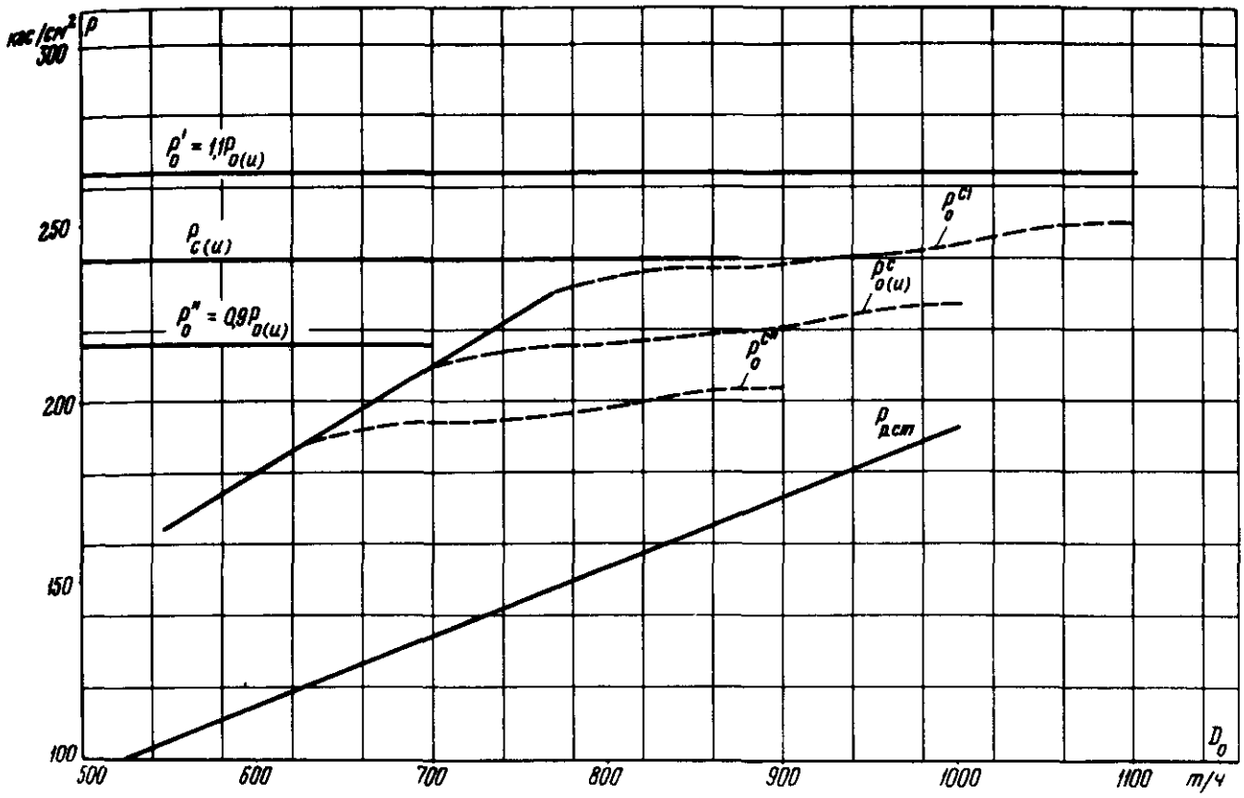


Рис.II-3. Турбина Т-250/300-240-2 ТМЗ

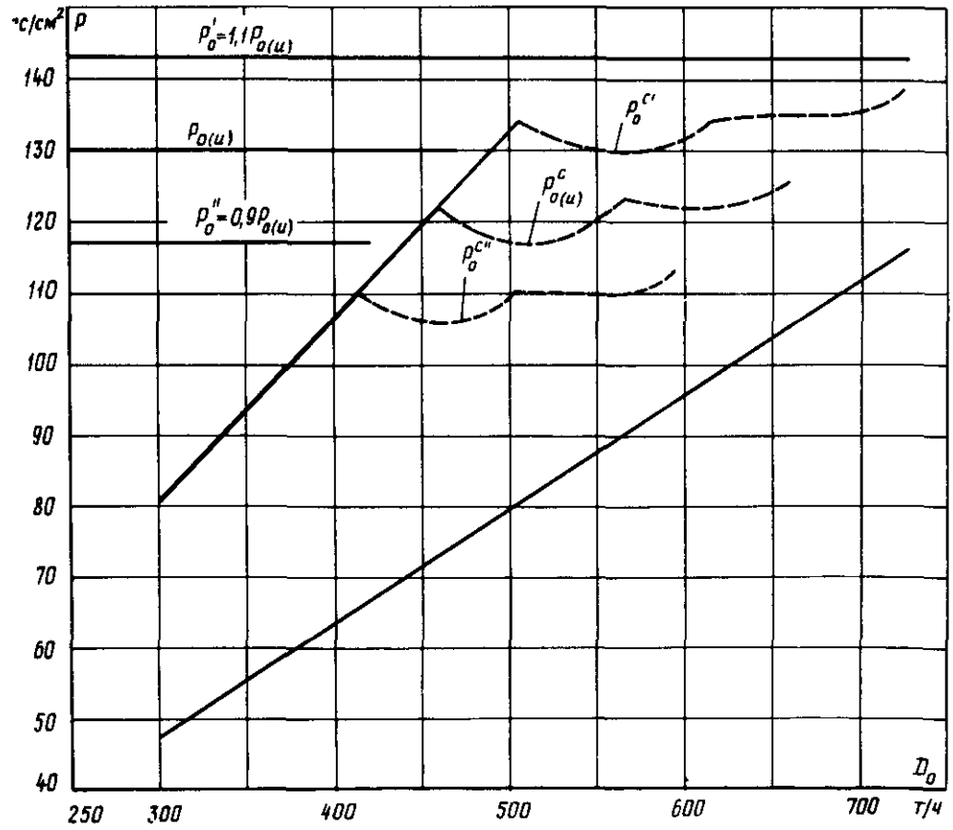


Рис.II-4. Турбина К-200-130 ЛМЗ

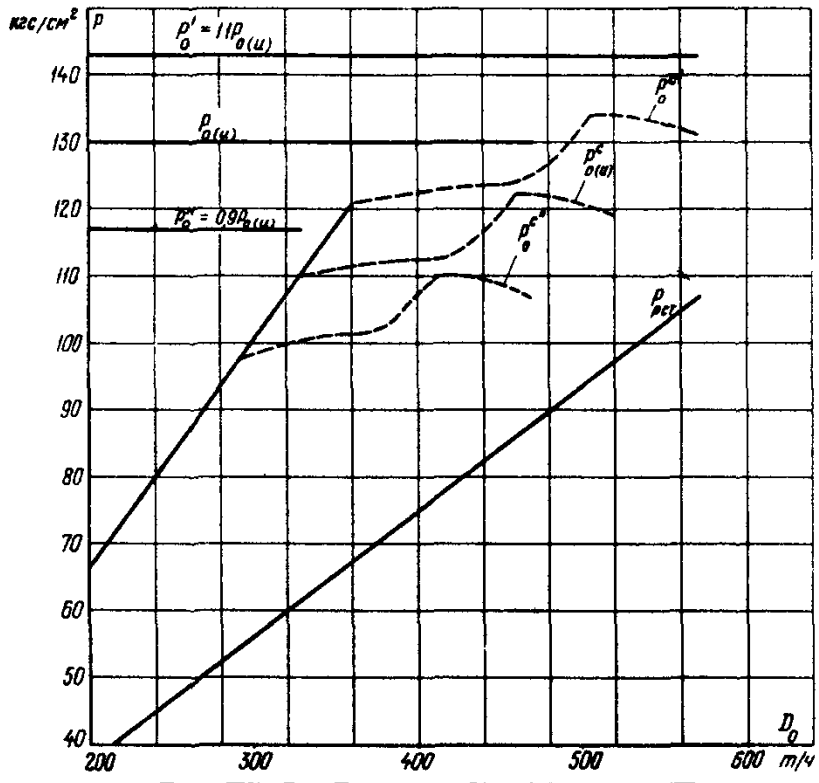


Рис.II-5. Турбина К-160-130 ХТГЗ

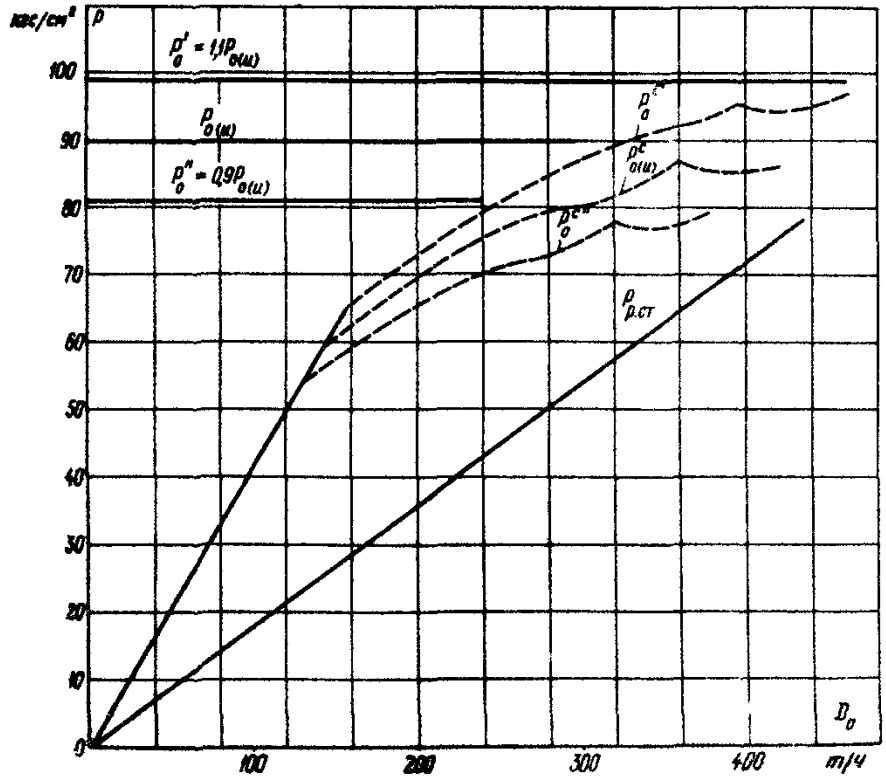


Рис.II-6. Турбина К-100-90-6 ЛМЗ

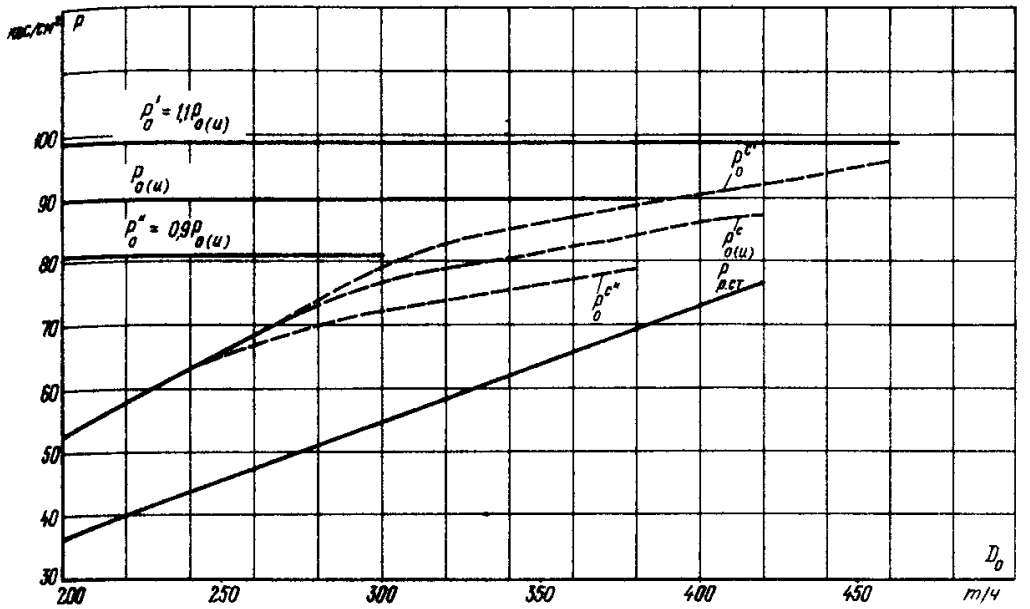


Рис.III-7. Турбина К-100-90-7 ЛМЗ

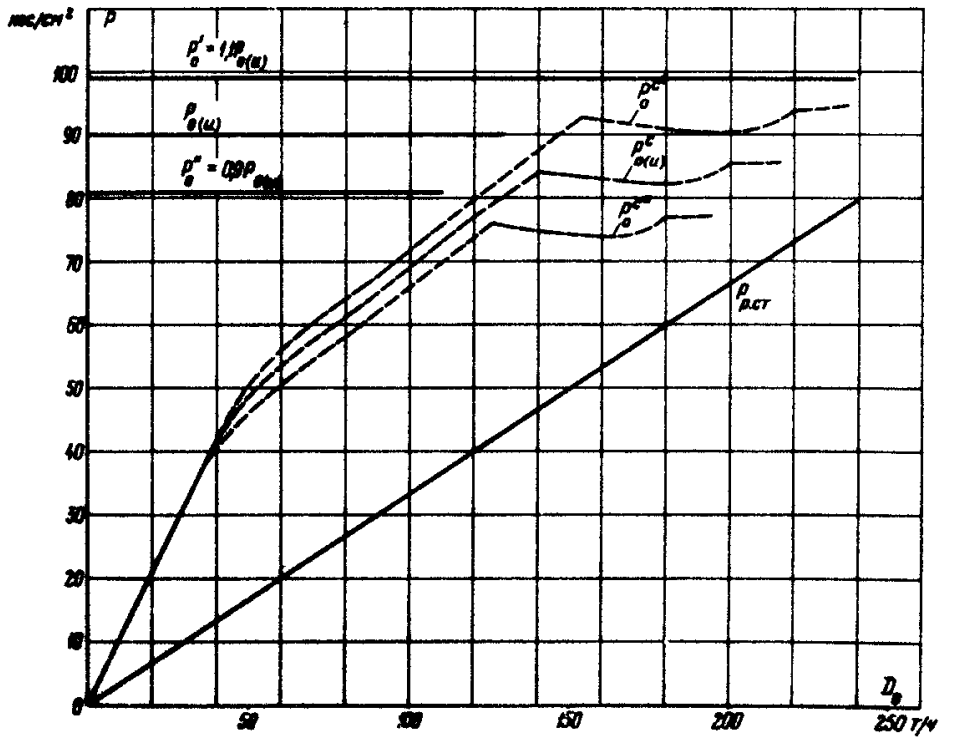


Рис.III-8. Турбина К-50-90-3 ЛМЗ

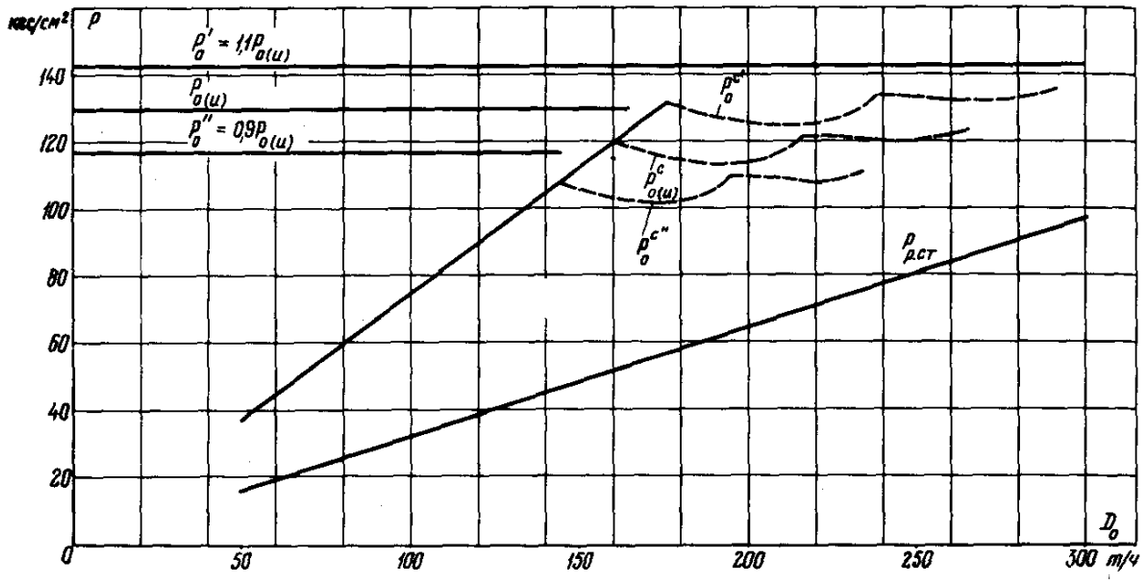


Рис.II-9. Турбина Т-50-I30 ТМЗ

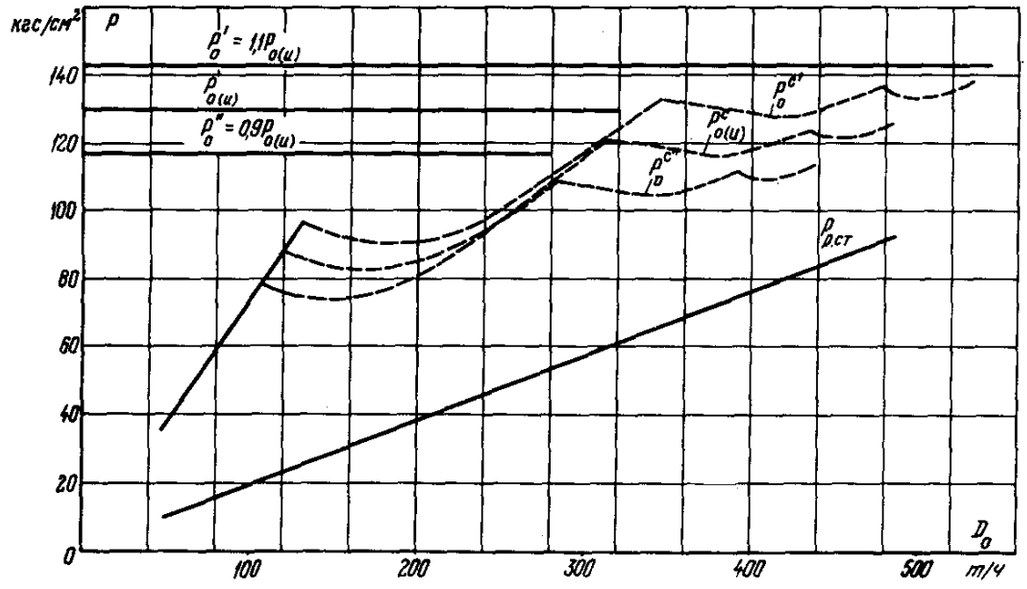


Рис.II-I0. Турбина Т-I00-I30 ТМЗ

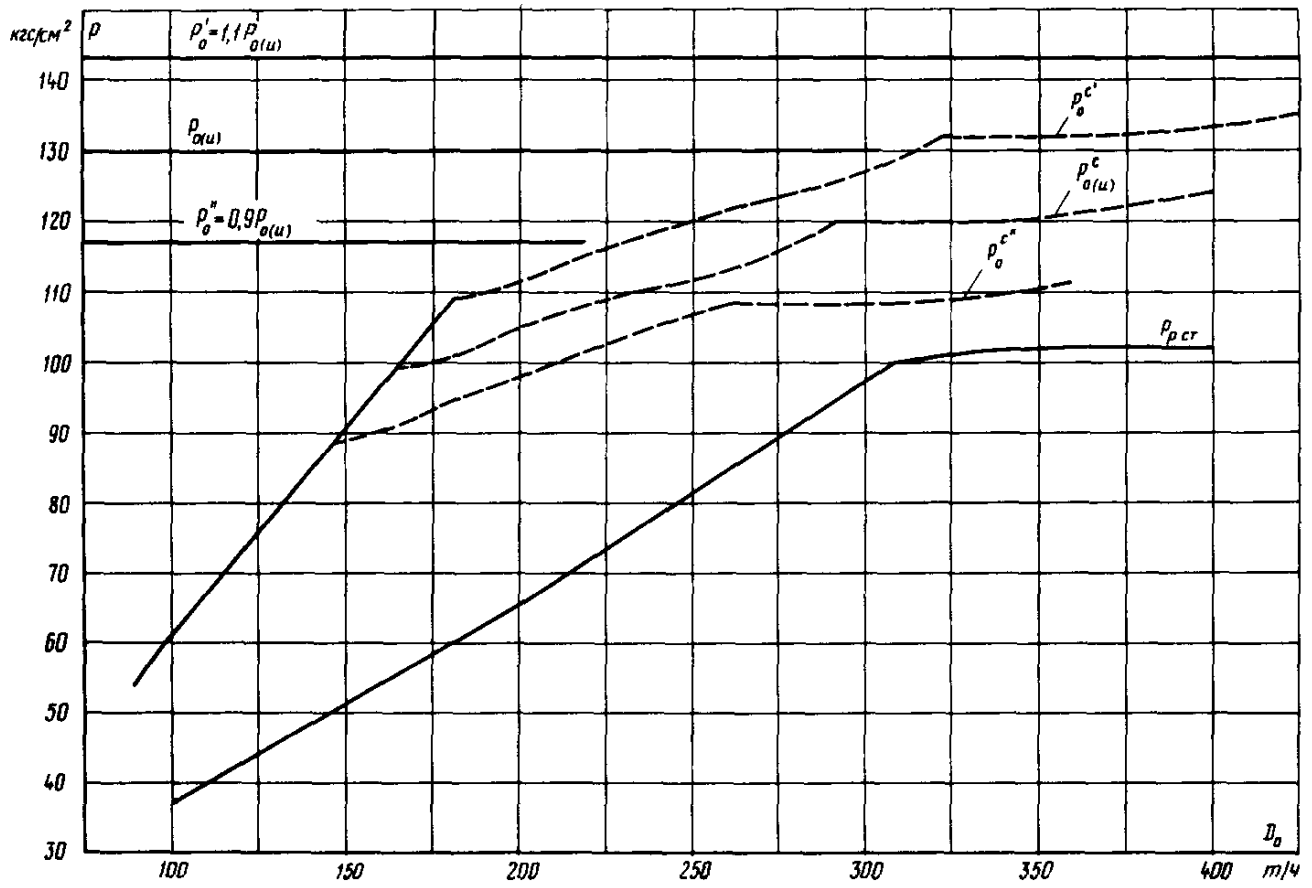


Рис.II-II. Турбина ПТ-60-130/13 ЛМЗ

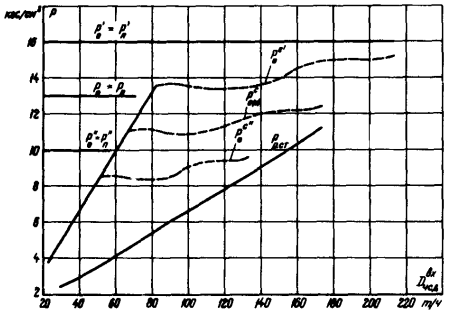


Рис.II-I2. Турбина ПТ-60-I30/I3 (ЧСД) ТМЗ

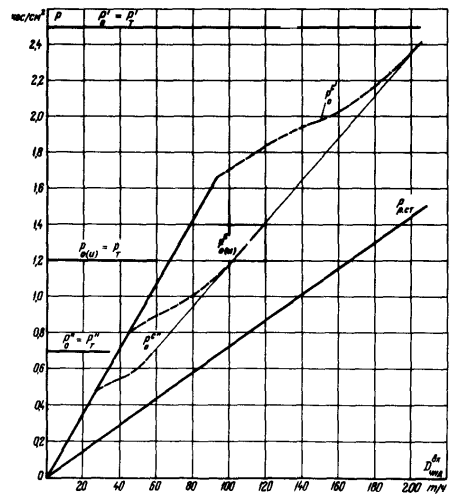


Рис.II-I3. Турбина ПТ-60-I30/I3 (ЧНД) ЛМЗ

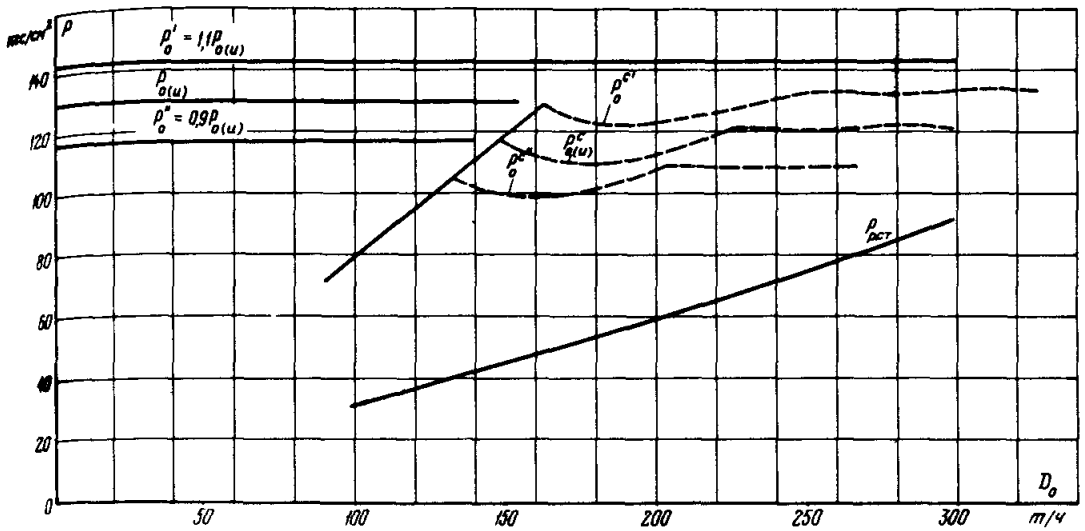


Рис.II-I4. Турбина ПТ-50-I30/7 ТМЗ

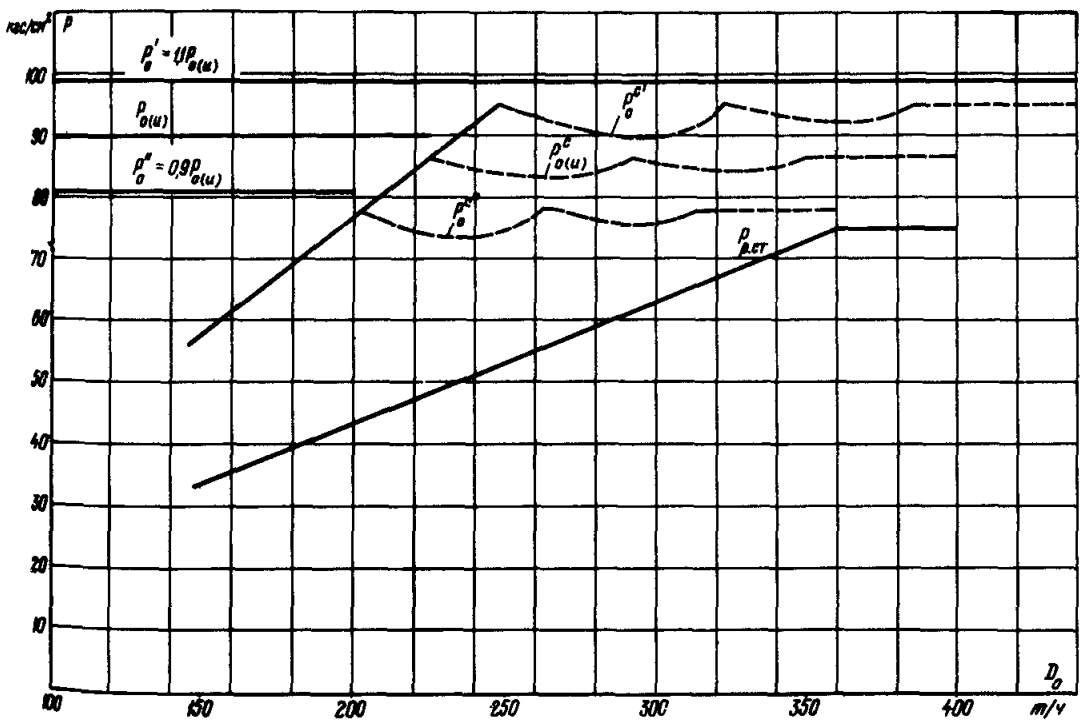


Рис.II-I5. Турбина ПТ-60-90/I3 ЛМЗ

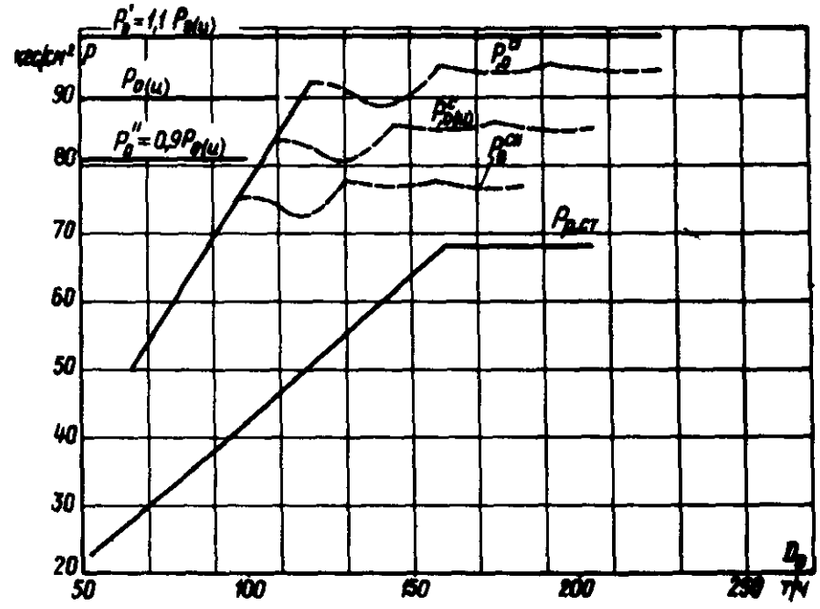


Рис.II-I6. Турбина ВПТ-25-4 ТМЗ

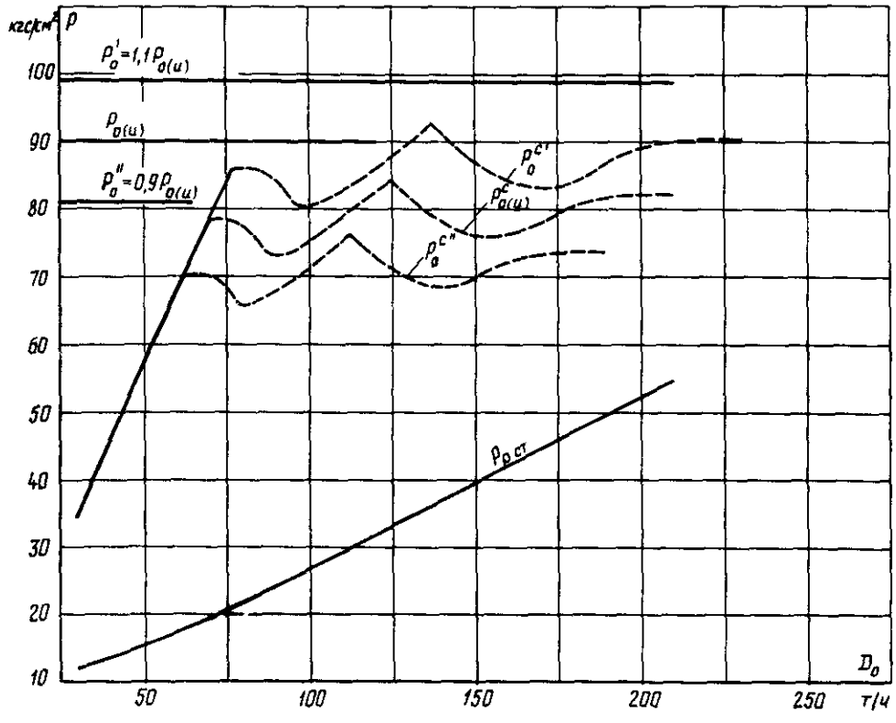


Рис.II-I7. Турбина ВПТ-25-3 ЛМЗ

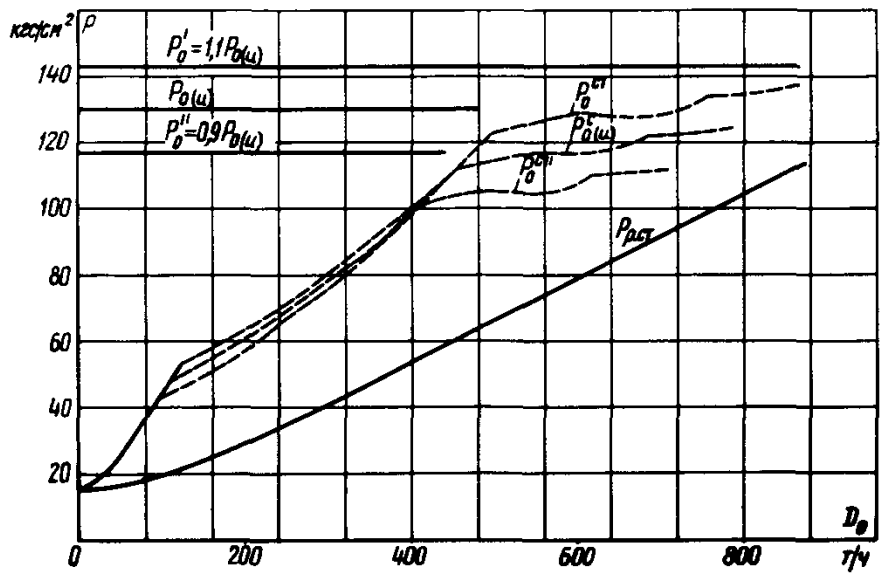


Рис.III-I8. Турбина Р-I00-I30/I5 ТМЗ

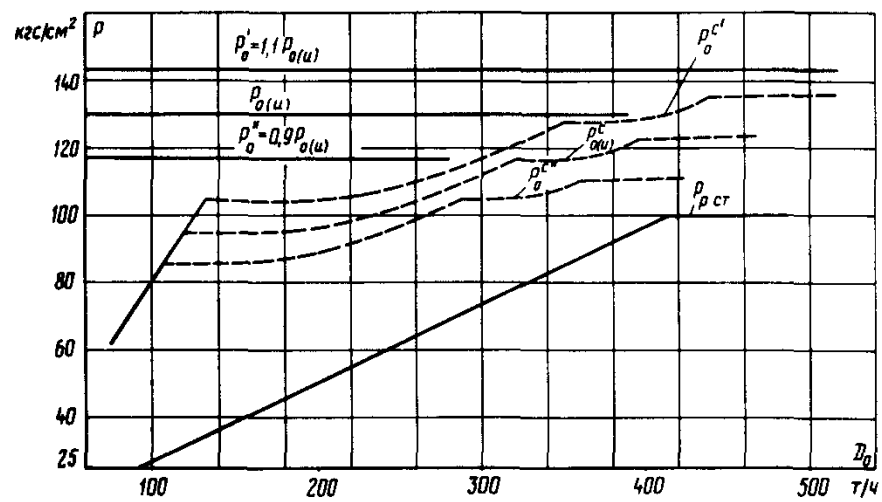


Рис.III-I9. Турбина Р-50-I30/I2 ЛМЗ

Приложение 2

ГРАФИКИ ПОПРАВОК К МОЩНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ СВЕЖЕГО ПАРА НА ±10%

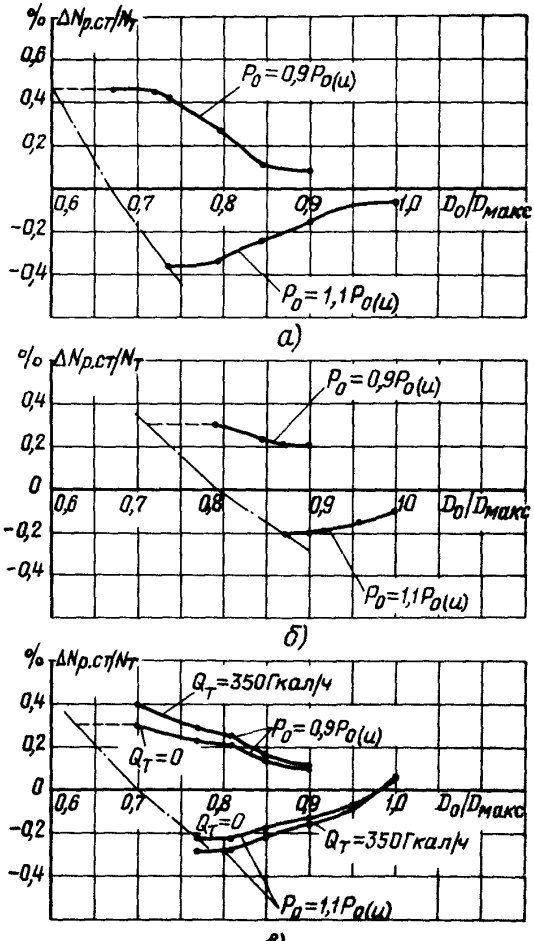
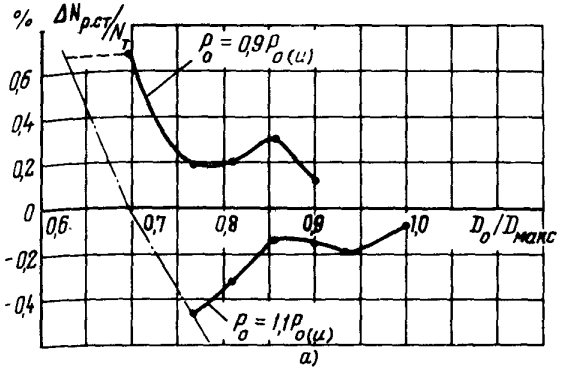
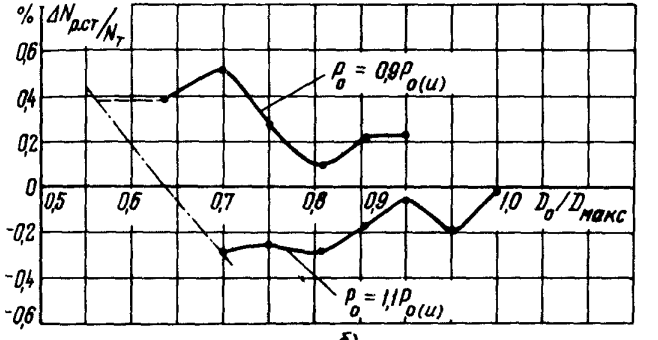


Рис.П2-I. Турбины:
а – К-300-240 ЛМЗ; *б* – К-300-240 ХТГЗ; *в* – Т-250/300-240-2 ТМЗ

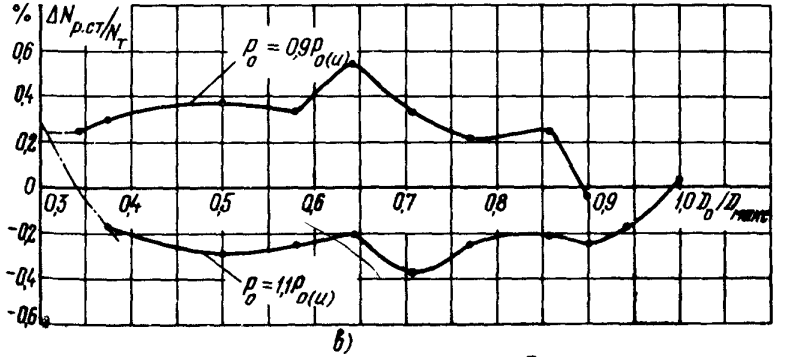
Примечание к рис.П2-I ÷ П2-4.
Линия ——·—— граница $\frac{\Delta N_{р.ст}}{N_т}=0$



а)

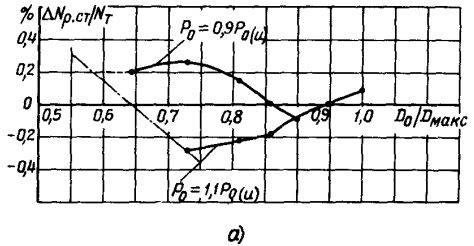


б)

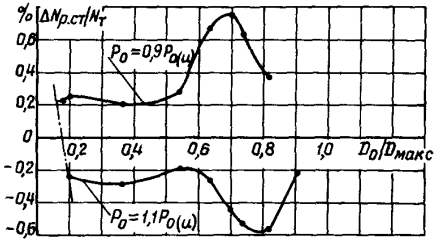


в)

Рис.П2-2. Турбины: *а* - К-200-130 ЛМЗ; *б* - К-160-130 ХТГЗ; *в* - К-100-90-6 ЛМЗ

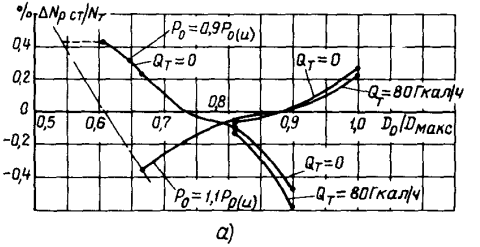


а)

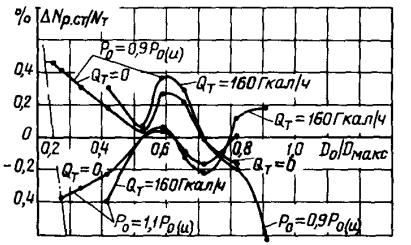


б)

Рис.П2-3. Турбины:
а – К-100-90-7; *б* – К-50-90-3 ЛМЗ



а)



б)

Рис.П2-4. Турбины:
а – Т-50-130 ТМЗ; *б* – Т-100-130 ТМЗ

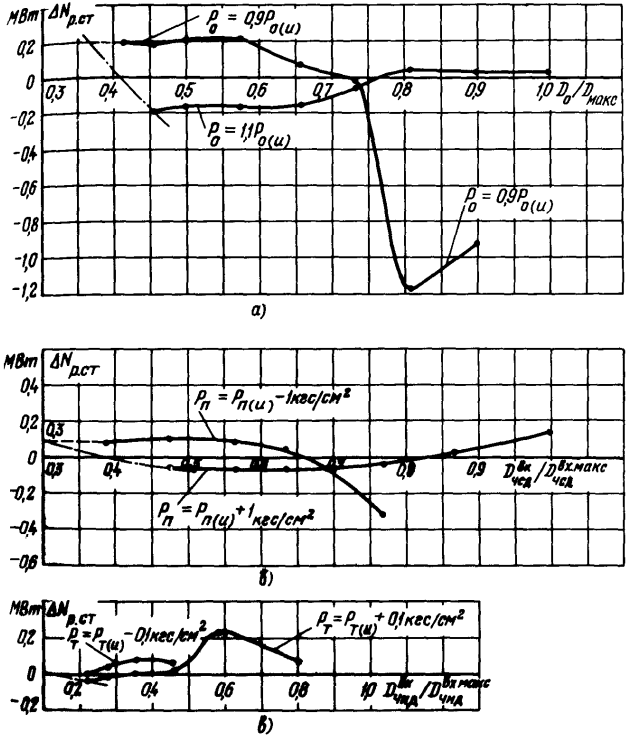


Рис.П2-5. Турбина ПТ-60-130/13 ЛМЗ: *а* - ЧВД; *б* - ЧСД; *в* - ЧНД.

Примечание к рис.П2-5 ÷ П2-8.

Линия ——— · ——— граница $\Delta N_{р.ст} = 0$

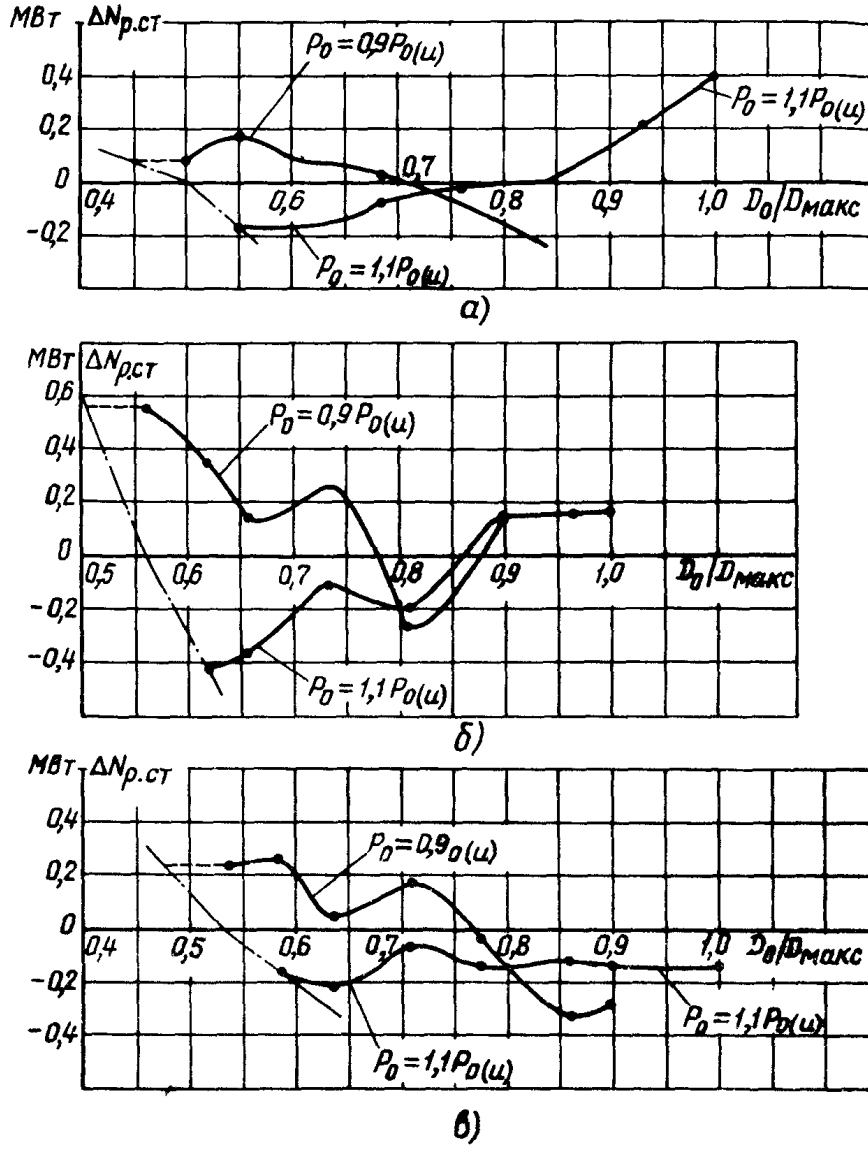


Рис.П2-6. Турбины: *а* - ПТ-50-I30/7 ТМЗ; *б* - ПТ-60-90/I3 ЛМЗ; *в* - ВПТ-25-4 ТМЗ

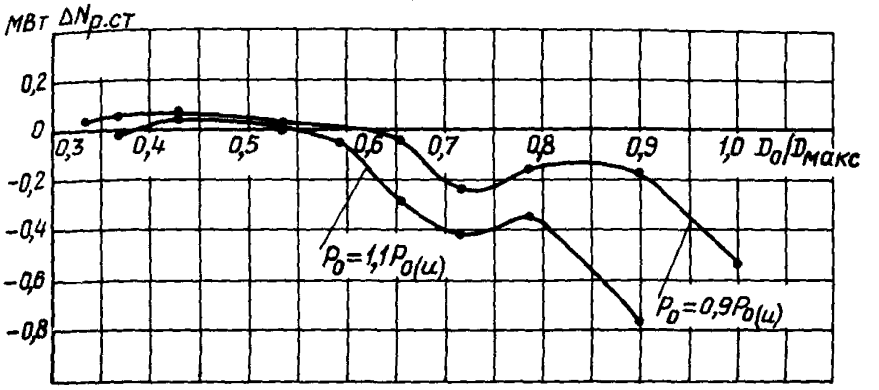
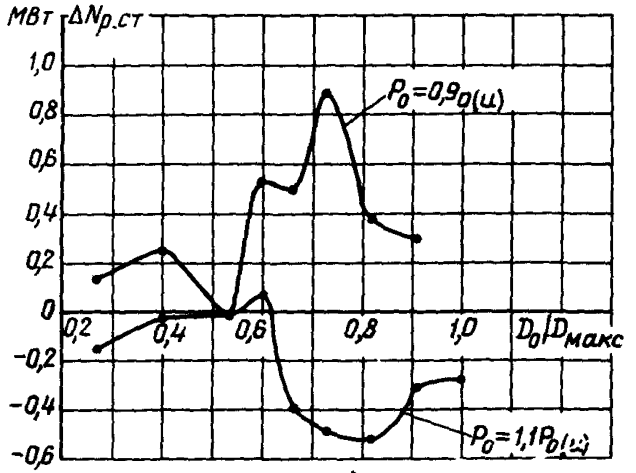
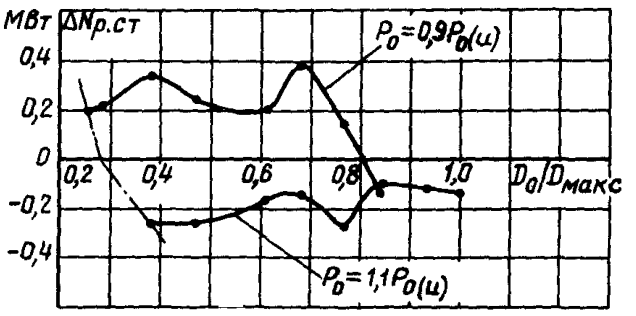


Рис.П2-7. Турбина ВПТ-25-3 ЛМЗ



а)



б)

Рис.П2-8. Турбины: *а* - Р-100-130/15 ТМЗ;
б - Р-50-130/12 ЛМЗ

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 3

I.I. К подсчету поправок к расходу тепла и свежего пара при $N_T = const$, $Q_{отб}(D_{отб}) = const$ 3

I.2. К подсчету поправок к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$, $Q_{отб}(D_{отб}) = const$ I9

I.3. К подсчету поправок к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб} = const$ 33

I.4. К определению отношений $\frac{\Delta h_{ox}}{h_{ox(и)}^{p_0^c - p_2}}$, $\frac{\Delta h_0}{h_0^{p_0^c - p_2}}$ и $\frac{\Delta \eta_{oi\,р.ст}^{p_0^c - p_2}}{\eta_{oi(и)}^{p_0^c - p_2}}$ при расчете поправок на отклонение начальных параметров пара..... 35

I.5. К определению коэффициента β по диаграмме режимов турбины 39

I.6. К определению значения $\Delta d_0^{p_0 - p_p}$ по диаграмме режимов турбины 44

I.7. К выбору начальной точки процесса расширения пара в турбине при расчете поправок на отклонение начальных параметров 47

2. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ СВЕЖЕГО ПАРА ПЕРЕД СТОПОРНЫМ КЛАПАНОМ ТУРБИНЫ ПРИ $t_0 = const$ 48

2.I. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$ 48

2.2. Поправка к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб} = const$ 66

2.3. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_т = const$ 68

3. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕЖЕГО ПАРА ПРИ $P_0 = const$ 74

3.I. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$ 74

3.2. Поправка к мощности теплофикационного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{отб} = const$ 76

3.3. Поправка к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_т = const$ 77

4. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА ПОСЛЕ ПРОМПЕРЕГРЕВА ($t_{пп} = t'_{пп} = t_{оцсд}$) 77

4.I. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$ 77

4.2. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_т = const$ 8I

5. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА (ПАРА В КОНДЕНСАТОРЕ) 82

5.I. Поправка к мощности турбоагрегата 82

5.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла на турбоагрегат при ($N_т = const$) 85

6. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ (ОХЛАЖДАЮЩЕЙ) ВОДЫ НА ВХОДЕ В КОНДЕНСАТОР 87

6.I. Поправка к мощности турбоагрегата 87

6.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла 88

7. ПОПРАВКИ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОТПУСК ТЕПЛА (ПАРА) ИЗ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ОТБОРОВ 88

7.I. Поправки к мощности турбоагрегата (при постоянном расходе свежего пара или пара на входе в отсек) 88

7.2. Поправки к расходу свежего пара 97

7.3. Поправки к расходу тепла на турбоагрегат.... I00

8. ПОПРАВКИ НА ПОДВОД ТЕПЛА (ПАРА) В СХЕМУ ТУРБОАГРЕГАТА ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА I02

8.I. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_0 = const$ I02

8.2. Поправки к расходу свежего пара на турбоагрегат I04

8.3. Поправки к расходу тепла на турбоагрегат... I05

Приложение 1. Графики средневзвешенных значений давления пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека) при давлении свежего пара $P_{0(и)}$, $I,1P_{0(и)}$, $0,9P_{0(и)}$ 107

Приложение 2. Графики поправок к мощности регулирующей ступени турбины при изменении давления свежего пара при ±10% 119

Ответственный редактор Н.А.Натансон
Литературный редактор Ф.С.Кузьминская
Технический редактор Н.Т.Леонтьева
Корректоры Л.Ф.Петрухина, В.Д.Алексеева

Л 88841 Подписано к печати 22.12.81. Формат 60x84 1/16
Печ.л. 8,0 (усл.печ.л. 7,4) Уч.-изд.л. 9,3 Тираж 800 экз.
Заказ № 456/81 Издат. № 272/81 Цена 1 руб.40 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
117292, Москва, ул.Ивана Бабушкина, д.23, корп.2

gost.e-ecolog.ru