

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

СС 34. ЗО 739



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 топливопользования МГП Соязтехэнерго

---

Составители инженеры В.С.ЦВЕТКОВ, Л.А.ГАВРИЛЕНКО

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, занимющихся составлением типовых энергетических и нормативных характеристик турбоагрегатов, а также тепловыми испытаниями турбоагрегатов.

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  $Q_3$  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)  $N_t$  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 турбин 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 $N_t=const$ , $Q_{отб}(D_{отб})=const$

Поправка к расходу тепла на выработку электроэнергии  $\Delta Q_3$  при неизменных значениях  $N_t$  и  $Q_{отб}$  численно равна изменению

общего (полного) расхода тепла на турбоагрегат  $\Delta Q_g$ :

$$\Delta Q_g = Q_g - Q_{\vartheta(i)} = Q_o - Q_{o(i)} = \Delta Q_o , \quad (I.1)$$

поскольку  $Q_g = Q_o - Q_{\text{отб}}$ ,  $Q_{\vartheta(i)} = Q_{o(i)} - Q_{\text{отб}}$ .

В формуле (I.1) 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:

$$Q_{o(i)} = Q_{\vartheta(i)} + Q_{\text{отб}(i)} = D_{o(i)} i_{o(i)} - G_{p,\beta(i)} \bar{t}_{p,\beta(i)} + D_{pp(i)} i''_{pp(i)} - D_{pp(i)} i'_{pp(i)} + G_{\text{дотб}(i)} (D_{\text{дотб}(i)}) \bar{t}_{\text{дотб}(i)} (i_{\text{дотб}(i)}) ,$$

или

$$\begin{aligned} Q_{o(i)} &= D_{o(i)} (i_{o(i)} - \bar{t}_{p,\beta(i)}) + K_{pp(i)} D_{o(i)} (i''_{pp(i)} - i'_{pp(i)}) - \\ &- G_{\text{дотб}(i)} (D_{\text{дотб}(i)}) [\bar{t}_{p,\beta(i)} - \bar{t}_{\text{дотб}(i)} (i_{\text{дотб}(i)})] = \\ &= D_{o(i)} [i_{o(i)} - \bar{t}_{p,\beta(i)} + K_{pp(i)} (i''_{pp(i)} - i'_{pp(i)})] - \\ &- G_{\text{дотб}(i)} (D_{\text{дотб}(i)}) [\bar{t}_{p,\beta(i)} - \bar{t}_{\text{дотб}(i)} (i_{\text{дотб}(i)})] . \quad (I.2) \end{aligned}$$

В дальнейшем для упрощения вывода необходимых формул без изменения физического существа результатов принимается, что

$$G_{\text{дотб}} (D_{\text{дотб}}) = 0 . \text{ Тогда } Q_{o(i)} = D_{o(i)} [i_{o(i)} - \bar{t}_{p,\beta(i)} + K_{pp(i)} (i''_{pp(i)} - i'_{pp(i)})] . \quad (I.2')$$

При изменившихся условиях, параметрах пара, но исходных значениях  $N_T$ ,  $Q_{\text{от}}$

$$Q_g = (D_{o(i)} + \Delta D_g) [(i_o - \bar{t}_{p,\beta}) + K_{pp} (i''_{pp} - i'_{pp})] . \quad (I.2)$$

В формулах (I.2), (I.2'), (I.2'') принято:

$D_o, G_{n\beta}, D_{pp}, G_{\partial\partial} (D_{\partial\partial})$  - соответственно расход свежего пара, питательной воды, пара на промперегрев, добавок в тепловую схему воды (подвод пара от постороннего источника),

$i_o, i''_{pp}, i'_{pp}, \bar{t}_{n\beta}, \bar{t}_{\partial\partial} (i_{\partial\partial})$  - соответственно энталпия свежего пара, пара после промперегрева, пара на промперегрев, питательной воды, добавка воды (подводимого в схему пара от постороннего источника);

$\Delta D_o = (D_o - D_{o(n)})$  - изменение расхода свежего пара (поправка) для сохранения исходных значений  $N_t$  и  $Q_{\text{отб}}$ ;

$K_{pp}$  - коэффициент соотношения между расходом пара на промперегрев и расходом свежего пара:

$$K_{pp(n)} = \frac{D_{pp(n)}}{D_{o(n)}}; \quad K_{pp} = \frac{D_{pp}}{(D_{o(n)} + \Delta D_o)}.$$

Подставив в формулу (I.2)

$$i_o = i_{o(n)} + \Delta i, \quad \bar{t}_{n\beta} = \bar{t}_{n\beta(n)} + \Delta \bar{t}_{n\beta},$$

$$i''_{pp} = i''_{pp(n)} + \Delta i''_{pp}, \quad i'_{pp} = i'_{pp(n)} + \Delta i'_{pp}$$

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

$$\begin{aligned} Q_o &= D_{o(n)} \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n\beta(n)}) + K_{pp} (i''_{pp(n)} - i'_{pp(n)}) \right] + \\ &+ D_{o(n)} [\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n\beta}] + K_{pp} (\Delta i''_{pp} - \Delta i'_{pp}) \Big] + \\ &+ \Delta D_o \left[ (i_o - \bar{t}_{n\beta}) + K_{pp} (i''_{pp} - i'_{pp}) \right] + \\ &+ \Delta D_o \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n\beta}) + K_{pp} (\Delta i''_{pp} - \Delta i'_{pp}) \right]. \end{aligned} \quad (I.3)$$

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

После преобразований получим

$$\begin{aligned} \Delta Q_0 = \Delta Q_3 &= D_{o(n)} \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right] + \\ &+ \Delta D_o \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right] + \\ &+ \Delta D_o \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right]. \end{aligned} \quad (I.4)$$

В долях от исходного значения расхода тепла:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta Q_0}{Q_{o(n)}} &= \frac{D_{o(n)} \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right]}{D_{o(n)} \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]} + \\ &+ \frac{\Delta D_o \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]}{D_{o(n)} \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]} + \\ &+ \frac{\Delta D_o \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right]}{D_{o(n)} \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]} = \\ &= \frac{\left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right]}{\left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]} + \\ &+ \frac{\Delta D_o}{D_{o(n)}} + \frac{\Delta D_o}{D_o} \frac{\left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn}) \right]}{\left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]}. \end{aligned} \quad (I.5)$$

$$\frac{\Delta Q_3}{Q_{3(n)}} = \frac{\Delta Q_3}{Q_{o(n)} - Q_{o\delta(n)}} = \frac{\Delta Q_3}{Q_{o(n)} \left( 1 - \frac{\sum Q_{o\delta(n)}}{Q_{o(n)}} \right)} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{[(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\beta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})]}{[(i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\beta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)})] \left( 1 - \frac{Q_{\sigma\tau\delta(n)}}{Q_{o(n)}} \right)} + \\
 &+ \frac{\Delta D_o}{D_{o(n)} \left( 1 - \frac{\sum Q_{\sigma\tau\delta(n)}}{Q_{o(n)}} \right)} + \\
 &+ \frac{\Delta D_o [(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\beta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})]}{D_o \left( 1 - \frac{Q_{\sigma\tau\delta(n)}}{Q_{o(n)}} \right) [(i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\beta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)})]} . \quad (I.5')
 \end{aligned}$$

Обозначив:

$$\frac{(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\beta}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})}{(i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\beta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)})} = \alpha_{\Delta i} ;$$

$$\frac{\Delta D_o}{D_{o(n)}} = \alpha_{\Delta D_o} , \text{ получим:}$$

$$\frac{\Delta Q_o}{Q_{o(n)}} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_o} + \alpha_{\Delta D_o} \alpha_{\Delta i}) ; \quad (I.5'')$$

$$\frac{\Delta Q_g}{Q_{g(n)}} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_o} + \alpha_{\Delta D_o} \alpha_{\Delta i}) \frac{1}{\left( 1 - \frac{\sum Q_{\sigma\tau\delta(n)}}{Q_{o(n)}} \right)} . \quad (I.5'')$$

Таким образом, при неизменных  $N_t$  и  $Q_{\sigma\tau\delta(n)}$  поправка к расходу тепла определяется изменениями значений как энтальпии пара, воды, так и расхода свежего пара на турбоагрегат.

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

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

$$-\Delta D_o = \Delta d_o \sum \Delta N_T , \quad (I.6)$$

где  $\Delta d_o$  - в общем виде коэффициент, характеризующий связь изменений расхода свежего пара и мощности турбоагрегата или относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности турбоагрегата  $\text{kT}/(\text{kBt}\cdot\text{ч})$ ;  $T/(\text{MВт}\cdot\text{ч})$  зависимости  $D_o = f(N_T)$ .

Сущность методики определения значения  $\Delta D_o$  понятна из рассмотрения рис. I, на котором изображены спрямленные участки зависимости общего вида  $D_o = f(N_T, Q_{\text{отб}})$ , представленные как  $D_o = D_{xx} + \Delta d_o N_T + K Q_{\text{отб}}$  при условии  $Q_{\text{отб}} = \text{const}$ . Зависимость I соответствует исходным условиям работы турбоагрегата и исходным (номинальным) параметрам пара. Изменившиеся условия работы, параметры пара при неизменных произвольно выбранных значениях  $D_{o1}$ ,  $D_{o2}$ ,  $D_{o3}$  и т.д. вызвали, например, увеличение мощности соответственно на  $\sum \Delta N_{T1}$ ,  $\sum \Delta N_{T2}$ ,  $\sum \Delta N_{T3}$ . Новые значения мощности (при неизменных  $D_o$  и  $Q_{\text{отб}}$ ) будут составлять  $N_{T1} + \sum \Delta N_{T1}$ ,  $N_{T2} + \sum \Delta N_{T2}$ ,  $N_{T3} + \sum \Delta N_{T3}$  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  $D_o$ , 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  $\Delta D_o$ .

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

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

а  $\Delta B = \Sigma \Delta N$ , то

$$\Delta D_o = \Delta d_o \Sigma \Delta N,$$

где  $\Delta d_o$  – относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности при изменившихся условиях работы, параметрах пара (присущий зависимости 2).

В рассмотренном случае

$$\begin{aligned} \Delta d_o &= \frac{D_{o3} - D_{o2}}{(N_{T3} + \Sigma \Delta N_{T3}) - (N_{T2} + \Sigma \Delta N_{T2})} = \\ &= \frac{D_{o3} - D_{o2}}{(N_{T3} - N_{T2}) \left( 1 + \frac{\Sigma \Delta N_{T3} - \Sigma \Delta N_{T2}}{N_{T3} - N_{T2}} \right)} = \\ &= \Delta d_{o(\text{и})} \frac{1}{\left( 1 + \frac{\Sigma \Delta N_{T3} - \Sigma \Delta N_{T2}}{N_{T3} - N_{T2}} \right)}, \end{aligned}$$

где  $\Delta d_{o(\text{и})} = \frac{D_{o3} - D_{o2}}{N_{T3} - N_{T2}}$  – относительный прирост расхода свежего пара на единицу мощности по исходной зависимости  $D_o = f(N_T)$  (зависимость I).

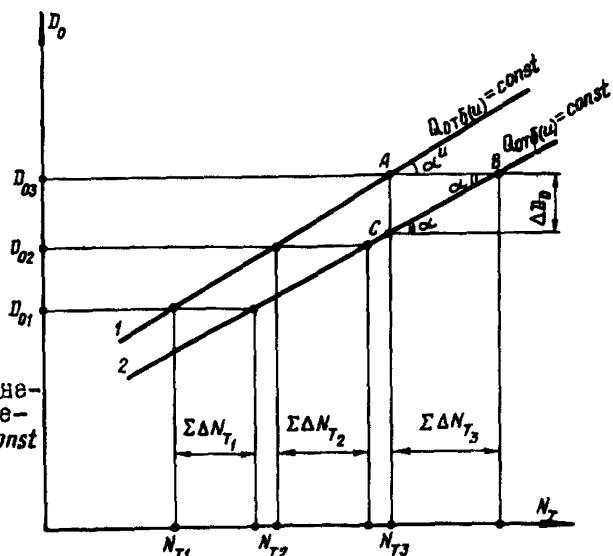


Рис. I. Определение изменения значения расхода свежего пара  $\Delta D_o$  при  $N_T = \text{const}$

В общем виде

$$\Delta d_o = \Delta d_{o(n)} \frac{1}{\left(1 + \frac{\sum \Delta N_{T_2} - \sum \Delta N_{T_1}}{N_{T_2} - N_{T_1}}\right)}, \quad (I.7)$$

где  $N_{T_2} > N_{T_1}$ .

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

В частных случаях, когда  $\sum \Delta N_{T_2} = \sum \Delta N_{T_1}$ , то

$$\Delta d_{o(n)} = \Delta d_o ;$$

если  $\sum \Delta N_{T_2} = \sum \alpha_2 N_T$  и  $\sum \Delta N_T = \sum \alpha_1 N_T$ , а

$$\sum \alpha_2 = \sum \alpha_1 = \sum \alpha, \text{ то } \Delta d_o = \Delta d_{o(n)} \frac{1}{(1 + \sum \alpha)}. \quad (I.7)$$

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

Приведенные выше указания по определению значения  $\Delta D_o$  в равной степени распространяются как на конденсационные, так и на теплоизационные турбоагрегаты.

Ниже рассматривается физическое содержание относительного прироста расхода свежего пара.

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

$$N_{T(n)} = D_{o(n)} h_{o(n)}^{P_o - P_2} \eta_{o(n)}^{P_o - P_2} \left( 1 - \frac{\sum (D_{peez(n)} h_{ipeez(n)})^{P_{отб} - P_2}}{D_{o(n)} h_{o(n)}^{P_o - P_2} \eta_{o(n)}^{P_o - P_2}} \right) \frac{1}{860} - \sum \Delta N_{T(n)}^{pot}. \quad (I.8)$$

При новом значении расхода свежего пара ( $D_{o(n)} + \Delta D_o$ ) мощность турбоагрегата составит:

$$(N_{T(n)} + \Delta N_T) = (D_{o(n)} + \Delta D_o) h_{o(n)}^{P_o - P_2} (\eta_{oi(n)}^{P_o - P_2} + \Delta \eta_{oi}^{P_o - P_2}) \times \\ \times \left[ 1 - \frac{\sum [(D_{pez(n)} + \Delta D_{pez})(h_i^{P_{pez}} + \Delta h_i^{P_{pez}})]}{(D_{o(n)} + \Delta D_o) h_{o(n)}^{P_o - P_2} (\eta_{oi(n)}^{P_o - P_2} + \Delta \eta_{oi}^{P_o - P_2})} \right] \frac{1}{860} - \\ - (\Delta \Sigma \Delta N_{Tn}^{pot} + \delta \Sigma \Delta N_{Tn}^{pot}) \quad (I.8)$$

В выражениях (I.8) и (I.8) принято:

$h_{o(n)}^{P_o - P_2}$  – располагаемый теплоперепад на турбину в целом от состояния пара перед стопорным клапаном до давления в конденсаторе  $P_2$ ;

$\eta_{oi(n)}^{P_o - P_2}$  – внутренний относительный КПД турбины в целом при исходном значении  $D_{o(n)}$ ;

$\Delta \eta_{oi}^{P_o - P_2}$  – изменение внутреннего относительного КПД турбины в целом при переходе с  $D_{o(n)}$  на  $(D_{o(n)} + \Delta D_o)$ ;

$D_{pez(n)}, (D_{pez(n)} + \Delta D_{pez})$  – расход пара в регенеративный отбор соответственно при исходном значении  $D_{o(n)}$  и новом  $(D_{o(n)} + \Delta D_o)$ ;

$h_i^{P_{pez}} (h_i^{P_{pez(n)}} + \Delta h_i^{P_{pez}})$  – использованные теплоперепады отсека пропарочной части турбины от точки отбора пара на регенерацию до последней ступени исключительно (до давления пара в конденсаторе), соответственно при исходном значении  $D_{o(n)}$  и новом  $(D_{o(n)} + \Delta D_o)$ ;

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

Обозначим  $(1 - K_{pez(n)}^N) = \left( 1 - \frac{\sum (D_{pez(n)} h_i^{P_{pez(n)}})}{(D_{o(n)} + \Delta D_o) h_{o(n)}^{P_o - P_2} \eta_{oi(n)}^{P_o - P_2}} \right)$ ;

$$(1 - K_{pez}^N) = \left[ 1 - \frac{\sum [(D_{pez(n)} + \Delta D_{pez})(h_i^{P_{pez(n)}} + \Delta h_i^{P_{pez}})]}{(D_{o(n)} + \Delta D_o) h_{o(n)}^{P_o - P_2} (\eta_{oi(n)}^{P_o - P_2} + \Delta \eta_{oi}^{P_o - P_2})} \right]$$

и приняв (с достаточной точностью в конечных результатах)

$$K_{\text{рег}(и)}^N = K_{\text{рег}}^N, \quad \text{после алгебраических преобразований получим:}$$

$$\Delta N_T = (N_{T(i)} + \Delta N_T) - N_{T(i)} = \Delta D_o h_{o(i)}^{P_0 - P_2} \eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2} (1 - K_{\text{рег}(i)}^N) \frac{1}{860} \times \\ \times \left[ \frac{\Delta \eta_{oi}^{P_0 - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2}} \left( \frac{D_{o(i)}}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right] \left( 1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}}{\Delta N_i} \right), \quad (I.9)$$

$$\text{а } \Delta d_o = \frac{\Delta D_o}{\Delta N_T} = \frac{860}{h_{o(i)}^{P_0 - P_2} \eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2} (1 - K_{\text{рег}}^N) \left[ \frac{\Delta \eta_{oi}^{P_0 - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2}} \left( \frac{D_{o(i)}}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right] \left( 1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}}{\Delta N_i} \right)} \quad (I.10)$$

где  $\frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}}{\Delta N_i}$  — относительный прирост суммарных потерь мощности (механических и электрических) на единицу изменения внутренней мощности ( $N_i$ ) турбоагрегата.

Как видно из выражения (I.10), относительный прирост расхода свежего пара  $\Delta d_o$  зависит в основном от расположенного теплоперепада на турбину  $h_{o(i)}^{P_0 - P_2}$  (от начальных параметров свежего пара до давления пара в конденсаторе), уровня внутреннего относительного КПД турбины  $\eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2}$ , а также от влияния изменения внутреннего относительного КПД турбины на ее мощность при изменении расхода свежего пара

$$\left[ \frac{\Delta \eta_{oi}^{P_0 - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2}} \left( \frac{D_{o(i)}}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right]$$

Обозначив сомножитель

$$\left[ \frac{\Delta \eta_{oi}^{P_0 - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_0 - P_2}} \left( \frac{D_{o(i)}}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right] = A,$$

получим:  $\Delta d_o = \frac{860}{h_{o(i)}^{P_o - P_2} \eta_{oi(i)}^{P_o - P_2} (1 - K_{per}^N) A \left( 1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{tot}}{\Delta N_i} \right)} \quad (I.IO)$

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 энталпии отбираемого пара. В этом случае сомножитель  $A$  в выражении (I.IO) может быть представлен как

$$A = \left[ \frac{\Delta \eta_{oi}^{P_o - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_o - P_2}} \left( \frac{D_{o(i)}}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 - \frac{D_{otb(i)} h_{i(i)}^{P_{otb} - P_2} \Delta i_{otb} K_1}{\Delta D_o h_{i(i)}^{P_o - P_2} (i_{otb(i)} - t_{bozb(i)}) (1 - K_{per(i)}^N)} \right],$$

где  $D_{otb(i)}$  - количество отбираемого пара (при исходных условиях);

$\Delta i_{otb}$  - изменение энталпии отбираемого пара;

$i_{otb(i)}$ ,  $t_{bozb(i)}$  - энталпии 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  $\Delta h_i$ . Например, для конденсационной турбины эта поправка может быть выражена в виде

$$\Delta N_T = \frac{D_{o(i)} \Delta h_i - [\sum (D_{per} h_i^{P_{otb} - P_2}) - \sum (D_{per(i)} h_i^{P_{otb} - P_2})]}{860} \left( 1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{tot}}{\Delta N_i} \right)$$

или, поскольку суммы произведений  $\sum (D_{per} h_i^{P_{otb} - P_2})$  и

$\sum (D_{per(i)} h_i^{P_{otb} - P_2})$ , как показывают расчеты, практически равны

$$\Delta N_T = \frac{D_{o(i)} \Delta h_i}{860} \left( 1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{TA}^{tot}}{\Delta N_i} \right), \quad (I.II)$$

где  $\sum(D_{perg(i)} h_i^{P_{otb}-P_2})$ ,  $\sum(D_{perg} h_i^{P_{otb}-P_2})$  - 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

$$\Delta D_o = \Delta d_o \Delta N_T = \frac{860 D_{o(i)} \Delta h_i \left(1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{pot}}{\Delta N_i}\right)}{h_{o(i)}^{P_0-P_2} h_{i(i)}^{P_0-P_2} (1 - K_{perg(i)}^N) A \left(1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{pot}}{\Delta N_i}\right) 860} = \frac{D_{o(i)} \Delta h_i}{h_{i(i)}^{P_0-P_2} (1 - K_{perg(i)}^N) A} \quad (I.II)$$

Как видно из выражения (I.II), в рассмотренном случае поправка  $\Delta D_o$  пропорциональна отношению изменения использованного теплоперепада к использованному теплоперепаду на турбину в целом (при исходных параметрах пара перед турбиной) и обратно пропорциональна сомножителям  $(1 - K_{perg(i)}^N)$  и  $A$ .

При дополнительном отпуске тепла (пара) от турбины или подводе его в тепловую схему турбоагрегата поправка к мощности турбины (при  $D_o = const$ ) 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

$$\Delta N_i = \frac{\Delta D_{otc} h_i^{P_{otb}-P_2} K_1}{860},$$

а к мощности турбоагрегата -

$$\Delta N_T = \frac{\Delta D_{otc} h_i^{P_{otb}-P_2} K_1}{860} \left(1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{pot}}{\Delta N_i}\right),$$

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

$h_i^{P_{\text{отб}}-P_2}$  – 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 ценности турбосагрегата в данном случае составит:

$$\Delta D_o = \Delta d_o \Delta N_t = \frac{860 \Delta D_{\text{отб}} h_i^{P_{\text{отб}}-P_2} K_1 \left( 1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{ta}}{\Delta N_i} \right)}{h_{o(i)}^{P_o-P_2} \eta_{oi(i)} (1 - K_{pez}^N) A \left( 1 - \frac{\delta \Sigma \Delta N_{\text{пот}}}{\Delta N_i} \right) 860} = \\ = \Delta D_{\text{отб}} \frac{h_i^{P_{\text{отб}}-P_2} K_1}{h_{o(i)}^{P_o-P_2} \eta_{oi(i)} (1 - K_{pez}^N) A} \quad (I.12)$$

или

$$\Delta D_o = \Delta D_{\text{отб}} \frac{h_i^{P_{\text{отб}}-P_2} K_1}{h_{i(i)}^{P_i-P_2} (1 - K_{pez}^N) A}, \quad (I.12')$$

где  $h_{i(i)}^{P_i-P_2}$  – использованный теплоперепад на турбину в целом при исходных значениях  $\eta_{oi(i)}$ .

Как видно из выражения (I.12'), в рассмотренном случае при дополнительном отпуске тепла (пара) от турбины поправка к расходу свежего пара (для сохранения исходного значения  $N_t$ ) определяется как количеством дополнительного отпущеного 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, та же степень определению поправки с помощью "коэффициентов ценности отбираемого пара (пара)".

На практике в ряде случаев значение  $\Delta D_o$  для конденсационных, теплоизационных турбин, а также турбин с противодавле-

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

$$\frac{\Delta D_o}{D_{xx} + \Delta d_o N_T} = \frac{\sum \Delta N_T}{N_T} \quad \text{и} \quad \Delta D_o = D_{xx} \frac{\sum \Delta N_T}{N_T} + \Delta d_o \sum \Delta N_T.$$

Однако, как было показано ранее, истинное значение  $\Delta D_o = \Delta d_o \sum \Delta N_T$ .

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

При определении значения  $\Delta D_o$  для сохранения исходных значений  $N_T$  и  $Q_{\text{отб}} (D_{\text{отб}})$  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 отбиаемого пара (тепла), представляющий в общем виде отношение соответственно

$$\frac{\Delta D_o}{\Delta D_{\text{отб}}} = \xi \quad \text{и} \quad \frac{\Delta Q_o}{\Delta Q_{\text{отб}}} = \xi'$$

$$\text{или} \quad \Delta D_o = \xi \Delta D_{\text{отб}}, \quad \Delta Q_o = \xi' \Delta Q_{\text{отб}}.$$

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

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

$$N_{T(n)} = \frac{D_{o(n)} h_{i(n)}^{P_o - P_2} \left( 1 - \frac{\sum D_{\text{перег}} h_i^{P_{\text{отб}} - P_2}}{D_{o(n)} h_{i(n)}^{P_o - P_2}} \right)}{860} - \sum \Delta N_{Tn}^{\text{пот}}$$

или

$$N_{T(n)} = \frac{D_{o(n)} h_i^{\rho_o - \rho_2} (1 - K_{perg(n)}^N)}{860} - \sum \Delta N_{TA}^{pot}. \quad (I.I3)$$

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

$$N_T = N_{T(n)} = \frac{(D_{o(n)} + \Delta D_o) (h_i^{\rho_o - \rho_2} + \Delta h_i^{\rho_o - \rho_2})}{860} \left[ 1 - \frac{(\sum D_{perg} + \Delta D_{perg}) (h_L^{\rho_{otb} - \rho_2} + \Delta h_L^{\rho_{otb} - \rho_2})}{(D_o + \Delta D_o) (h_i^{\rho_o - \rho_2} + \Delta h_i^{\rho_o - \rho_2})} \right] - \frac{\Delta D_{otb} h_i^{\rho_{otb} - \rho_2} K_1}{860} - \sum \Delta N_{TA}^{pot}$$

или

$$N_T = N_{T(n)} = \frac{(D_{o(n)} + \Delta D_o) (h_L^{\rho_o - \rho_2} + \Delta h_L^{\rho_o - \rho_2}) (1 - K_{perg}^N)}{860} - \frac{D_{otb} h_i^{\rho_{otb} - \rho_2} K_1}{860} - \sum \Delta N_{TA}^{pot}. \quad (I.I3')$$

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

$$\frac{\Delta D_o}{\Delta D_{otb}} = \frac{h_i^{\rho_{otb} - \rho_2} K_1}{h_i^{\rho_o - \rho_2} (1 - K_{perg}^N) \left[ \frac{\Delta h_i^{\rho_o - \rho_2}}{h_i^{\rho_o - \rho_2}} \left( \frac{D_{o(n)} + 1}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right]} = \xi, \quad (I.I4)$$

или

$$\frac{\Delta D_o}{\Delta D_{otb}} = \frac{h_i^{\rho_{otb} - \rho_2} K_1}{h_i^{\rho_o - \rho_2} \eta_{oi(n)}^{\rho_o - \rho_2} (1 - K_{perg}^N) \left[ \frac{\Delta \eta_{oi}}{\eta_{oi}^{\rho_o - \rho_2}} \left( \frac{D_{o(n)} + 1}{\Delta D_o} + 1 \right) + 1 \right]} = \xi, \quad (I.I4')$$

или

$$\frac{\Delta D_o}{\Delta D_{отб}} = \frac{h_i^{\rho_{отб}-\rho_2} K_1}{h_{i(n)}^{\rho_o-\rho_2} (1-K_{пер}^N) A} = \xi . \quad (I.14'')$$

Как видно из выражений (I.14') и (I.14''), значение "коэффициента ценности отбираемого пара (тепла)" зависит в основном от

отношения  $\frac{h_i^{\rho_{отб}-\rho_2} K_1}{h_{i(n)}^{\rho_o-\rho_2} (1-K_{пер}^N)}$  или  $\frac{h_i^{\rho_{отб}-\rho_2} K_1}{h_{o(n)}^{\rho_o-\rho_2} (1-K_{пер}^N)}$

при заданном значении  $D_o$ , а также от изменения  $\Delta h_i^{\rho_o-\rho_2}$  ( $\Delta \eta_{oi}$ ) при переходе с  $D_o$  на  $D_o + \Delta D_o$ .

При сопоставлении формулы (I.12') для подсчета значения  $\Delta D_o$  через  $\Delta d_o$  ( $\Delta D_o = \Delta d_o \Delta N_T$ ) для случая дополнительного отпуска пара (тепла) от турбины с выражением (I.14'') видна их полная идентичность.

Однако в существующих в настоящее время методах определения "коэффициентов ценности отбираемого пара (тепла)" для практических расчетов величиной  $\Delta h_i^{\rho_o-\rho_2} (\Delta \eta_{oi})$  пренебрегают. Такое допущение может быть оправдано (не приведет к существенным неточностям в конечном результате) при относительно небольших значениях  $\Delta D_o$  и пологом протекании зависимости  $\eta_{oi}^{\rho_o-\rho_2} = f(D_o)$ .

Оценить заранее влияние этих факторов на конечный результат не всегда представляется возможным. Поэтому в рассмотренном случае (при дополнительном отпуске (подводе) пара, тепла) определение поправки  $\Delta D_o$  через относительный прирост  $\Delta d_o$  предпочтительнее, так как более полно учитывает влияние необходимых эксторов без предварительного их анализа.

"Коэффициент ценности отбираемого пара (тепла)" в частном случае, когда изменениями значения  $[(i_o - \bar{i}_{п.в}) + K_{пп}(i''_{пп} - i'_{пп})]$  пренебрегают, может быть определен как

$$\xi' = \frac{\Delta Q_o}{\Delta Q_{отб}} = \xi \frac{[(i_o - \bar{i}_{п.в}) + K_{пп}(i''_{пп} - i'_{пп})]}{(i_{отб} - \bar{i}_{базир})} .$$

Подставляя в формулу (I.4)  $\Delta D_o = \Delta d_o \sum \Delta N_T$ , получим в общем виде:

$$\begin{aligned} \Delta Q_3 &= D_{o(u)} [(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,b}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})] + \\ &+ \Delta d_o \sum \Delta N_T [(\iota_{o(u)} - \bar{t}_{n,b(u)}) + K_{nn} (\iota''_{nn(u)} - \iota'_{nn(u)})] + \\ &+ \Delta d_o \sum \Delta N_T [(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,b}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})], \end{aligned} \quad (I.15)$$

или, принимая для упрощения  $\Delta d_o \approx \Delta d_{o(u)}$ ,

$$\begin{aligned} \Delta Q_3 (\Delta Q_o) &= D_{o(u)} [(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,b}) + K_{nn} (\Delta i''_{nn} - \Delta i'_{nn})] + \\ &+ \Delta q_{o(u)} \sum \Delta N_T + \Delta q_{o(u)} \sum \Delta N_T. \end{aligned} \quad (I.15')$$

В частном случае, когда энталпия свежего пара и пара после промперегрева, а также зависимости  $i'_{nn} = f(D_o)$  и  $\bar{t}_{n,b} = f(D_o)$  не изменяются или сохраняется равенство  $\Delta i_o = \Delta \bar{t}_{n,b}$  и  $\Delta i''_{nn} = \Delta i'_{nn}$ ,

$$\Delta Q_3 (\Delta Q_o) = \Delta q_{o(u)} \sum \Delta N_T. \quad (I.15'')$$

При подсчете поправок к расходу свежего пара  $\Delta D_o$  и тепла  $\Delta Q_o$  ( $\Delta Q_3$ ) по заданным  $\sum \Delta N_T$ ,  $\Delta d_o$ ,  $\Delta q_o$  обращает на себя внимание то, что значение  $\Delta D_o$  во всех случаях изменило условий работы, параметров пара может подсчитываться как  $\Delta D_o = \Delta d_o \sum \Delta N_T$ . В то же время поправка к расходу тепла по аналогичного вида формуле  $\Delta Q_3 (\Delta Q_o) = \Delta q_o \sum \Delta N_T$  может определяться только в частном случае, о котором было сказано выше.

Во всех других случаях необходимо учитывать влияние на расход тепла также изменения соответствующих энталпий пары (воды), т.е. поправку к расходу тепла в абсолютных значениях следует определять по формулам (I.4) или (I.15'), а в относительных единицах – по формулам (I.5)–(I.5'').

## I.2. К подсчету поправок к мощности турбоагрегата при $D_o = \text{const}$ , $Q_{gr\bar{b}} (D_{gr\bar{b}}) = \text{const}$

Суммарная поправка к мощности турбоагрегата в общем виде может содержать отдельные поправки, отражающие изменения используемых 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

$$\Sigma \Delta N_T = \sum \Delta N_T^{P_a} + \sum \Delta N_T^{\Delta h_i}$$

или в соответствии со сложившейся практикой в более развернутой форме

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta N_T = & \Delta N_T^{P_a} + \Delta N_T^{t_a} + \Delta N_T^{t_{nn}} + \Delta N_T^{P_n} + \Delta N_T^{P_t} + \Delta N_T^{P_2} + \Delta N_T^{\Delta \eta_{n\beta}} + \Delta N_T^{\Delta t_{n\beta}} + \\ & + \Delta N_T^{\Delta t_{nk}} + \Delta N_T^{\Delta \eta_{\sigma T\bar{\delta}}} + \Delta N_T^{\Delta \eta_{\sigma Tc}} + \Delta N_T^{\Delta h_i} + \Delta N_T^{\Delta h_{bc}}, \end{aligned}$$

где  $\Delta N_T^{P_a}, \Delta N_T^{t_a}, \Delta N_T^{t_{nn}}, \Delta N_T^{P_n}, \Delta N_T^{P_t}, \Delta N_T^{P_2}$  - поправки на отклонение соответственно давления и температуры свежего пара, температуры пара после промперегрева, давления в регулируемых производственном и теплофикационном отборах и давления отработавшего пара;

$\Delta N_T^{\Delta \eta_{n\beta}}, \Delta N_T^{\Delta t_{n\beta}}, \Delta N_T^{\Delta t_{nk}}$  - поправки на отклонение соответственно расхода и нагрева в ПВД питательной воды и нагрева в ПНД основного конденсата;

$\Delta N_T^{\Delta \eta_{\sigma T\bar{\delta}}}$  - поправка на дополнительный отбор пара от турбины или прием пара (тепла) от постороннего источника;

$\Delta N_T^{\Delta \eta_{\sigma Tc}}, \Delta N_T^{\Delta h_i}$  - 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;

$\Delta N_T^{\Delta h_{bc}}$  - 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 ( $\Delta N_T^{\text{п}} \cdot \rho_2$ ) и в некоторых случаях на отклонение давления пара в регулируемых отборах ( $\Delta N_T^{\text{р}} \cdot \rho_2$ ,  $\Delta N_T^{\text{п}}$ ).

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  $\Delta N_i^{\text{п}}$ , переход к поправке к мощности турбоагрегата  $\Delta N_T^{\text{п}}$  осуществляется по формуле

$$\Delta N_T = \Delta N_i^{\text{п}} - \delta \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}} \quad \text{или} \quad \Delta N_T = \Delta N_i^{\text{п}} \left( 1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}}}{\Delta N_i^{\text{п}}} \right). \quad (\text{I.16})$$

В практических расчетах поправок с достаточной точностью можно принять  $\frac{\delta \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}}}{\Delta N_i^{\text{п}}} = 0,01$  для всего диапазона нагрузок. В этом случае

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

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

$$N_{T(i)} = \frac{D_{0(i)} h_i^{\rho_0 - \rho_2} - \sum (D_{\text{пер}(i)} h_i^{\rho_{\text{отб}} - \rho_2})}{860} - \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}};$$

при изменившихся параметрах пара

$$N_T = \frac{D_{0(i)} (h_i^{\rho_0 - \rho_2} + \Delta h_i) - \sum (D_{\text{пер}(i)} h_i^{\rho_{\text{отб}} - \rho_2})}{860} - (\sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}} + \delta \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}}).$$

Изменение мощности турбоагрегата (поправка к мощности) составит

$$\Delta N_T = N_T - N_{T(i)} = \frac{D_{0(i)} \Delta h_i - [\sum (D_{\text{пер}(i)} h_i^{\rho_{\text{отб}} - \rho_2}) - \sum (D_{\text{пер}(i)} h_i^{\rho_0 - \rho_2})]}{860} - \delta \sum \Delta N_{T\text{A}}^{\text{п}}.$$

$$\text{или } \Delta N_T = \frac{[D_{o(i)} \Delta h_i - (\sum (D_{per} h_i^{P_{отб}-P_2}) - \sum (D_{per(i)} h_{i(i)}^{P_{отб}-P_2}))]}{860} \left( 1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{pot}}{\Delta N_i} \right),$$

где

$\Delta h_i$  - изменение использованного теплоперепада на турбину (от состояния пара перед турбиной до давления пара в конденсаторе);

$\sum (D_{per} h_i^{P_{отб}-P_2}), \sum (D_{per(i)} h_{i(i)}^{P_{отб}-P_2})$  - 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  $D_{per} h_i^{P_{отб}-P_2}$  и, следовательно, сумма этих сомножителей изменяются весьма несущественно, поскольку отклонение энталпии пара в точках отборов в общем приводит к противоположным изменениям значений  $D_{per}$  и  $h_i^{P_{отб}-P_2}$  практически в одинаковом размере. Например, при отклонении температур свежего пара на 20°C (для конденсационной турбины без промперегрева) разница

$$[\sum (D_{per} h_i^{P_{отб}-P_2}) - \sum (D_{per(i)} h_{i(i)}^{P_{отб}-P_2})]$$

составляет 0,2-0,3%  $\sum (D_{per(i)} h_{i(i)}^{P_{отб}-P_2})$ . Если не учитывать этого значения неточность в конечном результате будет не более 0,03-0,04%. Поэтому в дальнейших расчетах целесообразно принять

$$\sum (D_{per} h_i^{P_{отб}-P_2}) = \sum (D_{per(i)} h_{i(i)}^{P_{отб}-P_2}).$$

В этом случае

$$\Delta N_T = \frac{D_{o(i)} \Delta h_i}{860} \left( 1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{pot}}{\Delta N_i} \right)$$

или

$$\Delta N_T = \frac{D_o \Delta h_i}{860} 0,99. \quad (I.I7)$$

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

$$\frac{\Delta N_T}{N_{T(n)}} = \frac{D_{o(n)} \Delta h_i^{\rho_0-\rho_2} 0,99 \cdot 860}{N_{T(n)} 860 D_{o(n)} h_i^{\rho_0-\rho_2} (1-K_{reg}^N) \eta_{\text{ЭМ}}} = \frac{\Delta h_i^{\rho_0-\rho_2} 0,99}{h_i^{\rho_0-\rho_2} (1-K_{reg}^N) \eta_{\text{ЭМ}}}, \quad (\text{I.I7}')$$

а при постоянстве внутреннего относительного КПД турбины -

$$\frac{\Delta N_T}{N_{T(n)}} = \frac{\Delta h_a^{\rho_0-\rho_2} 0,99}{h_a^{\rho_0-\rho_2} (1-K_{reg}^N) \eta_{\text{ЭМ}}}. \quad (\text{I.I7}'')$$

Как показывают расчеты, выражение  $(1 - K_{reg}^N)$  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 НВД), а конструктивные особенности турбины влияют на это значение несущественно.

Для турбин с противодавлением выражение  $(1 - K_{reg}^N)$  связано в определенной степени также и со значением противодавления.

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

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

$$N_{T(n)} = \frac{D_{o(n)} h_i^{\rho_0-\rho_2} - \sum (D_{reg(n)} h_i^{\rho_{reg}-\rho_2}) - \sum (D_{otb(n)} h_i^{\rho_{otb}-\rho_2}) K_I - \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}}{860},$$

где  $h_i^{\rho_{reg}-\rho_2}$  - использованный теплоперепад от параметров регулируемого отбора до параметров за последней ступенью турбины (в конденсаторе),

а при изменяющихся параметрах пара

$$N_t = \frac{D_{o(u)}(h_{i(u)}^{P_o-P_2} + \Delta h_i^{P_o-P_2}) - \sum(D_{pez} h_i^{P_{ot\bar{o}}-P_2}) - \sum(D_{ot\delta(u)} h_i^{P_p-P_2}) K_1}{860} -$$

$$- (\sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}} + \delta \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}).$$

Изменение мощности турбоагрегата (поправка) при условии, что

$$D_{ot\bar{o}} = \text{const}, K_1' = K_1; \sum(D_{pez} h_i^{P_{ot\bar{o}}-P_2}) = \sum(D_{pez(u)} h_{i(u)}^{P_{ot\bar{o}}-P_2}), \left(1 - \frac{\delta \sum \Delta N_{TA}^{\text{пот}}}{\Delta N_{TA}^{\text{пот}}}\right) = 0,99 \text{ и}$$

$$h_i^{P_p-P_2} = h_{i(u)}^{P_p-P_2} + \Delta h_i^{P_p-P_2}, \text{ составит}$$

$$\Delta N_t = N_t - N_{t(u)} - \frac{[D_{o(u)} \Delta h_i^{P_o-P_2} - \sum(D_{ot\bar{o}(u)} \Delta h_i^{P_p-P_2}) K_1]}{860} 0,99$$

$$\text{или } \Delta N_t = D_{o(u)} \Delta h_i^{P_o-P_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{ot\bar{o}} \Delta h_i^{P_p-P_2} K_1}{D_o \Delta h_i^{P_o-P_2}} \right) \right] \frac{0,99}{860}. \quad (I.18)$$

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

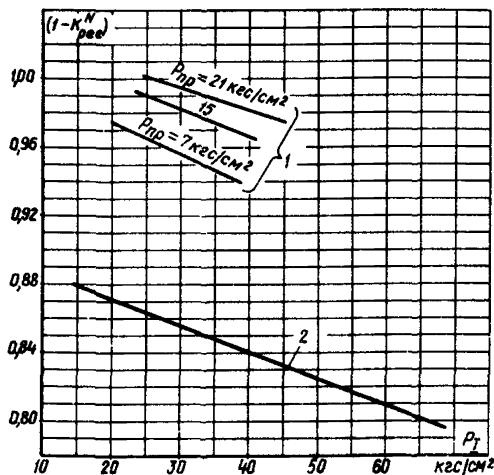


Рис.2. Зависимость выражения  $(1 - K_{pez}^N)$  от давления пара в верхнем (I) регенеративном отборе  $P_1$ :

I - в режиме противодавления;  
2 - в конденсационном режиме

лируемого отбора должен измениться на значение

$$\Delta D_{\text{отб}} = \frac{\Delta i_{\text{отб}}}{(i_{\text{отб}} - t_{\text{возд}})} D_{\text{отб}}.$$

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

$$\Delta N_T = \left[ D_{o(u)} \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}} \left[ \sum \left[ (D_{\text{отб}(u)} + \Delta D_{\text{отб}}) (h_{i(u)}^{\frac{P_0-P_2}{K_1}} + \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}) K_1 \right] - \sum (D_{\text{отб}(u)}, h_{i(u)}^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}) \right] \right] \frac{0.99}{860}.$$

Используя соответствующие алгебраические преобразования и с учетом, что значение произведения величин  $\Delta D \cdot \Delta h_i \cdot K$  пренебрежимо мало, получим:

$$\Delta N_T = D_{o(u)} \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}(u)} \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}} K_1}{D_{o(u)} \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}} \right) \right] \frac{0.99}{860} - \sum (\Delta D_{\text{отб}} \Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}) \frac{0.99}{860}. \quad (I.18)$$

Для турбин с регулируемыми отборами пара в производственных и тепловых формулах под изменением использованного теплоперепада на турбину в целом ( $\Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}$ ) подразумевается сумма изменений использованных теплоперепадов отсеков (частей) проточной части турбины, на которые условно разделена вся проточная часть турбины. Количество отсеков (частей) определяется как  $n + I$ , где  $n$  – число регулируемых отборов пара. Под изменением теплоперепада от точки регулируемого отбора до последней ступени турбины ( $\Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}}$ ) подразумевается сумма изменений использованных теплоперепадов отсеков (частей), расположенных за рассматриваемым регулируемым отбором пара.

Например, для турбины с регулируемыми производственным и теплотехническим отборами пара

$$\Delta h_i^{\frac{P_0-P_2}{K_1}} = \Delta h_{i \text{ ЧАЛ}} + \Delta h_{i \text{ ЧСД}} + \Delta h_{i \text{ ЧНД}};$$

для производственного отбора пара

$$\Delta h_i^{\rho_p - \rho_2} = \Delta h_{i \text{ ЧСД}} + \Delta h_{i \text{ ЧНД}};$$

для теплофикационного отбора

$$\Delta h_i^{\rho_p - \rho_2} = \Delta h_{i \text{ ЧНД}}.$$

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  $\Delta d_{\text{отс}} = \frac{\Delta D}{\Delta N_i}$ , последний член в выражении (I.I8')

может быть представлен в виде

$$\frac{\sum (\Delta D_{\text{отб}} h_i^{\rho_p - \rho_2} K_1)}{860} Q_{gg} = \sum \frac{\Delta D_{\text{отб}}}{\Delta d_{\text{отс}}}.$$

В этом случае в общем виде

$$\Delta N_t = \frac{D_0 \Delta h_i^{\rho_p - \rho_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}} \Delta h_i^{\rho_p - \rho_2} K_1}{D_0 \Delta h_i^{\rho_p - \rho_2}} \right) \right] Q_{gg}}{860} - \sum \frac{\Delta D_{\text{отб}}}{\Delta d_{\text{отс}}^{\rho_{\text{отб}} - \rho_2}}. \quad (I.I8'')$$

Для турбина с двумя регулируемыми отборами пара

$$\sum \frac{\Delta D_{\text{отб}}}{\Delta d_{\text{отс}}^{\rho_{\text{отб}} - \rho_2}} = \frac{\Delta D_{\text{отб}}''}{\Delta d_{\text{ЧСД}} + \Delta d_{\text{ЧНД}}} + \frac{\Delta D_{\text{отб}}^T}{\Delta d_{\text{ЧНД}}}$$

$$\Delta N_T = \frac{D_o \Delta h_i^{P_0-P_2} \left[ 1 - \frac{D_{\text{отб}}^{\pi}}{D_o} \frac{\Delta h_i^{P_0-P_2}}{\Delta h_i^{P_0-P_2}} - \frac{D_{\text{отб}}^{\tau}}{D_o} \frac{\Delta h_i^{P_0^{\tau}-P_2}}{\Delta h_i^{P_0-P_2}} \right] Q_{gg}}{860} -$$

$$- \frac{\Delta D_{\text{отб}}^{\pi}}{\Delta d_{\text{чсд}} + \Delta d_{\text{чнд}}} - \frac{\Delta D_{\text{отб}}^{\tau}}{\Delta d_{\text{чнд}}} . \quad (\text{I.18''})$$

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

$$N_T = \frac{D_o h_i^{P_0-P_2} (1-K_{pee}^N)}{860} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \frac{h_i^{P_0-P_2} K_1}{h_i^{P_0-P_2} (1-K_{pee}^N)} \right) \right] \eta_{\text{ЭМ}}$$

и обозначив

$$\frac{\Delta h_i^{P_0-P_2} K_1}{\Delta h_i^{P_0-P_2}} = a , \quad \frac{h_i^{P_0-P_2} K_1}{h_i^{P_0-P_2} (1-K_{pee}^N)} = b ,$$

после алгебраических преобразований получим;

при  $D_{\text{отб}} = \text{const}$

$$\frac{\Delta N_T}{N_T} = \frac{\Delta h_i^{P_0-P_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} a \right) \right] Q_{gg}}{h_i^{P_0-P_2} (1-K_{pee}^N) \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} b \right) \right] \eta_{\text{ЭМ}}}; \quad (\text{I.19})$$

при  $Q_{\text{отб}} = \text{const}$

$$\frac{\Delta N_T}{N_T} = \frac{\Delta h_i^{P_0-P_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} a \right) \right] Q_{gg}}{h_i^{P_0-P_2} (1-K_{pee}^N) \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} b \right) \right] \eta_{\text{ЭМ}}} - \frac{\sum (\Delta D_{\text{отб}} b)}{D_o \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} b \right) \right]} \frac{Q_{gg}}{\eta_{\text{ЭМ}}} \quad (\text{I.19})$$

$$\text{или } \frac{\Delta N_T}{N_T} = \frac{\Delta h_i^{\rho_0-\rho_2} \left[ 1 - \Sigma \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_0} a \right) \right] \eta_{\text{gg}}}{h_i^{\rho_0-\rho_2} (1 - K_{\text{пер}}^N) \left[ 1 - \Sigma \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_0} \beta \right) \right] \eta_{\text{эм}}} -$$

$$- \frac{\Delta i_{\text{отб}} \Sigma \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_0} \beta \right) \eta_{\text{gg}}}{(i_{\text{отб}} - \bar{i}_{\text{воздух}}) \left[ 1 - \Sigma \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_0} \beta \right) \right] \eta_{\text{эм}}} . \quad (\text{I.19''})$$

Коэффициент  $\beta$  при отсутствии данных для его прямого вычисления может быть определен из диаграммы режимов турбины с учетом выражения (I.12'), принимая при этом  $h_i^{\rho_{\text{отб}}-\rho_2} = h_i^{\rho_p-\rho_2}$  и, без существенной неточности в конечном результате,  $A = I$  (см. разд. I.5).

Коэффициент  $a$  можно представить в виде

$$a = \frac{\Delta h_i^{\rho_0-\rho_2} K_t}{\Delta h_i^{\rho_0-\rho_2}} = \frac{h_i^{\rho_p-\rho_2} \left( \frac{h_o^{\rho_p^c-\rho_2} \eta_{oi}}{h_o^{\rho_p^c-\rho_2} \eta_{oi}} - 1 \right) K_t}{h_i^{\rho_0-\rho_2} \left( \frac{h_o^{\rho_o^c-\rho_2} \eta_{oi}}{h_o^{\rho_o^c-\rho_2} \eta_{oi}} - 1 \right)}$$

или при практическом равенстве  $\eta_{oi}^{p_p^c-\rho_2} = \eta_{oi(u)}^{p_p^c-\rho_2}$ ,  $\eta_{oi}^{p_o^c-\rho_2} = \eta_{oi(u)}^{p_o^c-\rho_2}$

$$a = \beta (1 - K_{\text{пер}}^N) \frac{\left( \frac{h_o^{\rho_p^c-\rho_2}}{h_o^{\rho_o^c-\rho_2}} - 1 \right)}{\left( \frac{h_o^{\rho_o^c-\rho_2}}{h_o^{\rho_o^c-\rho_2}} - 1 \right)} , \quad (\text{I.20})$$

где  $h_o^{P_c^c - P_2}$ ,  $h_o^{P_c^c - P_2}$  и  $h_{o(n)}^{P_c^c - P_2}$ ,  $h_{o(n)}^{P_c^c - P_2}$  - располагаемые теплоперепады соответственно при изменившихся и исходных параметрах пара; с индексом  $(P_c^c - P_2)$  - от состояния пара перед соплами I ступени за камерой отбора до состояния в конденсаторе, с индексом  $(P_o^c - P_2)$  - от состояния пара перед соплами I ступени турбины до состояния в конденсаторе.

Для турбины с двумя регулируемыми отборами пара типов II и T:

$$h_o^{P_c^c - P_2} = h_o^{P_n^c - P_T} + h_o^{P_T^c - P_2} \quad \text{и} \quad h_{o(n)}^{P_c^c - P_2} = h_{o(n)}^{P_n^c - P_T} + h_{o(n)}^{P_T^c - P_2} \quad \text{- для отбора II;}$$

$$h_o^{P_c^c - P_2} = h_o^{P_T^c - P_2} \quad \text{и} \quad h_{o(n)}^{P_c^c - P_2} = h_{o(n)}^{P_T^c - P_2} \quad \text{- для отбора T;}$$

$$\Sigma \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} a \right) = \frac{D_n}{D_o} a_n + \frac{D_T}{D_o} a_T .$$

Располагаемые теплоперепады определяются по *is*-диаграмме в соответствии с заданными условиями и изменениями начальных параметров пара (см.рис.3,*b*). Выражение  $(I - K_{\text{рег}}^N)$  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  $D_o = \text{const}$  пропорционально изменению использованного теплоперепада на турбину (отсек)  $\Delta h_i$ . Анализ показывает, что основными составляющими, формирующими это изменение при переходе со значений  $P_{o(n)}$ ,  $(P_c^c)$ ,  $t_{o(n)}$ ,  $(t_c^c)$  на новые  $P_o$ ,  $(P_o^c)$ ,  $t_o$ ,  $(t_o^c)$ , являются изменения:

а) располагаемого теплоперепада турбины (отсека)  $\Delta h_o^{P_c^c - P_2}$ , определяемого от состояния пара перед соплами I-й ступени турбины (отсека)  $\Delta h_o^{P_o^c - P_2}$  по средневзвешенному давлению пара (перед соплами I-й ступени)  $P_o^c$  и начальной энталпии пара  $i_o$ ;

б) потерю от влажности пара - для доли теплоперепада, расположенного ниже линии  $X = I$  (где  $X$  - степень сухости пара)  $\Delta \eta_{oi(x)}^{P_c^c - P_2}$ ;

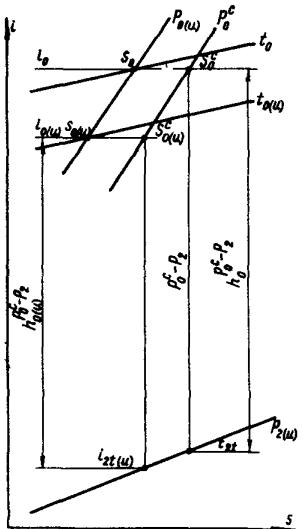


Рис.3,а. Определение теплопередатов в зоне перегретого пара

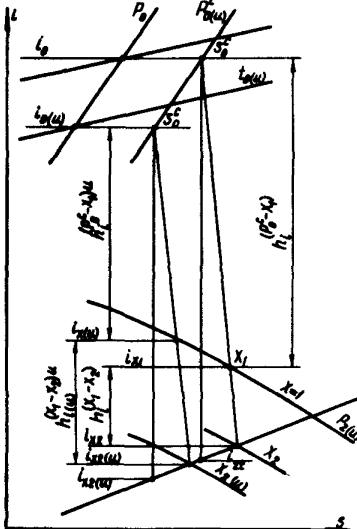


Рис.3,б. Определение теплопередатов на конденсационную турбину

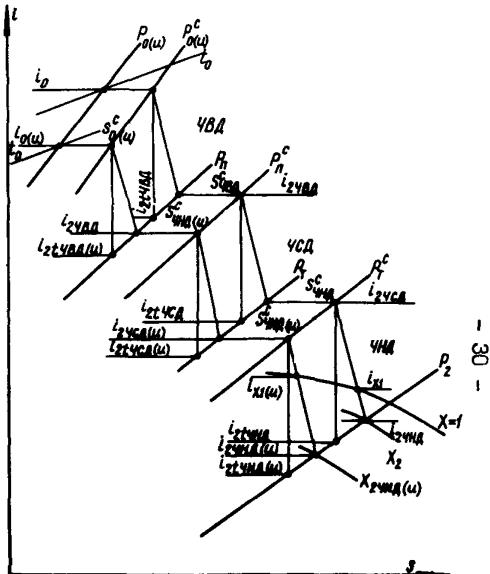


Рис.3,в. Определение теплопередатов на отдельные отсеки турбины типа ПТ

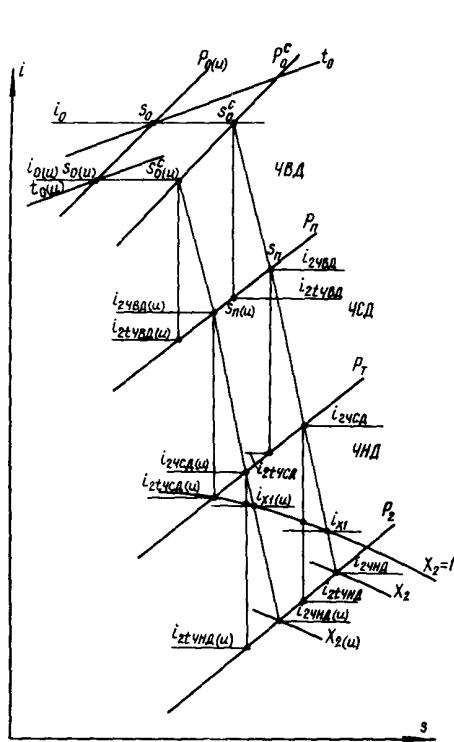
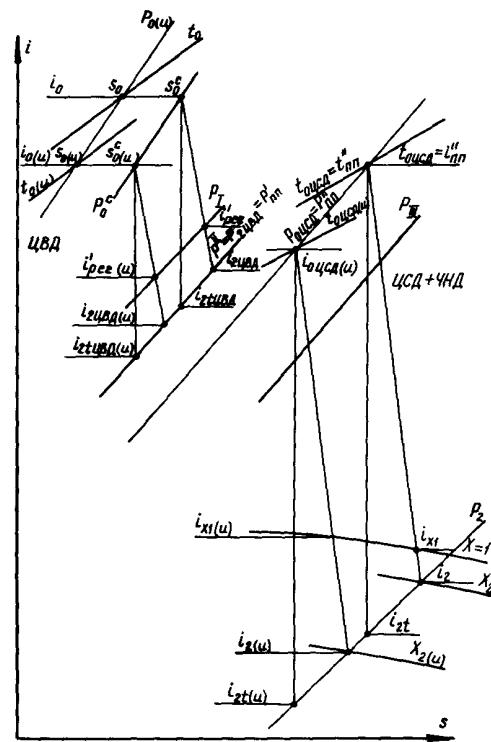


Рис.3,2. Определение теплоперепадов на отдельные отсеки турбины типа ПТ



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

в) КПД регулирующей I-й ступени турбины (отсека) за счет отклонения параметра  $\frac{u}{c_o}$  вследствие изменения располагаемого теплопереноса на эту ступень  $\Delta \eta_{oi(pct)}^{P_o-P_2}$

где  $u$  - окружная скорость вращения рабочего диска регулирующей ступени;

$c_o$  - теоретическая скорость истечения пара из сопла регулирующей ступени.

Принимая во внимание сказанное в пп. б и в, а также что

$$\frac{\Delta h_i^{P_o-P_2}}{h_{i(u)}^{P_o-P_2}} = \frac{\Delta h_i^{P_o^c-P_2}}{h_{i(u)}^{P_o^c-P_2}}, \text{ можно записать}$$

$$\frac{\Delta h_i^{P_o-P_2}}{h_{i(u)}^{P_o-P_2}} = \frac{\Delta h_o^{P_o^c-P_2}}{h_{o(u)}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta \eta_{oi(x)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta \eta_{oi(pct)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}}, \quad (I.21)$$

где  $\frac{\Delta \eta_{oi(x)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}}$  и  $\frac{\Delta \eta_{oi(pct)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}}$  - поправки, учитывающие влияние на значение  $\Delta h_i^{P_o-P_2}$  изменения соответственно потерь от влажности пара и КПД регулирующей ступени (за счет изменения параметра  $\frac{u}{c_o}$ ).

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

$$\frac{\Delta h_i^{P_o-P_2}}{h_{i(u)}^{P_o-P_2}} = \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_{ox(u)}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta \eta_{oi(pct)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}}. \quad (I.22)$$

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

$$\frac{\Delta h_i^{P_o-P_2}}{h_{i(u)}^{P_o-P_2}} = \frac{\Delta h_o^{P_o^c-P_2}}{h_{o(u)}^{P_o^c-P_2}} + \frac{\Delta \eta_{oi(pct)}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{oi(u)}^{P_o^c-P_2}}, \quad (I.23)$$

а в случаях, когда изменение располагаемого теплопотенциала на регулирующую ступень несущественно, принимать  $\Delta \eta_{oi(p,ct)}^{P_o^c - P_2} = 0$ .

Методика определения значений

$$\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o^c - P_2}}, \quad \frac{\Delta h_o^{P_o^c - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o^c - P_2}} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta \eta_{oi(p,ct)}^{P_o^c - P_2}}{\eta_{oi(i)}^{P_o^c - P_2}} \quad \text{приводится в разд. I.4.}$$

I.3. К подсчету поправок к мощности теплоэнергетического турбоагрегата при работе его по тепловому графику

$$\text{при } Q_{otb} = \text{const}$$

При работе теплоэнергетических турбин по тепловому графику заданной является тепловая нагрузка отборов – количество отпускаемого от турбины тепла или (реже) количества отбиаемого 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

$$\Sigma \Delta D_o = \sum \frac{\Delta D_{otb}}{(1 - K_{perg}^D)}, \quad (I.24)$$

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

– изменения условий, параметров пара без корректировки мощности на возможные оттоки сния 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  $(1 - K_{perg}^D)$  учитывает связь  $\Delta D_{otb}$  с  $\Delta D_o$ ; коэффициент  $K_{perg}^D = \frac{\sum D_{perg}}{D_o}$ , где  $\sum D_{perg}$  – 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).

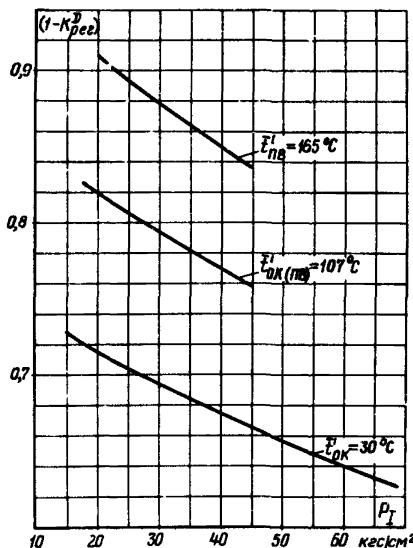


Рис.4. Зависимость выражения  $(I - K_{reg}^D)$  от давления пара в верхнем (I) регенеративном отборе  $P_I$  :  
 $\bar{t}_{p,b}, \bar{t}_{o,k(p.b)}, \bar{t}_{o,k}$  – энтальпии питательной воды (основного конденсата) на входе в первый (по ходу воды) регенеративный подогреватель турбины (отсека)

При отсутствии прямых данных для расчета выражения  $(I - K_{reg}^D)$  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

$$\frac{\Delta N_T}{N_T} = \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox}^{P_o^c - P_2} (1 - K_{perg}^N)} \left\{ \frac{\left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{otb}}{D_o} a \right) \right]}{\left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{otb}}{D_o} b \right) \right]} \right\} \frac{0,99}{\eta_{EM}} - \\ - \sum \frac{\Delta D_{otb} 0,99}{(1 - K_{perg}^D) \Delta d_o^{P_o - P_p} N_T} . \quad (I.25)$$

Для турбин типа Р

$$\frac{\Delta N_T}{N_T} = \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2} 0,99}{h_{ox}^{P_o^c - P_2} (1 - K_{perg}^N) \eta_{EM}} - \frac{\Delta D_{np} (\Delta D_{otb})}{\Delta d_o (1 - K_{perg}^D) N_T} . \quad (I.25)$$

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

Значения  $\Delta d_o^{P_o - P_p}$  и  $\Delta d_o$  принимаются по зависимостям  $N_i_{otc} = f(D_{otc})$  и  $N_T = f(D_o)$ , 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  
 $\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox(iii)}^{P_o^c - P_2}}, \frac{\Delta h_o^{P_o^c - P_2}}{h_o^{P_o^c - P_2}}$  и  $\frac{\Delta \eta_{oi(p.ct)}}{\eta_{oi(iii)}^{P_o^c - P_2}}$   
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 (энталпия) пара перед регулирующим паровпуск органом отдельного отсека (части) турбины ( $P_{otb}, t_{otb}, i_{otb}$ ).

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

$$\frac{\Delta h_{ox}^c}{h_{ox(n)}^c} = \frac{\left[ h_i^{p_o^c - p_2} + h_l^{x_i - x_2} \left( \frac{1+x_2}{2} \right) \right] - \left[ h_{i(n)}^{(p_o^c - x_i)u} + h_{l(n)}^{(x_i - x_2)u} \left( \frac{1+x_2(u)}{2} \right) \right]}{\left[ h_{l(n)}^{(p_o^c - x_i)u} + h_{i(n)}^{(x_i - x_2)u} \left( \frac{1+x_2(u)}{2} \right) \right]} = \\ = \frac{h_i^{p_o^c - x_i} + h_l^{x_i - x_2} \left( \frac{1+x_2}{2} \right)}{h_{i(n)}^{(p_o^c - x_i)u} + h_{l(n)}^{(x_i - x_2)u} \left( \frac{1+x_2(u)}{2} \right)} - 1 , \quad (I.26)$$

где  $h_l^{p_o^c - x_i}$ ,  $h_l^{x_i - x_2}$ ,  $h_{i(n)}^{(p_o^c - x_i)u}$  и  $h_{l(n)}^{(x_i - x_2)u}$  – 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  $X = X_i = 1$  и от этой точки до точки пересечения с линией  $X = X_l$  при новых исходных начальных параметрах пара (см. рис. 3, а–3, д).

Процесс расширения пара в турбине (отсеке) строится в  $iS - \frac{P_o^c - P_2}{P_{ai}^c - P_2} = \frac{P_o^c - P_2}{P_{ol(n)}^c - P_2}$  диаграмме на основании принимаемых значений КПД

Начальная точка процесса определяется пересечением линий

$i = i_o$  и  $P = P_o^c$ , конечная – пересечением линии энталпии пары  $i = i_{x_2}$  и степени сухости  $X = X_2$  в конце процесса расширения. Значение  $i_{x_2}$  находится по выражению

$$i_{x_2} = i_o - h_o \frac{P_o^c - P_2}{\eta_{oi}} \frac{P_o^c - P_2}{P_o^c - P_2},$$

где  $h_o^c - P_2 = i_o - i_{2t}$  – располагаемый теплоперепад;  $i_{2t}$  – энталпия 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  $X = X_1$  находится энталпия пара  $i_{x_1}$ .

Определяются теплоперепады при исходных параметрах пара в зоне перегретого пара

$$h_{i(u)}^{(P_o^c - X_1)u} = i_o(u) - i_{x_1(u)}$$

и в зоне влагого пара  $h_{i(u)}^{(X_1 - X_2)u} = i_{x_1(u)} - i_{x_2(u)}$ ,

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)

$$\frac{\Delta h_o^{P_o^c - P_2}}{h_o^{P_o^c - P_2}} = \frac{(i_o - i_{2t}) - (i_o(u) - i_{2t(u)})}{i_o(u) - i_{2t(u)}} = \frac{(i_o - i_{2t})}{(i_o(u) - i_{2t(u)})} - 1. \quad (I.26)$$

На рис.3.*a*–3.*d* иллюстрируется нахождение необходимых теплоперепадов для расчета поправок с использованием *is*-диаграмм. При этом принято, что  $P_o^c = P_o^c(u)$  и  $P_2 = P_2(u)$ .

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

На рис.3.*B* иллюстрируется определение необходимых теплопе-

репадов теплоэнергетической турбины с двумя регулируемыми отборами пара типа ПТ.

Относительное изменение теплоперепада для турбии этого типа составит:

$$\frac{\Delta h_{\text{ок}}}{\eta_{oi(n)}^{\rho_o^c - \rho_2}} = \frac{(h_i \text{ ЧВД} + h_i \text{ ЧСД} + h_i \text{ ЧНД})}{(h_{i(n)} \text{ ЧВД} + h_{i(n)} \text{ ЧСД} + h_{i(n)} \text{ ЧНД})} - 1,$$

где

$$h_i \text{ ЧВД} = (i_o - i_{2t \text{ ЧВД}}) \eta_{oi \text{ ЧВД}}^{\rho_o^c - \rho_n}; \quad i_{2t \text{ ЧВД}} = i_o - h_i \text{ ЧВД};$$

$$h_i \text{ ЧСД} = (i_{2t \text{ ЧВД}} - i_{2t \text{ ЧСД}}) \eta_{oi \text{ ЧСД}}^{\rho_n^c - \rho_t}; \quad i_{2t \text{ ЧСД}} = i_{2t \text{ ЧВД}} - h_i \text{ ЧСД};$$

$$h_i \text{ ЧНД} = (i_{2t \text{ ЧСД}} - i_{2t \text{ ЧНД}}) \eta_{oi \text{ ЧНД}}^{\rho_t^c - \rho_2}; \quad i_{2t \text{ ЧНД}} = i_{2t \text{ ЧСД}} - h_i \text{ ЧНД};$$

$$h_i \text{ ЧНД} = (i_{2t \text{ ЧСД}} - i_{x_i}) + (i_{x_i} - i_{2t \text{ ЧНД}}) \left( \frac{1+x_2}{2} \right).$$

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

Давления  $\rho_n^c$  и  $\rho_t^c$  находятся по зависимостям  $\rho_n^c = f(D_{\text{ЧСД}}^{\delta x})$  и  $\rho_t^c = f(D_{\text{ЧНД}}^{\delta x})$  конкретных турбин, а при их отсутствии используются аналогичные зависимости однотипных турбин (с однотипным регулированием паропуска в отсек), представленные в относительных единицах:

$$\frac{\rho_n^c}{\rho_p} = f\left(\frac{D_{\text{ЧСД}}^{\delta x}}{D_{\text{ЧСД макс}}^{\delta x}}\right), \quad \frac{\rho_t^c}{\rho_t} = f\left(\frac{D_{\text{ЧНД}}^{\delta x}}{D_{\text{ЧНД макс}}^{\delta x}}\right).$$

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 (большие значения – при больших расходах пара на входе в отсек).

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

$$\frac{\Delta \eta_{oi(p,ct)}}{\eta_{oi(n)}^{\rho_o^c - \rho_2}} = \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_t},$$

где  $\Delta N_{p.ct}$  - изменение мощности регулирующей ступени только за счет отклонения ее КПД, которое определяется как

$$\Delta N_{p.ct} = \frac{D_{o(i)} h_{o.p.ct(i)} \Delta \eta_{oi(p.ct)} D_{99}}{860}, \quad (I.27)$$

где  $h_{o.p.ct(i)}$  - располагаемый теплоперепад на регулирующую ступень при исходных параметрах пара  $P_o^c$ ,  $i_o$ ,

$$i_{o(i)}, P_{p.ct(i)};$$

$\Delta \eta_{oi(p.ct)}$  - изменение внутреннего относительного КПД регулирующей ступени за счет отклонения параметра  $\frac{u}{c_o}$  при изменении располагаемого теплоперепада на данную ступень при переходе с исходных на новые параметры пара ( $P_o^c, i_o$ ).

Для определения значения  $\Delta \eta_{oi(p.ct)}$  необходимы зависимости  $\eta_{oi(p.ct)} = f\left(\frac{u}{c_o}\right)$  или при заданных соответствующих геометрических параметрах ступени и скорости вращения ротора турбины -  $\eta_{oi(p.ct)} = f(h_{o.p.ct})$ .

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

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 $\beta$ по диаграмме режимов турбины

Сопоставляя выражение (I.12') с выражением  $\beta = \frac{P_p - P_2}{h_{i(i)} K_f}$ , можно определить, что при  $A = 1$   $\beta = \frac{\Delta D_o}{\Delta D_{otb}}$ , т.е. данный коэффициент равен отношению изменения расхода свежего пара  $\Delta D_o$  к заданному изменению расхода пара в отбор  $\Delta D_{otb}$  при сохранении неизменной мощности турбины  $N_t$ .

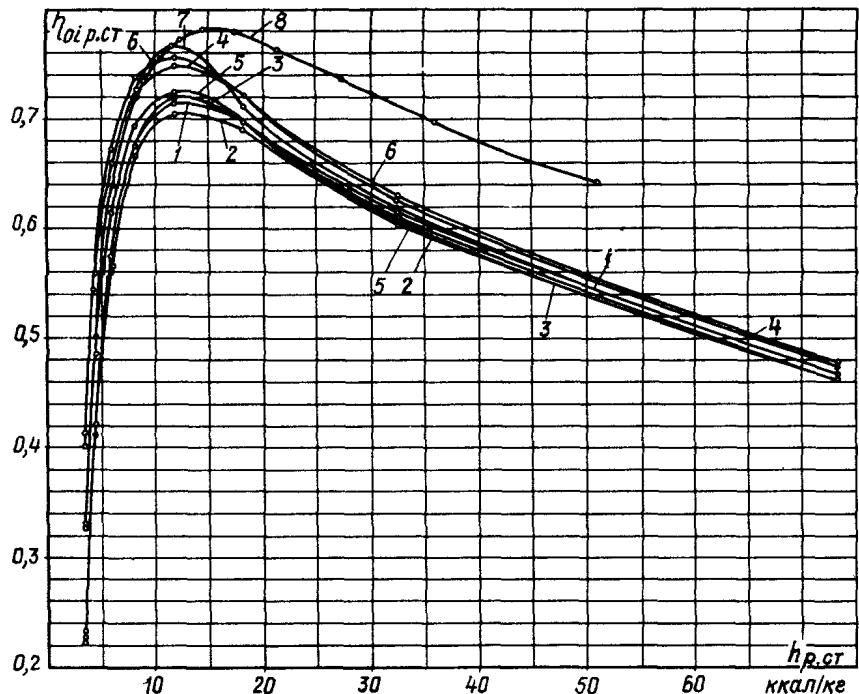


Рис.5,а. Зависимость внутреннего относительного КПД одновенечной регулирующей ступени  $\text{Цолр ст}$  от тепло-перепада на ступень  $h$ :

1 -  $\alpha_1 = 12^\circ$ ,  $\beta_2 = 18^\circ$ ,  
 $\rho = 5\%$ ,  $d = 0,9 \text{ м}$ ;

2 -  $\alpha_1 = 12^\circ$ ,  $\beta_2 = 22^\circ$ ,  
 $\rho = 5\%$ ,  $d = 0,9 \text{ м}$ ;

3 -  $\alpha_1 = 12^\circ$ ,  $\beta_2 = 18^\circ$ ,  
 $\rho = 5\%$ ,  $d = 1,0 \text{ м}$ ;

4 -  $\alpha_1 = 12^\circ$ ;  $\beta_2 = 18^\circ$ ,  
 $\rho = 10\%$ ,  $d = 0,9 \text{ м}$ ;

5 -  $\alpha_1 = 16^\circ$ ,  $\beta_2 = 18^\circ$ ,  
 $\rho = 5\%$ ;  $d = 0,9 \text{ м}$ ;

6 -  $\alpha_1 = 16^\circ$ ,  $\beta_2 = 18^\circ$ ,  $\rho = 5\%$ ,  
 $d = 1,0 \text{ м}$ ; 7 -  $\alpha_1 = 16^\circ$ ,  
 $\beta_2 = 22^\circ$ ,  $\rho = 10\%$ ,  $d = 0,9 \text{ м}$ ;

8 - турбина «-300-240 ЛЛ  
 с  $d = 1,01 \text{ м}$  (по данным  
 теплового расчета ЛЛ)

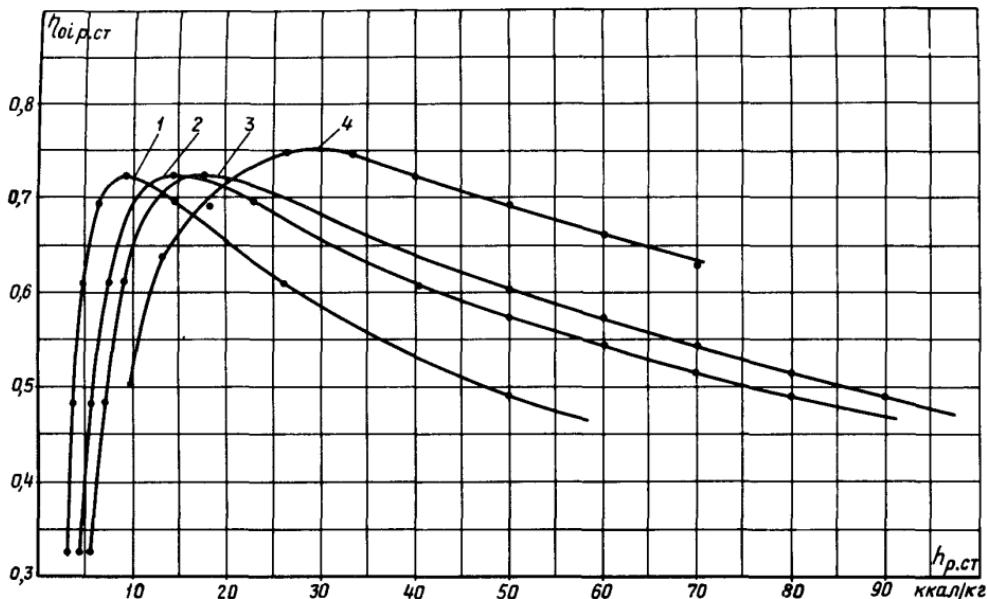


Рис.5.б. Зависимость внутреннего относительного КПД одновенечной регулирующей ступени  $\eta_{oi,p,st}$  от теплоперепада на ступень  $h$ :

1 -  $\alpha_i = 16^0, d = 0,8 \text{ м};$  2 -  $\alpha_i = 16^0, d = 1,0 \text{ м};$  3 -  $\alpha_i = 16^0, d = 1,1 \text{ м};$   
 4 -  $\alpha_i = 12^0, d = 1,335 \text{ м}$  (ЧНД турбины ПТ-60-130/13 ЛМЗ)

На рис.7 иллюстрируется определение коэффициента  $\beta$  по диаграмме режимов для теплоэнергетических турбин с одним и двумя регулируемыми отборами пара (типа II, Т и ПТ).

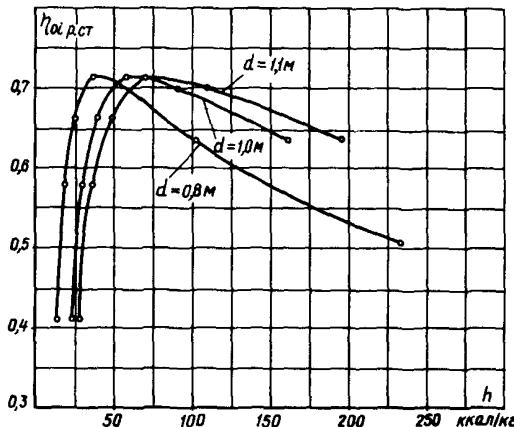


Рис.6. Зависимость внутреннего относительного КПД двухвенчичной регулирующей ступени  $\eta_{oi,r,st}$  от теплового перепада на ступень  $h$

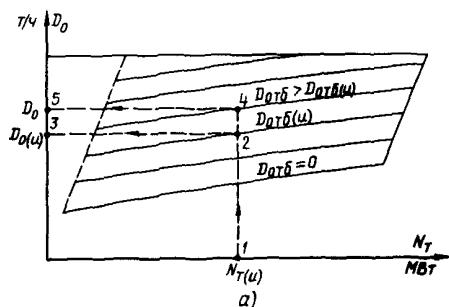


Рис.7. Определение коэффициента  $\beta$  по диаграмме режимов:

а – турбина типов II и Т

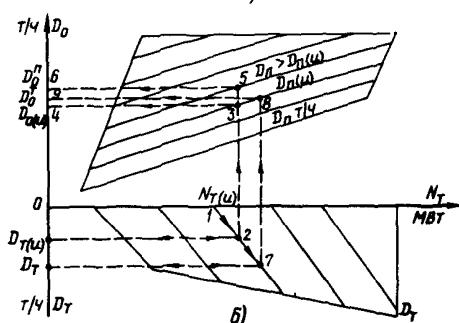
$$\beta_{n(\tau)} = \frac{\Delta D_o}{\Delta D_{nTB}} = \frac{D_o - D_{o(u)}}{D_{nTB} - D_{nTB(u)}} ;$$

б – турбина типа ПТ:  
для производственного отбора

$$\beta_{(n)} = \frac{D_o^n - D_{o(u)}}{D_n - D_{n(u)}} ;$$

для теплоэнергетического отбора

$$\beta_{(\tau)} = \frac{D_\tau^\tau - D_{\tau(u)}}{D_\tau - D_{\tau(u)}} .$$



Для турбины с одним регулируемым отбором пара по заданным значениям  $N_{T(n)}$ ,  $D_{\text{отб}(n)}$  по диаграмме режимов (см.рис.7, а) определяется значение  $D_o(n)$  (движение по точкам 1-2-3). Затем, задаваясь новым значением расхода пара в регулируемый отбор  $D_{\text{отб}}$  при  $N_{T(n)}$ , находим новое значение расхода свежего пара  $D_o$  (движение по точкам 2-4-5). Вычисляются  $\Delta D_o = D_o - D_o(n)$ ,

$$\Delta D_{\text{отб}} = D_{\text{отб}} - D_{\text{отб}(n)} \quad \text{и} \quad b_{n(\tau)} = \frac{\Delta D_o}{\Delta D_{\text{отб}}} \quad .$$

Для турбины с двумя регулируемыми отборами пара по заданным значениям  $N_{T(n)}$ ,  $D_{n(n)}$ ,  $D_{T(n)}$  определяется значение  $D_o(n)$  (движение по точкам 1-2-3-4, рис.7, б). Задаваясь новым значением  $D_n$  при  $N_{T(n)}$  и  $D_{T(n)}$ , находим значение  $D_o^n$  (движение по точкам 1-2-3-5-6). Затем, принимая новое значение расхода пара в теплофикационный отбор  $D_T$  при  $D_{n(n)}$  и  $N_{T(n)}$ , определяем значение расхода свежего пара  $D_o^n$  (движение по точкам 1-2-7-8-9).

Коэффициент  $b$  для производственного отбора равен

$$b_n = \frac{D_o^n - D_o(n)}{D_n - D_{n(n)}} ;$$

для теплофикационного отбора

$$b_T = \frac{D_T^n - D_o(n)}{D_T - D_{T(n)}} .$$

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

$$D_T = \frac{Q_T}{t_n - t_{\text{возд}} \delta_p} \cdot 10^3 ;$$

и аналогичным образом определить необходимые значения и вычислить коэффициент  $b$ .

По рис.8 находятся необходимые значения для расчетов коэффициента  $b$  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  $Q_{T(n)}$ ,  $D_{T(n)}$ ,  $N_{T(n)}$  и давлению в верхнем теплофикационном отборе  $P_{\text{отб}(n)}$  определяется значение  $D_o(n)$  (движение по точкам 1-2-3-4-5). Принимая новое значение  $Q_T(D_T)$ , при значении  $N_{T(n)}$  находим новое значение  $D_o$  (движение по точкам 6-7-8-9-10).

Далее определяется

$$\beta = \frac{(D_o - D_{o(n)}) (i_T - \bar{i}_{b03} \beta)}{(Q_T - Q_{T(n)})} \cdot 10^{-3}.$$

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

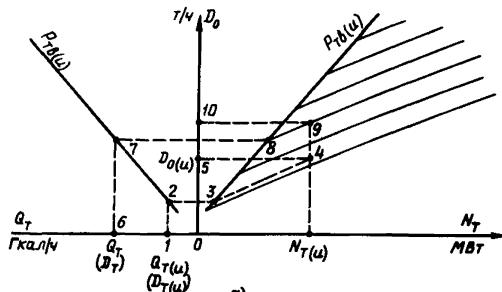
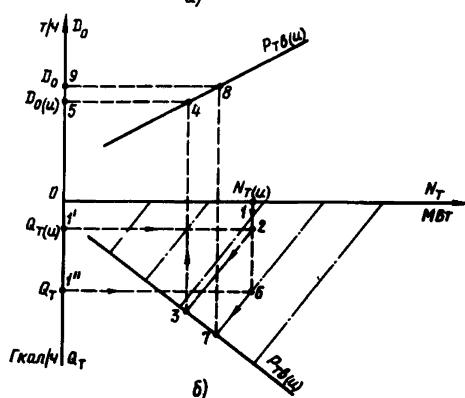


Рис.8. Определение коэффициента  $\beta$  для турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250:

*a* - вариант I;  
*b* - вариант 2



I.6. К определению значения  $\Delta d_o^{\frac{P_o - P_p}{\rho}}$  по диаграмме режимов турбины

Относительный прирост расхода пара отсека турбины от стопорного клапана до рассматриваемого регулируемого отбора  $\Delta d_{ots}^{\frac{P_o - P_p}{\rho}}$  может быть рассчитан с достаточной точностью по данным диаграммам 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  $D_{ЧНД}^{вых}$ , для турбин с двумя регулируемыми отборами пара – расход на выходе из части среднего давления  $D_{ЧСД}^{вых}$ .

На рис.9, 10 иллюстрируется определение значения относительного прироста расхода пара  $\Delta d_o^{P_0 - P_{n(\tau)}}$  по диаграммам режимов турбин с одним и двумя отборами пара. Для турбины с одним отбором пара (типов П, Т) значение  $\Delta d_o^{P_0 - P_{n(\tau)}}$  определяется по изменению расхода пара при заданном изменении мощности турбины и движении по линии  $D_{ЧНД(i)} = \text{const}$ , соответствующей  $N_{T(i)}$  и  $D_{n(\tau)(i)}$  (точки 2-5). Значения  $D_o(i)$  и  $D_o$  находятся (движением по точкам 1-2-3 и 4-5-6);

$$\Delta d_o^{P_0 - P_{n(\tau)}} = \frac{D_o - D_o(i)}{N_T - N_{T(i)}}.$$

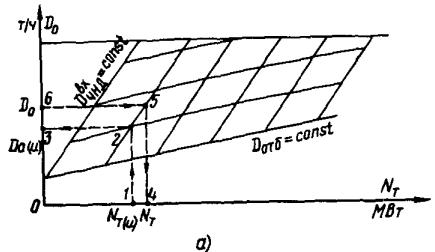
Для турбин с двумя регулируемыми отборами пара (типа ПТ) на диаграммах режимов, как правило, имеются линии  $D_{ЧСД}^{вых} = \text{const}$ .

Поэтому с достаточной точностью для расчета поправок значение  $\Delta d_o^{P_0 - P_n}$  определяется с использованием этих линий, как указано выше. Значение  $\Delta d_o^{P_0 - P_T}$  для теплофикационного отбора может быть найдено следующим образом. По заданным значениям  $D'_{n(i)}$ ,  $N'_{T(i)}$  находят значения  $D_{ЧСД(i)}^{вых}$  и  $D_o'(i)$  (см.рис.9) (движение по точкам 4-5-6); затем, задаваясь новым значением  $N_T$  (точка 7), в точке пересечения координаты  $N_T$  и линии  $D'_{n(i)}$  (точка 8) находим новое значение  $D_{ЧСД}^{вых}$ , а в точке 9 – расход свежего пара  $D_o$ . Определяются значения изменений:

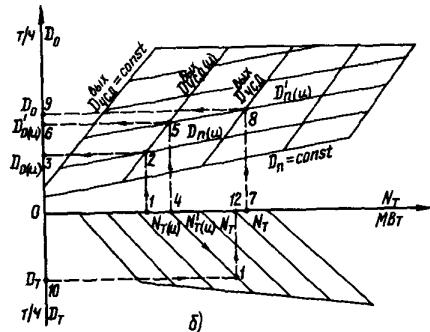
- расхода пара на выходе из ЧСД

$$\Delta D_{ЧСД}^{вых} = D_{ЧСД}^{вых} - D_{ЧСД(i)}^{вых};$$

- мощности турбины при отпуске пара из теплофикационного отбора в количестве  $\Delta D_{ЧСД}^{вых} = D_T$  как



a)



б)

Рис.9. Определение относительных приростов расхода пары  $\Delta d_o^{P_o-P_n(\mu)}$ ,  $\Delta d_o^{P_o-P_r}$ ,  $\Delta d_o^{P_r-P_r}$ :

а - турбины типов П, Т  
 $\Delta d_o^{P_o-P_n(\mu)} = \frac{D_o(6) - D_o(1)}{N_T(4) - N_T(1)}$ ;

б - турбина типа ПТ;

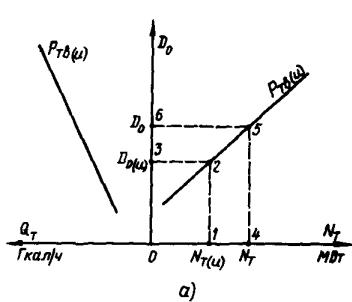
для производственного отбора

$$\Delta d_o^{P_o-P_n} = \frac{D_o(6) - D_o(1)}{N_T(4) - N_T(1)},$$

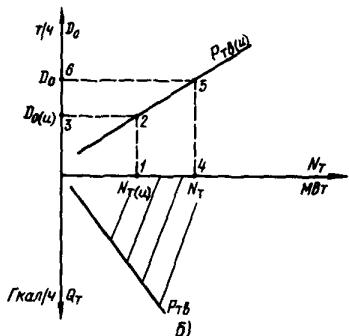
для теплотехнического отбора

$$\Delta d_o^{P_o-P_r} = \frac{D_o(9) - D_o(6)}{(N_T(7) - N_T(4)) - (N_T(12) - N_T(4))};$$

$$D_T = D_{ЧСД(8)}^{\text{быых}} - D_{ЧСД(1)}^{\text{быых}} = \Delta D_{ЧСД}^{\text{быых}}$$



a)



б)

Рис.10. Определение относительного прироста расхода пары  $\Delta d_o^{P_o-P_r}$  турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250:

а - вариант I:  $\Delta d_o^{P_o-P_r} = \frac{D_o - D_o(\mu)}{N_T - N_T(\mu)}$ ;

б - вариант 2:  $\Delta d_o^{P_o-P_r} = \frac{D_o - D_o(\mu)}{N_T - N_T(\mu)}$

Определение значений  $D_{o(i)}$  и  $D_o$  по заданным  $N_{T(i)}$  и  $N_T$  по диаграммам режимов турбин Т-50, Т-100, Т-175, Т-250 для расчета  $\Delta d_o^{P_o-P_T}$  производится в точках пересечения координат  $N_T$  с линией  $D_o = f(N_T)$  при работе по тепловому графику и заданном давлении в верхнем теплофикационном отборе  $P_{T\beta}$  (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 паропуск органом (регулирующие клапаны, диафрагмы). Внутренний относительный КПД турбины (отсека) от состояния пара перед соплами I-й ступени при изменении положения органов паропуска, 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  $\frac{h_i}{h_{i(i)}}$  и  $\frac{\Delta h_i}{h_{i(i)}}$  заменить

соответствующими отношениями расположенных теплоперепадов, т.е.

$$\text{принять } \frac{\frac{P_o^c - P_2}{h_i}}{\frac{P_o^c - P_2}{h_{i(i)}}} = \frac{\frac{P_o^c - P_2}{h_o}}{\frac{P_o^c - P_2}{h_{o(i)}}}; \quad \frac{\frac{\Delta h_i}{h_i}}{\frac{\Delta h_i}{h_{i(i)}}} = \frac{\frac{\Delta h_o}{h_o}}{\frac{\Delta h_o}{h_{o(i)}}}.$$

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 (энталпия) пара в камере регулируемого отбора – перед регулирующим паропуск органом отсека (части).

Поэтому для расчета поправок необходимо иметь возможность при различных значениях  $D_o (D_{o\beta c})$  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  $t_o = const$

2.1. Поправка к мощности турбоагрегата  
при  $D_o = const$

При расчетах поправки на отклонение  $P_o$  для условия  $D_o = const$  необходимо рассматривать две зоны регулирования паропуска – дроссельного и соплового, для которых получаются принципиально различные результаты при одном и том же отклонении  $P_o$ .

При дроссельном регулировании паропуска (при  $D_o = const$ ,  $t_o = const$ ) изменение значения  $P_o$  приводит к весьма несущественному отклонению значения давления перед соплами I-й ступени  $P_o^c$  за счет изменения температуры пара  $t_o^c$  (вследствие дросселирования пара в органах паропуска при  $i_o = const$ );

$$P_o^c = P_{o(n)} \sqrt{\frac{T_o^c}{T_{o(n)}^c}},$$

$$T_o^c = t_o^c + 273^{\circ}K.$$

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

В зоне с сопловым регулированием паропуска отклонение  $P_o$  при условии  $D_o = const$  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  $P_o^c$ .

При этом для заданных значений  $D_o$  отклонение  $P_o$  на одно и то же значение может дать различные отклонения  $P_o^c$ .

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

$$\frac{P_o}{P_{o(i)}} = \frac{P_o^c}{P_{o(i)}^c}; \quad \frac{h_o^{P_o - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o^c - P_2}} = \frac{h_o^{P_o^c - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o^c - P_2}} \left( \frac{\Delta h_o^{P_o - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o - P_2}} = \frac{\Delta h_o^{P_o^c - P_2}}{h_{o(i)}^{P_o^c - P_2}} \right).$$

Для более точных расчетов поправок в зоне соплового регулирования необходимо иметь зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  при различных значениях  $P_o$  ( $P_o' > P_{o(i)} > P_o''$ ).

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

$$h_{rst} = \frac{h_{ceg}^I D_{ceg}^I + h_{ceg}^{II} D_{ceg}^{II} + \dots + h_{ceg}^n D_{ceg}^n}{D_o},$$

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

Начальная точка в *is*-диаграмме при нахождении значения  $h_{ceg}$  для каждого сегмента сопла определяется пересечением линии  $i = i_o$  (соответствующей  $P_{o(i)}$  и  $t_{o(i)}$ ) и с линией  $P = P_{kl}^I$ , а конечная – линий  $S = S_{o(i)}$  (энтропии) и  $P = P_{rst}$ .

Значения  $P_{kl}^I$  и  $P_{rst}$  находятся по диаграмме парораспределения для задаваемых значений  $D_o$ .

Расходы пара через сегменты сопла определяются либо непосредственно по зависимости  $D_{ceg}(G_{ceg}) = f(D_o)$  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  $D_o = D_{ceg}^I$  (или  $D_o = D_{ceg}^{I+II}$ , или  $D_o = D_{ceg}^{I+II+III}$ ) - до точки начала открытия следующего клапана; в точке открытия  $D_{ceg}^{I*} = D_o$ .

Далее с достаточной точностью:

$$D_{ceg}^I = D_{ceg}^{I*} \sqrt{\frac{P_{kl}^{I2} - P_{p,ct}^2}{P_{kl}^{I*2} - P_{p,ct}^{I*2}}} \sqrt{\frac{T_{ceg}^{I*}}{T_{ceg}^I}},$$

$$\text{если } \frac{P_{p,ct}}{P_{kl}} > 0,546 \text{ и } D_{ceg}^I = D_{ceg}^{I*} \sqrt{\frac{P_{kl}^I}{P_{kl}^{I*}}} \sqrt{\frac{T_{ceg}^{I*}}{T_{ceg}^I}},$$

$$\text{если } \frac{P_{p,ct}}{P_{kl}} \leq 0,546.$$

$$\text{Здесь } P_{kl}^{I*}, P_{p,ct}^{I*}, T_{ceg}^{I*}$$

- 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,  $\sigma_k$  (по  $P_{kl}^I$  и  $i_o$ ) в точке, соответствующей началу открытия следующего клапана  $D_o = D_{ceg}^{I*}$ ;

$$P_{kl}^I, P_{p,ct}^I, T_{ceg}^I - \text{то же, но для задаваемого значения } D_o > D_{ceg}^{I*};$$

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

в) производится расчет расходов для III и последующих сегментов таким же образом. Для последнего сегмента расход пара через него определяется как

$$D_{ceg}^n = D_o - \sum D_{ceg}^{n-1}.$$

После определения  $h_{p,ct}^{bj\delta}$  по  $is$ -диаграмме находится значение  $P_{o(n)}^c$  в точке пересечения восходящего при  $s = const$  от линии  $P = P_{p,ct}$  отрезка, равного  $h_{p,ct}^{bj\delta}$ , с линией  $l = i_o$ , соответ-

ствующей исходным  $P_o$  и  $t_o$ .

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

$$P_o^c = \frac{P_{kl}^I D_{seg}^I + P_{kl}^{II} D_{seg}^{II} + \dots + P_{kl}^n D_{seg}^n}{D_o},$$

существенно отличается от давления  $P_o^c$  только в зонах незначительного (менее чем на 1/3 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  $P_o$  и заданном значении  $D_o$  производится пересчет зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  на новое значение  $P_o$ . Для этого следовало бы пересчитать диаграмму парораспределения на измененные условия и вновь описанным выше способом найти зависимость  $P_o^c = f(P_o)$ . Однако, как показывают выполненные расчеты и анализ их результатов, с достаточной точностью зависимость  $P_o^c = f(D_o)$  можно получить непосредственным пересчетом исходной зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  минуя пересчет диаграммы парораспределения и другие промежуточные расчеты.

Значения давлений и расходов определяются по следующим формулам:

- для конденсационных турбин и теплоэнергетических при конденсационном режиме

$$P_o^c = P_{o(i)}^c \frac{P_o}{P_{o(i)}} \quad \text{и} \quad D_o = D_{o(i)} \frac{P_o}{P_{o(i)}};$$

- для турбин с противодавлением и регулируемыми отборами пара

$$P_o^c = P_{o(i)}^c \frac{P_o}{P_{o(i)}} \quad \text{и} \quad D_o = D_{o(i)} \sqrt{\frac{P_o^2 - P_p^2}{P_{o(i)}^2 - P_{p(i)}^2}},$$

где  $P_p$  - давление пара в регулируемом отборе пара или противодавление - для турбин типа Р.

Построив графические зависимости  $P_{o(i)}^c = f(D_{o(i)})$  и  $P_o^c = f(D_o)$  для заданных отклонений  $P_o$  (заданного отношения  $\frac{P_o}{P_{o(i)}}$ ), можно установить связь между заданными значениями  $P_{o(i)}$  и  $P_o$  и искомыми значениями  $P_{o(i)}^c$ ,  $P_o^c$  для интересующего значения  $D_o$ . Иллюстрация этого приводится на рис. II, 12, 13 для конденсационной турбины, имеющей четыре сегмента сопл I-й ступени (четыре регулирующих клапана).

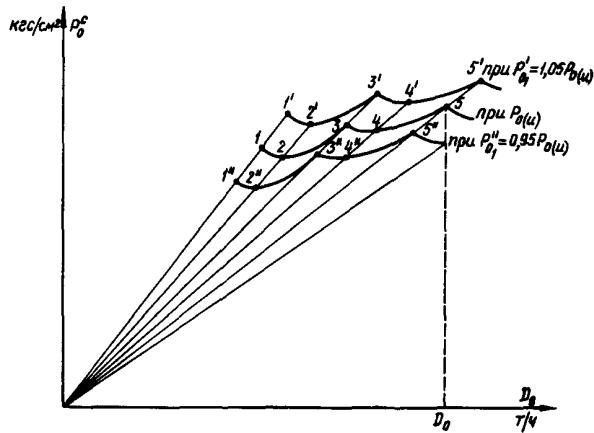


Рис. II. Средневзвешенное значение давления пара перед соплами I-й ступени турбины в зоне соплового парораспределения при  $P_{o(u)}$ ,  $P_o^c > P_{o(u)}$ ,  $P_o^c \geq P_{o(u)}$

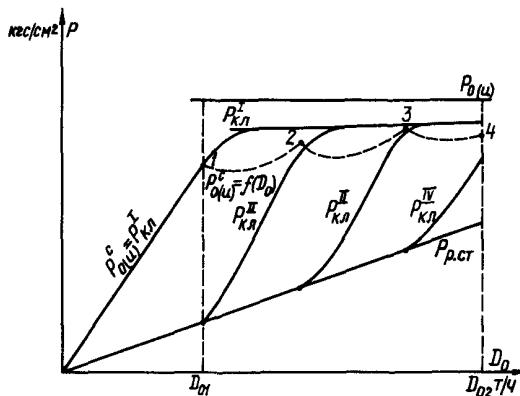


Рис. I2. Давление пара за регулирующими клапанами ( $P_{KЛ}^I$ ,  $P_{KЛ}^{II}$ ,  $P_{KЛ}^{III}$ ,  $P_{KЛ}^{IV}$ ) и средневзвешенное значение давления пара перед соплами I-й ступени ( $P_{o(u)}^c$ )

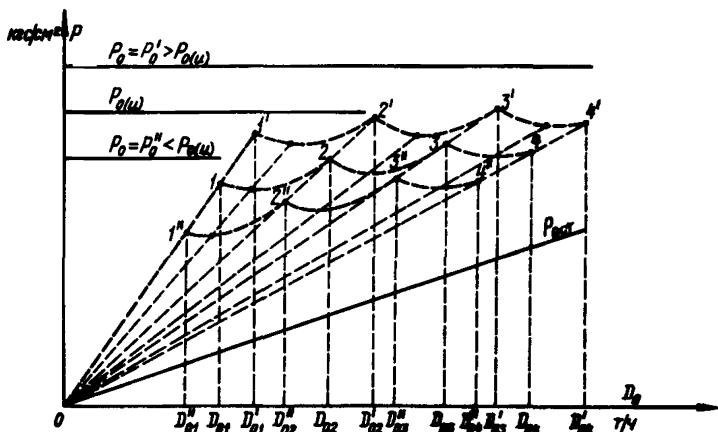


Рис. I3. Средневзвешенное давление пара перед соплами I-й ступени турбины при  $P_o = P'_o > P_{o(i)}$ ,  $P_o = P''_o < P_{o(i)}$

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  $P_o^c$ ,  $P_o^{c'}$  и  $P_o^{c''}$  при значениях  $P_o = P'_o > P_{o(i)}$ ,  $P_o = P''_o < P_{o(i)}$ .

На рис. I3 линией 0-I-2-3-4 изображена зависимость  $P_o^c = f(D_o)$  при исходных параметрах пара, линией 0-I'-2'-3'-4' – при  $P_o = P'_o > P_{o(i)}$ , а линией 0-I''-2''-3''-4'' при  $P_o = P''_o < P_{o(i)}$ .

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

$$P_o^{c'} = P_o^c \frac{P_o'}{P_{o(i)}}, \quad D_o' = D_o \frac{P_o'}{P_{o(i)}};$$

$$P_o^{c''} = P_o^c \frac{P_o''}{P_{o(i)}}, \quad D_o'' = D_o \frac{P_o''}{P_{o(i)}}.$$

Линиями 0-I, 0-I', 0-I'' представлены зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  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 –  $D_o$ , при

$P_o = P_{o(n)}$  , расширяется до значения  $D'_{o1} = D_{o1} \frac{P'_o}{P_{o(n)}}$ ,

если  $P_o = P'_o > P_{o(n)}$  , и суживается до  $D''_o = D_o \frac{P''_o}{P_{o(n)}}$  , если  
 $P_o = P''_o < P_{o(n)}$  .

При заданных значениях  $D_o$  давление пара  $P_o^c$  в этой зоне не зависит от изменения  $P_o$  .

В зоне соплого регулирования связь между значениями  $P_o$  и  $P_o^c$  при условии  $D_o = const$  неоднозначна: при одном и том же значении отклонения  $P_o$  от  $P_{o(n)}$  отклонения значений  $P_o^c$  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  $P_o$  на  $\pm 10\%$  от  $P_{o(n)}$  . Определение зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  при меньших или больших отклонениях давления  $P_o$  производится путем пересчета исходной зависимости  $P_{o(n)}^c = f(D_{o(n)})$  на новые условия рассмотренным выше методом.

#### 2.1.1. Расчет поправки к мощности при дроссельном регулировании паропуска

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

В этом случае расположенный теплоперепад на турбине (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  $D_{min}$  , средним  $D_{o(sred)}$  и максимальным  $D_{omax}$  и, пользуясь зависимостью  $P_o^c = f(D_o)$  , находят значения  $P_{omin}^c$  ,  $P_{osred}^c$

$P_o^c_{\max}$ . Далее задаются значениями давления свежего пара  $P_{o2}^c > P_{o1}^c > P_{o(i)}^c > P_{o2}'' > P_{o2}'''$  и по  $i-s$  - диаграмме в точках пересечений линий этих давлений с линией  $t = t_{o(i)} = \text{const}$  находят значения энталпий  $i_{o2}^c, i_{o1}^c, i_{o(i)}, i_{o1}''^c, i_{o2}'''^c$ , а в точках пересечений линий  $P_{o\min}^c, P_{o(\text{сред})}^c, P_{o\max}^c$  и найденных энталпий - значения энтропий  $s_{o2}^{ci}, s_{o1}^{ci}, s_{o(i)}^{ci}, s_{o1}^{cn}, s_{o2}^{cn}$ .

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,  $P_{2\text{ ЦВД}}$ ;
- 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  $t_b$  охлаждающей воды при известных значениях  $D_{o\min}^c, D_{o(\text{сред})}^c, D_{o\max}^c$ , а давление пара за ЦВД - по зависимости  $P_{2\text{ ЦВД}} = f(D_o)$ .

Для каждого заданного значения  $P_o$  описанным в разд. I.4 способом определяются тепловые перепады, рассчитываются отношения  $\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2}}$  или  $\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2}}$ .

Поправки (%) определяются по следующим формулам:

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

$$\alpha_N^P = \frac{\Delta N_T^P}{N_{T(i)} h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2} (1 - K_{per}^N) \eta_{EM}} = \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2}} B \cdot 10^2; \quad (2.1)$$

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

$$\alpha_N^P = \frac{\Delta N_T^P}{N_{T(i)} h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{отб}}{D_o} \alpha \right) \right] 0,99} = \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{P_o^c - P_2}} B \frac{[1 - C]}{[1 - D]} 10^2; \quad (2.1)$$

- для теплофикационных турбин при  $Q_{\text{отб}} = \text{const}$

$$\alpha_N^{\rho_o} = \frac{\Delta N_T^{\rho_o}}{N_{T(\mu)}^{\rho_o}} = \frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o - P_2} \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\sigma\tau\delta}(\mu)}{D_o} \alpha \right) \right] \eta_{\sigma gg}}{h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2} \left( 1 - K'_{\text{пер}} \right) \left[ 1 - \sum \left( \frac{D_{\sigma\tau\delta}(\mu)}{D_o} \beta \right) \right] \eta_{\text{ЭМ}}} + \sum \left[ \frac{\Delta i_{\sigma\tau\delta} \frac{D_{\sigma\tau\delta}}{D_o} \beta \eta_{gg}}{(i_{\sigma\tau\delta} - \bar{i}_{\text{бог}} \beta) \left[ 1 - \frac{D_{\sigma\tau\delta}}{D_o} \beta \right] \eta_{\text{ЭМ}}} \right] = \\ = \left[ \frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o - P_2}}{h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + E \right] 10^2. \quad (2.1'')$$

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 (2.1), (2.1') и (2.1'') под отношением

$$\frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o - P_2}}{h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2}} \quad \text{или}$$

подразумевается отношение

$$\frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}}}{h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}} + h_{ox(\mu)}^{\rho_{pp}'' - P_2}},$$

$$h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}} \left( 1 + \frac{h_{ox(\mu)}^{\rho_{pp}'' - P_2}}{h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}}} \right)$$

$$\text{где } h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}}, \quad h_{ox(\mu)}^{\rho_{pp}'' - P_2}$$

- 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  $h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}}$  (см. рис.3, д) находится на пересечении линий  $P = P_{ox(\mu)}^c$  и  $i = i_{ox(\mu)}$ , конечная - на пересечении линий  $P = P_{2 \text{ ЦВД}(\mu)}$  и  $s_o^c$ . Теплоперепад  $h_{ox(\mu)}^{\rho_o - P_2 \text{ ЦВД}} = i_{ox(\mu)} - i_{2 \text{ ЦВД}}$ . Начальная точка теплоперепада

$$h_{ox(\mu)}^{\rho_{pp}'' - P_2} \quad \text{ЦСД + ЧНД определяется пересечением линий}$$

$$P = P_{pp}'' = P_{o \text{ ЦСД}(\mu)} \quad \text{и} \quad t = t_{pp}'' = t_{o \text{ ЦСД}(\mu)}.$$

Теплоперепад ЦСД + ЧНД вычисляется как

$$h_{ox(\mu)}^{\rho_{pp}'' - P_2} = (i_{o \text{ ЦСД}(\mu)} - i_{x_1(\mu)}) + (i_{x_1(\mu)} - i_{2(\mu)}) \left( \frac{1 + X_2(\mu)}{2} \right).$$

Значения  $i_{x_1(n)}$ ,  $i_{x_2(n)}$ ,  $x_2(n)$  определяются по методике, приведенной в разд. I.4.

Давление пара за ЦВД ( $P_{2\text{ ЦВД}(n)}$ ) и перед отсечными клапанами ЦСД ( $P_{\text{отсд}} = P''_{pp(n)}$ ) определяется по зависимостям соответственно  $P_{2\text{ ЦВД}} (P'_{pp}) = f(D_o)$  и  $P_{\text{отсд}} (P''_{pp}) = f(D_o)$  согласно заданным значениям  $D_o$ .

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

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

$$C = \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} a \right) = \frac{D_{n(\tau)}}{D_o} a_{n(\tau)} ;$$

$$D = \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta \right) = \frac{D_{n(\tau)}}{D_o} \beta_{n(\tau)} ;$$

$$E = \sum \frac{\Delta i_{\text{отб}} \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta}{(i_{\text{отб}} - \bar{i}_{\text{бо3}} \beta) \left[ 1 - \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta \right]} = \frac{\Delta i_{n(\tau)} \frac{D_{n(\tau)}}{D_o} \beta_{n(\tau)}}{(i_{n(\tau)} - \bar{i}_{\text{бо3}} \beta) \left[ 1 - \frac{D_{n(\tau)}}{D_o} \beta_{n(\tau)} \right]} ;$$

- для турбин с двумя регулируемыми отборами пара типа ПТ:

$$C = \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} a \right) = \frac{D_n}{D_o} a_n + \frac{D_\tau}{D_o} a_\tau ;$$

$$D = \sum \left( \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta \right) = \frac{D_n}{D_o} \beta_n + \frac{D_\tau}{D_o} \beta_\tau ;$$

$$E = \sum \frac{\Delta i_{\text{отб}} \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta}{(i_{\text{отб}} - \bar{i}_{\text{бо3}} \beta) \left( 1 - \frac{D_{\text{отб}}}{D_o} \beta \right)} = \frac{\Delta i_n \frac{D_n}{D_o} \beta_n}{(i_n - \bar{i}_{\text{бо3}} \beta) \left( 1 - \frac{D_n}{D_o} \beta_n \right)} + \frac{\Delta i_\tau \frac{D_\tau}{D_o} \beta_\tau}{(i_\tau - \bar{i}_{\text{бо3}} \beta) \left( 1 - \frac{D_\tau}{D_o} \beta_\tau \right)} .$$

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

При расчет поправок для турбии типа Р следует пользоваться формулой (2.1). Если процесс расширения происходит полностью в области перегретого пара, вместо отношения  $\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_{ox}(n)}$  следует использовать отношение  $\frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_{ox(n)}^{P_o^c-P_2}}$ . Расчет поправок рекомендуется выполнять для нескольких значений противодавления  $P_2 = P_{np}$  ( $P_2' > P_{2(n)} > P_2''$ ).

### 2.1.2. 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 расположенного теплоперепада на турбину (отсек) преимущественно вследствие изменения расположенного теплоперепада на регулирующую (I-ю) ступень. Поэтому при расчета поправки для этой зоны необходимо учитывать также и влияние на мощность изменения КПД регулирующей ступени

$$\left( \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} = \frac{\Delta \eta_{o,p,ct}^{P_o^c-P_2}}{\eta_{o,p,ct}^{P_o^c-P_2}} \right).$$

Рекомендуется следующий порядок расчета значений отклонения теплоперепадов на турбину, отсек  $\left( \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_{ox(n)}^{P_o^c-P_2}}, \frac{\Delta h_{ox}^{P_o^c-P_2}}{h_o^{P_o^c-P_2}} \right)$ .

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

$$P_{o2}' > P_{o1}' > P_{o(n)} > P_{o1}'' > P_{o2}''.$$

Например,  $P_{o2}' = 1,1 P_{o(n)}$ ;  $P_{o1}' = 1,05 P_{o(n)}$ ;  $P_{o1}'' = 0,95 P_{o(n)}$ ;  $P_{o2}'' = 0,9 P_{o(n)}$ .

На графиках, изображающих зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  при  $P_o = P_{o2}' = 1,1 P_{o(n)}$  и  $P_o = P_{o2}'' = 0,9 P_{o(n)}$ , строят зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  для давлений свежего пара  $P_{o1}' = 1,05 P_{o(n)}$  и  $P_{o1}'' = 0,95 P_{o(n)}$  (данные для этого получаются путем пересчета исходной кривой  $P_{o(n)}^c = f(D_{o(n)})$  на эти условия).

Имея для давлений  $P'_{o2}$ ,  $P'_{o1}$ ,  $P_{o(n)}$ ,  $P''_{o1}$ ,  $P''_{o2}$  зависимости  $P^{c'}_{o2} = f(D_o)$ ,  $P^{c'}_{o1} = f(D_o)$ ,  $P_{o(n)} = f(D_o)$ ,  $P^{c''}_{o1} = f(D_o)$ ,  $P^{c''}_{o2} = f(D_o)$ , по заданным значениям  $D_o$  находят значения  $P^{c1}_{o2}$ ,  $P^{c1}_{o1}$ ,  $P^c_{o(n)}$ ,  $P^{c''}_{o1}$ ,  $P^{c''}_{o2}$ , причем в соответствующих зонах эти значения определяются для одного и того же значения  $D_o$ .

Значения  $D_o$  выбирают таким образом, чтобы для каждого заданного  $P_o$  были зафиксированы характерные точки по  $P_o^c$  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 расматриваемого сегмента  $P_{o\min}$ ; 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.12 показаны зависимости  $P_o^c = f(D_o)$  при  $P_o = P_{o(n)}$ ,  $P'_o = 1,05 P_{o(n)}$  и  $P''_o = 0,95 P_{o(n)}$  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  $D_o$ . При расчете поправки для случая  $P'_o = 1,05 P_{o(n)}$ , значения  $P^c_{o(n)}$  и  $P^c_o$  определяют при равных расходах  $D_o$ , соответствующих их значениям в точках I', 2', 3, 4, 3', 4', 5, а значения  $P^{c''}_o$  и  $P^c_{o(n)}$  при  $P''_o = 0,95 P_{o(n)}$  – в точках I, 2, 3'', 4'', 3, 4, 5''.

В точках пересечения линий заданных давлений  $P = P'_{o1}$ ,  $P = P''_{o1}$ ,  $P = P^c_{o1}$  с линией  $t = t_{o(n)}$  по  $is$  – диаграмме находят значения энталпий  $i'_{o1}$ ,  $i_{o(n)}$ ,  $i''_{o1}$ .

Начальная точка для определения значений теплоперепадов находится на пересечении соответствующих линий начальной энталпии пара  $i'_{o1}$ ,  $i_{o(n)}$ ,  $i''_{o1}$  и давления пара перед соплами I-й ступени

пени  $P_{o1}^{c'}$ ,  $P_{o(n)}^c$ ,  $P_{o1}^{c''}$ .

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

- для исходных (номинальных) значений  $P_{o(n)}$ ,  $i_{o(n)}$  ( $t_{o(n)}$ ),  $P_o^c$  и заданных  $P_{o1}'$ ,  $i_{o1}'$  ( $t_{o(n)}$ ),  $P_{o1}^{c'}$ ;

- для исходных и заданных значений  $P_{o1}''$ ,  $i_{o1}''$ ,  $P_{o1}^{c''}$ , а также рассчитывается отношение  $\frac{\Delta h_{o1}^{P_o^c-P_2}}{h_{o1(n)}^{P_o^c-P_2}}$  или  $\frac{\Delta h_{o1}^{P_o^c-P_2}}{\Delta h_{o1(n)}^{P_o^c-P_2}}$ .

Аналогичным способом определяются теплоперепады и рассчитываются их изменения для условий  $P_{o2}' = 1,1 P_{o(n)}$  и  $P_{o2}'' = 0,9 P_{o(n)}$ .

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  $P_{p,st}$  при исходных ( $h_{p,st(n)}$ ) и измененных давлениях свежего пара ( $h_{p,st}'$ ,  $h_{p,st}''$ ). Давление пара  $P_{p,st}$  определяется по зависимости  $P_{p,st} = f(D_o)$  при выбранных для расчета поправки значениях  $D_o$ .

По зависимости  $\eta_{oi,p,st} = f(h_{p,st})$  (рис. 5, а, 5, б, б) применительно к соответствующему типу регулирующей ступени по значениям  $h_{p,st(n)}$  и  $h_{p,st}'$ ,  $h_{p,st(n)}$  и  $h_{p,st}''$  оценивается изменение КПД регулирующей ступени  $\Delta \eta_{oi,p,st}$ . Поправку к мощности  $\Delta N_{p,st}$  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) ( $\frac{\Delta N_{p,st}}{N_t}$  или  $\Delta N_{p,st}$ ) вследствие изменения КПД регулирующей ступени  $\eta_{oi,p,st}$  при отклонении давления свежего пара на  $\pm 10\%$  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 рассмотр-

ральных факторов, и они могут быть использованы при расчетах поправки к мощности турбоагрегата на отклонение давления сверх его пара (перед отсеком). Для возможности определения значения рассматриваемой поправки при отклонении давления на значение, отличающееся от  $\pm 10\%$ , принятых при построении графиков приложения 2, рекомендуется построить новые линии  $\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} = f\left(\frac{D_o}{D_{o\max}}\right)$

или  $\Delta N_{p,ct} = f\left(\frac{D_o}{D_{o\max}}\right)$  для заданного (искомого) отклонения давления с использованием метода интерполяции. Необходимые значения для построения этих линий определяются как:

$$\left(\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T}\right)_{\Delta P_o} = \left(\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T}\right) \frac{\Delta P}{0,1 P_{o(n)}},$$

$$D_o(\Delta P_o) = D_o \frac{1 \pm \frac{\Delta P_o}{P_{o(n)}}}{1 \pm 0,1},$$

где

$\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T}$  – значение поправки при отклонении давления пара на  $\pm 10\%$  от исходного (номинального); определяется по упомянутой кривой поправок для заданных значений расходов пара  $D_o$ ;

$\Delta P$  – 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 промпрегрева пара при отсутствии отбора пара, а также турбин типа Р:

$$\alpha_N^P = \frac{\Delta N_T^{P_o}}{N_{T(n)}} = \left( \frac{\Delta h_{ox}^{P_o - P_2}}{h_{ox(n)}^{P_o - P_2}} B + \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} \right) 10^2; \quad (2.2)$$

– для теплофикационных турбин при заданных значениях

$$Q_{otb} = const: \quad \alpha_N^P = \frac{\Delta N_T^{P_o}}{N_{T(n)}} = \left( \frac{\Delta h_{ox}^{P_o - P_2}}{h_{ox(n)}^{P_o - P_2}} B \frac{(t-C)}{(t-D)} + \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} \right) 10^2; \quad (2.2')$$

– для теплофикационных турбин при заданных значениях

$$Q_{otb} = const:$$

$$\alpha_n^p = \frac{\Delta N_T^{p_0}}{N_{T(n)}} = \left( \frac{\Delta h_{ox}^{p_0-p_2}}{h_{ox(n)}^{p_0-p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} + E \right) 10^2. \quad (2.2'')$$

В формулах (2.2), (2.2'), (2.2'') и далее поправка  $\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T}$

выражена в долях.

Для турбин с промперегревом пара в формулах (2.2), (2.2')

и (2.2'') под отношением  $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0-p_2}}{h_{ox}^{p_0-p_2}}$

подразумевается

$$\frac{h_{ox}^{p_0-p_2}}{h_{ox}^{p_0-p_2}}$$

отношение  $\frac{\Delta h_0^{p_0-p_2}_{изд}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}_{изд}}$  (см.разд. 2.1.1).

$$h_{0(n)}^{p_0-p_2}_{изд} \left( 1 + \frac{h_{ox}^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}_{изд}} \right)$$

Если расширение пара происходит в области перегретого пара, то

отношение  $\frac{\Delta h_{ox}^{p_0-p_2}}{h_{ox(n)}^{p_0-p_2}}$  заменяется отношением  $\frac{\Delta h_0^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}}$ .

Способы определения отдельных сомножителей, входящих в выражения

$$B = \frac{0,99}{(1-K_{perz}^N) D_{3M}}, \quad C = \sum \left( \frac{D_{otb}}{D_0} \alpha \right), \quad D = \sum \left( \frac{D_{otb}}{D_0} \beta \right),$$

были рассмотрены выше.

При определении коэффициента  $\alpha$  (по формуле I.20) для случая, когда поправка определяется при неизменном расходе пара в отбор ( $D_{otb} = const$ ), отношение  $\frac{h_0^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}}$  может быть заменено отношением расположаемых теплопередатов от состояния пара перед регулирующими органами (в камере регулируемого отбора)  $\frac{h_p^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}}$ ,

$$\alpha = \frac{B(1-K_{perz}^N) \left( \frac{h_0^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}} - 1 \right)}{\left( \frac{h_p^{p_0-p_2}}{h_{0(n)}^{p_0-p_2}} - 1 \right)} .$$

Это положение может быть использовано и при расчете поправок для условия  $Q_{otb} = const$ , 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 паропуск органом).

Применительно к теплофикационным турбинам с одним регулируемым отбором пара типа II или T (включая турбины типа T-50, T-100 и т.п.) коэффициент  $a$  определяется как

$$a_{n(r)} = \frac{\beta_n(r) (1 - K_{reg}^N) \left( \frac{h_o^{P_n(r)-P_2}}{h_o^{P_n(r)-P_2} - 1} \right)}{\left( \frac{h_o^{P_o^c-P_2}}{h_o^{P_o^c-P_2} - 1} \right)} .$$

Для турбина с двумя регулируемыми отборами пара типа PT коэффициент  $a$  определяется для каждого отбора:

$$a_n = \frac{\beta_n (1 - K_{reg}^N) \left( \frac{h_o^{P_n-P_2}}{h_o^{P_n-P_2} - 1} \right)}{\left( \frac{h_o^{P_o^c-P_2}}{h_o^{P_o^c-P_2} - 1} \right)} \quad \text{или}$$

$$a_n = \frac{\beta_n (1 - K_{reg}^N) \left[ \frac{h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}}}{(h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}})_n} - 1 \right]}{\left[ \frac{h_{o.\text{ЧВД}} + h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}}}{(h_{o.\text{ЧВД}} + h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}})_n} - 1 \right]} ;$$

$$a_T = \frac{\beta_T (1 - K_{reg}^N) \left[ \frac{h_o^{P_T-P_2}}{h_o^{P_T-P_2} - 1} \right]}{\left[ \frac{h_o^{P_o^c-P_2}}{h_o^{P_o^c-P_2} - 1} \right]} \quad \text{или}$$

$$a_T = \frac{\beta_T (1 - K_{reg}^N) \left[ \frac{h_{o.\text{ЧНД}}}{h_{o.\text{ЧНД}}(n)} - 1 \right]}{\left[ \frac{(h_{o.\text{ЧВД}} + h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}})}{(h_{o.\text{ЧВД}} + h_{o.\text{ЧСД}} + h_{o.\text{ЧНД}})_n} - 1 \right]} .$$

(Коэффициент  $\beta_T$  приведен в разд.I.5).

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

$$h_{o. ЧВД} = i_o - i_{2t. ЧВД};$$

$$h_{o. ЧСД} = i_{2ЧВД} - i_{2t. ЧСД};$$

$$h_{o. ЧНД} = i_{2ЧСД} - i_{2t. ЧНД};$$

$$h_{o. ЧВД(и)} = i_{o(i)} - i_{2t. ЧВД(и)};$$

$$h_{o. ЧСД(и)} = i_{2ЧВД(и)} - i_{2t. ЧСД(и)};$$

$$h_{o. ЧНД(и)} = i_{2ЧСД(и)} - i_{2t. ЧНД(и)}.$$

При определении теплоперепадов на ЧНД ( $h_{o. ЧНД}$ ) 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:

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

$$\eta_{oi. ЧСД(и)} = \eta_{oi. ЧСД} = 0,65 + 0,85;$$

$$\eta_{oi. ЧНД(и)} = \eta_{oi. ЧНД} = 0,65 + 0,85.$$

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

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

Отношение  $\frac{\Delta i_{атб}}{i_{атб} - i_{возд}}$ , входящее в приведенное ранее выражение  $E$ , целесообразно определять в процессе расчета изменения теплоперепадов  $\left( \frac{\Delta h_{ox}^{P_0^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{P_0^c - P_2}}, \frac{\Delta h_o^{P_0^c - P_2}}{h_{o(i)}^{P_0^c - P_2}} \right)$ .

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

$$\Delta i_{\text{отб}} = \Delta i_o - (h_o^{\rho_c - p_p} - h_{o(n)}^{\rho_c - p_p}) \eta_{oi}^{\rho_c - p_p},$$

где  $\Delta i_o = i_o - i_{o(n)}$  - изменение начальной энталпии при отклонении начальных параметров пара;

$h_{o(n)}^{\rho_c - p_p} = i_{o(n)} - i_{t_{\text{отб}}(n)}^{\rho_c - p_p}$ ,  $i_{t_{\text{отб}}(n)}^{\rho_c - p_p} = i_o - i_{t_{\text{отб}}}$  - располагаемые теплоперепады от состояния пара перед соплами I-й ступени до давления пара в камере регулируемого отбора соответственно при исходных и измененных параметрах пара;

$i_{t_{\text{отб}}(n)}$  и  $i_{t_{\text{отб}}}$  - энталпии пара в отборе при теоретическом процессе расширения пара; определяются по  $is$ -диаграмме в точке пересечения линии  $P=P_{\text{отб}}$  соответственно с линией  $s=s_{o(n)}^c$  и  $s=s_o^c$ .

Разность ( $i_{\text{отб}} - i_{\text{отб}}$ ) может быть принята равной 530-550 ккал/кг.

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

- в производственном отборе

$$\Delta i_{\text{отб}} = \Delta i_n = \Delta i_o - (h_{o.\text{чвд}} - h_{o.\text{чвд}(n)}) \eta_{oi.\text{чвд}};$$

- в теплофикационном отборе

$$\Delta i_{\text{отб}} = \Delta i_r = \Delta i_o - (h_{o.\text{чвд}} - h_{o.\text{чвд}(n)}) \eta_{oi.\text{чвд}} - (h_{o.\text{чсд}} - h_{o.\text{чсд}(n)}) \eta_{oi.\text{чсд}}.$$

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

Значения мощности  $N_{T(n)}$ , необходимые для расчета составляющей  $\frac{\Delta N_{P.\text{ст}}}{N_{T(n)}}$ , определяются по расходной характеристике или диаграмме режимов для принятых в расчете поправок значений  $D_o, D_n \left(\frac{D_n}{D_o}\right), D_T \left(\frac{D_T}{D_o}\right)$

при исходных параметрах пара.

При расчетах изменений теплоперепадов для турбии с промперегревом пара рекомендуется также одновременно определять изменения энталпий свежего пара  $\Delta i_o$ , пара за ЦВД (на промперегрев)  $\Delta i_{2\text{ЦВД}} = \Delta i'_{pp}$ , которые будут использованы в дальнейшем при расчете поправки к расходу тепла на турбоагрегат:

$$\Delta i_o = i_o - i_{o(i)} ;$$

$$-\Delta i'_{pp} = \Delta i_o - (h_o^{\rho_o^c - P_2\text{ЦВД}} - h_{o(i)}) \eta_{oi}^{\rho_o^c - P_2\text{ЦВД}} .$$

Значения  $\eta_{oi}^{\rho_o^c - P_2\text{ЦВД}}$  принимаются постоянными и равными примерно 0,82–0,85.

## 2.2. Поправка к мощности теплоэнергетического турбоагрегата

при работе его по тепловому графику

при  $D_{от\delta} = const$

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

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

$$\alpha_N^p = \frac{\Delta N_T^p}{N_T} = \left[ \frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o^c - P_2} (1-C)}{h_{ox(i)}^{\rho_o^c - P_2} (1-D)} B + \frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} + E' \right] 10^2; \quad (2.3)$$

– при дроссельном регулировании паронпуска

$$\alpha_N^p = \frac{\Delta N_T^p}{N_T} = \left( \frac{\Delta h_{ox}^{\rho_o^c - P_2}}{h_{ox(i)}^{\rho_o^c - P_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + E' \right) 10^2. \quad (2.3')$$

Изменение теплоперепадов на турбину (отсек) при расчетах поправок определяется в соответствии с указаниями разд.2.1 применительно к соответствующей зоне регулирования паронпуска.

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

$$E' = \sum \frac{\Delta D_{от\delta}}{N_T (1 - K_{per}) \Delta d_o^{\rho_o^c - P_p}},$$

где

$$\Delta D_{отб} = D_{отб} \frac{\Delta i_{отб}}{i_{отб} - \bar{i}_{возд}} .$$

Сомножитель  $(1 - K_{пер}^D)$  определяется по кривым рис.4 в соответствии с температурой питательной воды или конденсата на входе в первый (по ходу воды) регенеративный подогреватель, отосящийся к рассматриваемому отсеку (части) турбины, и давлением пара в первом регенеративном отборе пара; относительный прирост по расходу пара  $\Delta d_g^{P_0 - P_p}$  определяется в соответствии с указаниями разд. I.6.

Для турбина типа Р процесс расширения пара, как правило, проходит в области перегретого пара. Поэтому при расчетах поправки в формулах (2.3) и (2.3') отношение  $\frac{\Delta h_{ox}^{P_0 - P_2}}{h_{ox}^{P_0 - P_2}}$  должно быть

заменено отношением  $\frac{\Delta h_g^{P_c - P_2}}{h_g^{P_c - P_2}}$ , а сомножители (I - C) и (I - D) должны быть приняты равными 1.

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

$$E' = \frac{\Delta D_{np}}{(1 - K_{пер}^D) \Delta d_g N_t} ,$$

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

$$\Delta D_{np} = D_{np} \frac{\Delta i_{np}}{i_{np} - \bar{i}_{возд}} .$$

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

Результаты расчетов поправок к мощности, рассмотренные в разд. 2.1, 2.2, рекомендуется свести в таблицы, по данным которых строятся nomogramms, 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.)

$$\alpha_N^{\rho_o} = f \left[ D_o, P_o, \frac{D_n(T)}{D_o} \left( \frac{Q_{n(T)}}{Q_o} \right) \right];$$

- для теплоэнергетических турбин с двумя регулируемыми отборами пара

$$\alpha_N^{\rho_o} = f \left[ D_o, P_o, \frac{D_n}{D_o} \left( \frac{Q_n}{Q_o} \right), \frac{D_T}{D_o} \left( \frac{Q_T}{Q_o} \right) \right];$$

- для турбин с противодавлением типа Р

$$\alpha_N^{\rho_o} = f (D_o, P_{np}).$$

### 2.3. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_T = \text{const}$

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

В разд. 2.1 приведены указания по расчету поправок к мощности в относительных единицах (в %). Поправки в абсолютных значениях составят

$$\Delta N_T^{\rho_o} = N_T \frac{\alpha_N^{\rho_o}}{100} . \quad (\text{kVt}, \text{Mvt}).$$

Значения  $N_T$  определяются по расходным характеристикам или диаграммам реалиев при исходных условиях их построения для задаваемых для расчета поправок расходов пара  $D_o, D_n(Q_n), D_T(Q_T)$ .

Расчет поправок целесообразно производить для тех же значе-

ний  $D_o, \frac{D_n}{D_o} \left( \frac{Q_n}{Q_o} \right), \frac{D_T}{D_o} \left( \frac{Q_T}{Q_o} \right)$ , для которых выполнен расчет поправок к мощности (см. разд. 2.1).

В приводимых в дальнейшем формулах для расчета поправок величины  $\Delta d_o, \Delta q_o, \Delta N_T, N_T, D_o, Q_o$  должны иметь размерности соответственно  $\tau / (\text{Mvt} \cdot \text{ч}), \text{Гкал} / (\text{Mvt} \cdot \text{ч}), \text{Mvt}, \text{Mvt}, \tau / \text{ч}, \text{Гкал} / \text{ч}$ .

#### 2.3.1. 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

$$\Delta D_o = -\Delta d_o \Delta N_T^{\frac{P_o}{N}} = -\Delta d_{o(n)} \frac{\Delta N_T^{\frac{P_o}{N}}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{\frac{P_o}{N}}}{100}\right)} \quad (2.4)$$

или

$$\Delta D_o = -\Delta d_{o(n)} \frac{\alpha_N^{\frac{P_o}{N}}}{\left(100 + \alpha_N^{\frac{P_o}{N}}\right)} N_{T(n)}; \quad (2.4')$$

- в относительных единицах, %

$$\alpha_{D_o}^{\frac{P_o}{N}} = \frac{\Delta D_o}{D_{o(n)}} = -\Delta d_{o(n)} \frac{\Delta N_T^{\frac{P_o}{N}}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{\frac{P_o}{N}}}{100}\right) D_{o(n)}} \cdot 10^2 \quad (2.5)$$

или

$$\alpha_{D_o}^{\frac{P_o}{N}} = -\Delta d_{o(n)} \frac{\alpha_N^{\frac{P_o}{N}} N_{T(n)}}{\left(100 + \alpha_N^{\frac{P_o}{N}}\right) D_{o(n)}} \cdot 10^2. \quad (2.5')$$

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

$$\Delta D_o = -(\Delta d'_{o(n)} \Delta N'_T + \Delta d''_{o(n)} \Delta N''_T) \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{\frac{P_o}{N}}}{100}\right)},$$

где  $\Delta d'_{o(u)}$  и  $\Delta d''_{o(u)}$  - относительные приrostы отрезков, на которых расположаются соответственно начало окрестности (точка со значением  $N_T = N_{T(u)}$ ) и ее окончание [точка с значением  $N_T = (N_{T(u)} - \Delta N_T^B)$ ];

$\Delta N'_T, \Delta N''_T$  - значение поправки  $\Delta N_T^B$ , приходящееся на участок соответственно от заданной точки  $N_{T(u)}$  до точки сопряжения отрезков  $N_{T(c)}$ , и от этой точки до точки  $(N_{T(u)} - \Delta N_T^B)$ ,  
 $\Delta N'_T + \Delta N''_T = \Delta N_T^B$ .

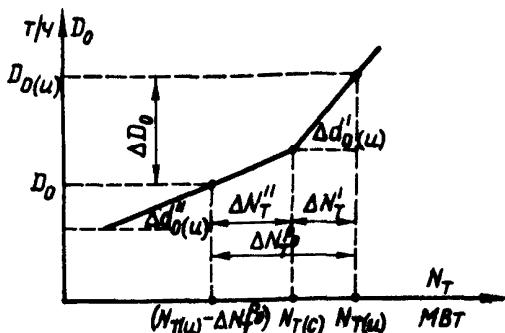


Рис. I4. Определение поправки к расходу пара  $\Delta D_g$  в зоне излома зависимости  $D_g = f(N_T)$

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  $K_{pp} = K_{pp(i)}$ . Однако отклонение начальных параметров пара перед турбиной вызывает изменение энталпий пара в регенеративных отборах пара и расходов пара на подогреватели, что приводит и к изменению расхода пара на промперегрев  $D_{pp}$ . Таким образом, при  $K_{pp} \neq K_{pp(i)}$  и при более строгом расчете поправок в соответствующих формулах необходимо прибавить (алгебраически) дополнительную поправку:

- в формуле (I.4)

$$\Delta Q_{\Delta K_{pp}} = D_{o(i)} \Delta K_{pp} (i''_{pp(i)} - i'_{pp(i)});$$

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

$$\alpha_{\Delta K_{pp}} = \frac{\Delta K_{pp} (i''_{pp(i)} - i'_{pp(i)})}{[(i_{o(i)} - \bar{t}_{n\beta(i)}) + K_{pp(i)} (i''_{pp} - i'_{pp})]}.$$

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

$$\Delta K_{pp} = (1 - K_{pp(i)}) \frac{\Delta i_{per}}{500},$$

где  $\Delta i_{per}$  - средневзвешенное отклонение энталпии граничного пара регенеративных подогревателей (отборов) с давлением пара  $P \geq P_{248d}^i = P'_{pp}$ , ккал/кг; от-

клонение энталпии в каждом отборе определяется по  $i_s$ -диаграмме при расчетах отклонений тепло-перепадов (см.рис.3,д).

$$\Delta i_{per}^I = (i_{per}^I - i_{per(i)}^I);$$

$$\Delta i_{per}^{II} = (i_{248d}^I - i_{248d(i)}^I);$$

$$\Delta i_{per} = \Delta i_{per}^I \frac{\Delta \bar{t}_{n\beta}^I}{\Delta \bar{t}_{n\beta}^I + \Delta \bar{t}_{n\beta}^{II}} + \Delta i_{per}^{II} \frac{\Delta \bar{t}_{n\beta}^{II}}{\Delta \bar{t}_{n\beta}^I + \Delta \bar{t}_{n\beta}^{II}}.$$

Здесь  $\Delta \bar{t}_{n,\delta}^I$ ,  $\Delta \bar{t}_{n,\delta}^{II}$  – повышение энталпии 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 энталпии свежего пара примерно на 6 ккал/кг дополнительная поправка составляет:

– для конденсационных турбин примерно 0,05%;

– для теплоизационных турбин примерно  $\frac{0,05}{1 - \frac{\sum Q_{\text{отб}}}{Q_o}} \%$ .

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

$$\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(n)} (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + \Delta D_o (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)})$$

или  $\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(n)} (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) - \Delta q_{o(n)} \frac{\alpha_N^{P_o}}{100 + \alpha_N^{P_o}} N_{T(n)}$ ; (2.6)

для турбин с промперегревом пара

$$\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(n)} \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} \Delta i'_{nn} + \Delta K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right] +$$

$$+ \Delta D_o \left[ (i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\delta(n)}) + K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right]$$

или

$$\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(n)} \left[ (\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\delta}) + K_{nn} \Delta i'_{nn} + \Delta K_{nn} (i''_{nn(n)} - i'_{nn(n)}) \right] -$$

$$- \Delta q_{o(n)} \frac{\alpha_N^{P_o}}{(100 + \alpha_N^{P_o})} N_{T(n)} ; \quad (2.7)$$

- в относительных единицах, %:  
для конденсационных турбин

$$\frac{\Delta Q_3}{Q_3} = \frac{\Delta Q_o}{Q_o} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_o}) 10^2; \quad (2.8)$$

для теплоэнергетических турбин

$$\frac{\Delta Q_3}{Q_3} = (\alpha_{\Delta i} + \alpha_{\Delta D_o}) \frac{10^2}{\left(1 - \frac{\sum Q_{от\delta}}{Q_o}\right)}. \quad (2.9)$$

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

- для турбин без промперегрева пара

$$\alpha_{\Delta i} = \frac{\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\beta}}{i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\beta(n)}}; \quad (2.10)$$

- для турбин с промперегревом пара

$$\alpha_{\Delta i} = \frac{(\Delta i_o - \Delta \bar{t}_{n,\beta}) + K_{pp} \Delta i'_{pp} + \Delta K_{pp} (i''_{pp(n)} - i'_{pp(n)})}{(i_{o(n)} - \bar{t}_{n,\beta(n)}) + K_{pp} (i''_{pp(n)} - i'_{pp(n)})}; \quad (2.10')$$

- для конденсационных и теплоэнергетических турбин

$$\alpha_{\Delta D_o} = \frac{\Delta D_o}{D_o} = -\Delta d_{o(n)} \frac{\alpha_N^{P_o} N_{T(n)}}{(100 + \alpha_N^{P_o}) D_{o(n)}} = -\Delta Q_{o(n)} \frac{\alpha_N^{P_o} N_{T(n)}}{(100 + \alpha_N^{P_o}) Q_{o(n)}}. \quad (2.11)$$

Изменение энталпии питательной воды за последним (по ходу воды) ПВД  $\Delta \bar{t}_{n,\beta}$  определяется как

$$\Delta \bar{t}_{n,\beta} = \bar{t}_{n,\beta}(D_o + \Delta D) - \bar{t}_{n,\beta}(D_{o(n)}). \quad *$$

Значения энталпии питательной воды  $\bar{t}_{n,\beta}(D_{o(n)})$  и  $\bar{t}_{n,\beta}(D_{o(n)} + \Delta D)$ , отвечающие расходам свежего пара соответственно  $D_{o(n)}$  и  $(D_{o(n)} + \Delta D)$ , определяются по зависимости  $\bar{t}_{n,\beta} = f(D_o)$ .

Методы определения значений  $\Delta i_o$ ,  $\Delta i'_{pp}$ ,  $\Delta K_{pp}$  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 nomogramm для задаваемых значений  $P_o$ ,  $D_o$ ,  $\frac{D_p}{D_o} \left( \frac{Q_p}{Q_o} \right)$ ,  $\frac{D_T}{D_o} \left( \frac{Q_T}{Q_o} \right)$  и  $Q_{от\delta} = const$ .

Результаты расчетов поправок к расходу тепла целесообразно свести в таблицы, по данным которых строятся соответствующие номограммы, связывающие значения поправок  $\frac{\Delta Q_1}{Q_0}$ ,  $\frac{\Delta Q_2}{Q_0}$ ,  $\Delta Q_0 = \Delta Q$ ,

со значениями отклонений давления свежего пара, с расходами свежего пара, тепла в регулируемые отборы при соответствующих условиях, аналогично номограммам поправок к мощности (см. раздел 2.2).

### 3. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕЖЕГО ПАРА ПРИ $P_o = const$

#### 3.1. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_o = const$

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

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°C. 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  $t = t_o = const$  с линиями  $P = P_o = const$  в зоне соплового регулирования паровпуска, поскольку, как показывают расчеты, при незначительной разнице в значениях давлений  $P_o^c$  и  $P_o$  в этой зоне отношения теплоперепадов, определяемых от состояния пара по темпе-

ратуре  $t_o$  и давлениям  $p_o^c - h_{ox}^{p_o^c - p_2}$  и  $p_o - h_{ox}^{p_o - p_2}$ , практически равны, т.е.

$$\frac{h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(n)}^{p_o^c - p_2}} = \frac{h_{ox}^{p_o - p_2}}{h_{ox(n)}^{p_o - p_2}};$$

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

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

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

- задаются значениями температур свежего пара, например

$t_{o(n)}, t'_{o1} = t_{o(n)} + 10^\circ C; t'_{o2} = t_{o(n)} + 20^\circ C; t''_{o1} = t_{o(n)} - 10^\circ C; t''_{o2} = t_{o(n)} - 20^\circ C$  принимаются значения давления  $P_2$  (в соответствии с указаниями разд.2.1.1);

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

- 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.1.4) на турбину (отсек) и вычисляются их относительные изменения;

- определяются вспомогательные коэффициенты  $a, b, B$  и отдельные составляющие основных уравнений  $C, D, E$  в соответствии с указаниями разд.2.1.1, 2.1.2 и 1.5;

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

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

$$\alpha_N^{t_o} = \frac{\Delta N_T^{t_o}}{N_{T(n)}} = \frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(n)}^{p_o^c - p_2}} B \cdot 10^2; \quad (3.1)$$

для теплоэнергетических турбин при заданных значениях

$$D_{\text{отб}} = \text{const} \quad \alpha_N^{t_o} = \frac{\Delta N_T^{t_o}}{N_T(u)} = \frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(u)}^{p_o^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} 10^2; \quad (3.1')$$

для теплоэнергетических турбин при заданных значениях

$$Q_{\text{отб}} = \text{const} \quad \alpha_N^{t_o} = \frac{\Delta N_T^{t_o}}{N_T(u)} = \left[ \frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(u)}^{p_o^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} 10^2 + E \cdot 10^2 \right]. \quad (3.1'')$$

При расчете поправок к мощности для турбин с промперегревом пара в формулы (3.1), (3.1'), (3.1'') вместо отношения

$$\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(u)}^{p_o^c - p_2}} \quad \text{подставляется} \quad \frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2 \text{ цвд}}}{h_o(u) \left( 1 + \frac{h_{ox(u)}^{p_o'' - p_2}}{h_o(u)^{p_o^c - p_2 \text{ цвд}}} \right)}.$$

Для турбин типа Р следует использовать формулу (3.1).

Если расширение пара происходит полностью в области перегре-

того пара, то отношение  $\frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{\Delta h_o^{p_o^c - p_2}}$  заменяется отношением  $\frac{\Delta h_o^{p_o^c - p_2}}{h_o(u)}$ .

Расчет поправок рекомендуется выполнять для нескольких значений противодавлений  $p'_2 > p_{2(u)} > p''_2$  ( $p_2 = p_{np}$ ).

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 теплоэнергетического турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{\text{отб}} = \text{const}$

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

$$\alpha_N^{t_o} = \frac{\Delta N_T^{t_o}}{N_T} = \left( \frac{\Delta h_{ox}^{p_o^c - p_2}}{h_{ox(u)}^{p_o^c - p_2}} B \frac{(1-C)}{(1-D)} + E' \right) 10^2. \quad (3.2)$$

Изменение теплоперепадов на турбину (отсек) при расчетах поправок определяется в соответствии с указаниями разд.3.1.

Методы определения значений  $B$ ,  $C$  и  $D$  приведены в разд. 2.1.1, 2.1.2 и 1.5.

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 турбины типа Р определяется по формуле

$$\alpha_N^{t_o} = \frac{\Delta N_T^{t_o}}{N_T} = \left( \frac{\Delta h_b^{P_0'' - P_2}}{h_{D(u)}^{P_0'' - P_2}} B + E' \right) 10^2. \quad (3.2)$$

### 3.3. Поправка к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_T = \text{const}$

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  $\alpha_N^{t_o}$ ,  $\Delta N_T^{t_o}$ .

Все указания в разд.2.3, 2.3.1 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 ( $t_{пп} = t_{пп}'' = t_{oцсд}$ )

##### 4.1. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_o = \text{const}$

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

$$P_{пп}'' = P_{oцсд} = P_{oцсд(u)} \sqrt{\frac{t_{oцсд} + 273}{t_{oцсд(u)} + 273}}.$$

В результате изменится и давление пара за ЦВД, новое значение которого будет определяться как  $P_{2\text{ЦВД}} = P_{0\text{ЦСД}} + \Delta P_{pp(i)}$

(здесь пренебрегли несущественным отклонением значения  $\Delta P_{pp}$ ).

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;

$$\Delta h_{ox}^{\rho_c - \rho_2} = \Delta h_{ox(t_{pp}^u)}^{\rho_{pp}^u - \rho_2} + \Delta h_{ox(P_{pp}^u)}^{\rho_{pp}^u - \rho_2} + \Delta h_o^{\rho_c - \rho_{2\text{ЦВД}}};$$

- в относительных единицах (долях)

$$\frac{\Delta h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}}{h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}} = \frac{\Delta h_{ox(t_{pp}^u)}^{\rho_{pp}^u - \rho_2}}{h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}} + \frac{\Delta h_{ox(P_{pp}^u)}^{\rho_{pp}^u - \rho_2}}{h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}} + \frac{\Delta h_o^{\rho_c - \rho_{2\text{ЦВД}}}}{h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}},$$

где  $\Delta h_{ox(t_{pp}^u)}^{\rho_{pp}^u - \rho_2}$

- изменение теплового перепада отсека ЦСД + ЧНД только за счет отклонения температуры пара перед ЦСД от значения  $t_{o\text{ЦСД}(i)}$  при условии

$$P_{o\text{ЦСД}} = P_{o\text{ЦСД}(i)} \text{ и } P_2 = P_2(i);$$

- дополнительное изменение теплоперепада за счет отклонения давления пара перед ЦСД от значения  $P_{o\text{ЦСД}(i)}$ ;

$\Delta h_o^{\rho_c - \rho_{2\text{ЦВД}}}$

- изменение теплоперепада ЦВД за счет отклонения давления пара за ЦВД от значения  $P_{2\text{ЦВД}(i)}$ ;

$h_{ox}^{\rho_c - \rho_2}$

- 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  $t_m^u$  при неизменном давлении пара перед ЦСД ( $P_{pp}^u = \text{const}$ );

б) различием значений изменения теплоперепадов на ЦВД и отсек ЦСД + ЧНД за счет повышения давления пара  $P_{pp}^u$  ( $P_o = \text{const}$ )

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

в) различием расходов пара, выходящего из ЦВД ( $D_{\text{ЦВД}}^{\text{вых}}$ ) и направляемого на промперегрев ( $D_{\text{пп}}$ ), 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 шп. б и в, удобно представить отдельной дополнительной поправкой, в общем виде составляющей:

$$\alpha_{N(\text{гон})}^{t''_{\text{пп}}} = \frac{\left[ D_{\text{ЦВД}}^{\text{вых}} \cdot \Delta h_o \frac{P_0^c - P_{2\text{ ЦВД}}}{P_{2\text{ ЦВД}}} + D_{\text{пп}} \cdot \Delta h_{ox} \frac{P_{\text{пп}}^{\prime\prime} - P_2}{P_{\text{пп}}^{\prime\prime}} \right] \cdot 0,99}{D_o h_{ox}^{P_0^c - P_2} \cdot (1 - K_{per}^N)} .$$

Расчеты показывают, что эта дополнительная поправка незначительна: на  $\pm \Delta t_{\text{пп}}^{\prime\prime} = 10^\circ\text{C}$  составляет  $\pm (0,025 \pm 0,03)\%$  – и в дальнейшем при расчетах полной поправки ее целесообразно определять

- в процентах:  $\alpha_{N(\text{гон})}^{t''_{\text{пп}}} = -0,003 \Delta t_{\text{пп}}^{\prime\prime}$ ,
- в долях:  $\alpha_{N(\text{гон})}^{t''_{\text{пп}}} = -0,3 \Delta t_{\text{пп}}^{\prime\prime} \cdot 10^{-4}$

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  $D_o$  (обычно четыре–пять значений);

- по зависимостям  $P_0^c = f(D_o)$ ,  $P_{2\text{ ЦВД}}(P'_{\text{пп}}) = f(D_o)$ ,  $P_{o\text{ ЦСД}}(P''_{\text{пп}}) = f(D_o)$

соответственно заданным значениям  $D_o$  определяются значения

- $P_{o(i)}^c$ ,  $P_{2\text{ ЦВД}(i)}(P'_{\text{пп}(i)})$ ,  $P_{o\text{ ЦСД}}(P''_{\text{пп}(i)})$ ;
- по исходным значениям  $P_{o(i)}^c$ ,  $t_{o(i)}$ ,  $P_{2\text{ ЦВД}(i)}$

определяются теплоперепады на ЦВД ( $h_{o(i)}$ ) (см. рис. 3, § и разд. 2.I.I);

– задаются значениями температур пара после промперегрева, например  $t''_{\text{пп}} = t''_{\text{пп}(i)}$ ,  $t''_{\text{пп}(1)} = t''_{\text{пп}(i)} + 10^\circ\text{C}$ ,  $t''_{\text{пп}(2)} = t''_{\text{пп}(i)} + 20^\circ\text{C}$ ,

$$t''_{nn(3)} = t''_{nn(u)} - 10^{\circ}C, \quad t''_{nn(4)} = t''_{nn(u)} - 20^{\circ}C,$$

для каждого из заданных значений  $D_o$  [соответствующего значению  $P_{o_{CSD}(u)}$  ( $P''_{nn(u)}$ )] и значений  $t''_{nn(u)}, t''_{nn(1)}, t''_{nn(2)}, t''_{nn(3)}, t''_{nn(4)}$  по линиям диаграммы определяют теплоперепады на отсек ЦСД + ЧНД и рассчитывают их изменения. Начальные точки теплоперепадов на отсек ЦСД + ЧНД ( $h_{ox(t''_{nn})}^{P''_{nn}-P_2}$ ) находятся на пересечении линий

$$P = P_{o_{CSD}}(P''_{nn(u)}) \quad \text{и} \quad t = t_{o_{CSD}}(t_{nn(u)});$$

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

для конденсационного режима

$$\alpha_N^{t''_{nn}} = \frac{\Delta N_T}{N_{T(u)}} = \left[ \frac{\Delta h_{ox(t''_{nn})}^{P''_{nn}-P_2} \cdot B}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} + h_{ox(n)}^{P''_{nn}-P_2}} - 0,3 \Delta t''_{nn} \cdot 10^{-4} \right] \cdot 10^2 \quad (4.1)$$

или

$$\alpha_N^{t''_{nn}} = \left[ \frac{\Delta h_{ox(t''_{nn})}^{P''_{nn}-P_2} \cdot B}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} \left( \frac{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} - P_{2_{CSD}}}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} + 1} \right) - 0,3 \Delta t''_{nn} \cdot 10^{-4}} \right] \cdot 10^2, \quad (4.1')$$

для теплоэнергетических турбин при работе по электрическому графику

$$\alpha_N^{t''_{nn}} = \frac{\Delta N_T}{N_{T(u)}} = \left[ \frac{\Delta h_{ox(t''_{nn})}^{P''_{nn}-P_2} \cdot B}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} \left( \frac{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} - P_{2_{CSD}}}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} + 1} \right) \left( \frac{1 - \frac{Q_T}{Q_o} \alpha_T}{1 - \frac{Q_T}{Q_o} \beta_T} \right)} + E \cdot 0,3 \Delta t''_{nn} \cdot 10^{-4} \right] \cdot 10^2 \quad (4.2)$$

для теплоэнергетических турбин при работе по тепловому графику

$$\alpha_N^{t''_{nn}} = \left[ \frac{\Delta h_{ox(t''_{nn})}^{P''_{nn}-P_2} \cdot B}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} \left( \frac{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} - P_{2_{CSD}}}{h_{ox(u)}^{P''_{nn}-P_2} + 1} \right) \left( \frac{1 - \frac{Q_T}{Q_o} \alpha_T}{1 - \frac{Q_T}{Q_o} \beta_T} \right)} + E \cdot 0,3 \Delta t''_{nn} \cdot 10^{-4} \right] \cdot 10^2 \quad (4.2')$$

Входящие в формулы (4.1) – (4.2') теплоперепады на отсеки ЦСД, 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 nomogramma, связывающая значение поправки с отклонениями температуры пара после промпредрева, 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, г/ч:

$$\Delta D_o = -\Delta d_{o(m)} \frac{\Delta N_t^{t_m''}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{t_m''}}{100}\right)} \quad (4.3)$$

или  $\Delta D_o = -\Delta d_{o(m)} \frac{\alpha_N^{t_m''} N_{T(m)}}{(100 + \alpha_N^{t_m''})} ; \quad (4.3')$

в относительных единицах, %:

$$\alpha_{D_o}^{t_m''} = -\Delta d_{o(m)} \frac{\Delta N_t^{t_m''}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{t_m''}}{100}\right) D_{o(m)}} \cdot 10^2 \quad (4.4)$$

или  $\alpha_{D_o}^{t_m''} = -\Delta d_{o(m)} \frac{\alpha_N^{t_m''} N_{T(m)}}{(100 + \alpha_N^{t_m''}) D_{o(m)}} \cdot 10^2 . \quad (4.4')$

Поправка к расходу тепла на турбоагрегат рассчитывается по следующим формулам:

– в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(m)} \left[ K_{m1} (\Delta i_m'' - \Delta T_{m1}) + \Delta D_o \left( (i_m'' - T_{m1}) + K_{m1} (i_{m1}'' - i_{m1m1}) \right) \right]$$

или  $\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(m)} \left[ K_{m1} (\Delta i_m'' - \Delta T_{m1}) - \Delta Q_{o(m)} \frac{\alpha_N^{t_m''}}{(100 + \alpha_N^{t_m''})} N_{T(m)} \right] ; \quad (4.5)$

$$\Delta Q_o = \Delta Q_3 = D_{o(m)} (K_m \Delta i''_{mB} - \Delta t_{nB}) - \Delta Q_{o(m)} \frac{\Delta N_t^{t''_m}}{\left(1 + \frac{\alpha_{\Delta D_o}^{t''_m}}{100}\right)} ; \quad (4.5)$$

- в относительных единицах, %:

для конденсационных турбин

$$\frac{\Delta Q_3}{Q_3} = (\alpha_{\Delta L} + \alpha_{\Delta D_o}) \cdot 10^2 ; \quad (4.6)$$

для теплофикационных турбин

$$\frac{\Delta Q_3}{Q_3} = (\alpha_{\Delta L} + \alpha_{\Delta D_o}) \frac{10^2}{\left(1 - \frac{Q_T}{Q_o}\right)} . \quad (4.6)$$

В формулах (4.6), (4.6) обозначено:

$$\alpha_{\Delta L} = \frac{K_m \Delta i''_{mB} - \Delta t_{nB}}{(i_{o(m)} - t_{nB(m)}) + K_m (i''_{m(m)} - i'_{m(m)})} ;$$

$$\alpha_{\Delta D_o} = \frac{\Delta D_o}{D_{o(m)}} = -\Delta d_{o(m)} \frac{\alpha_N^{t''_m} N_{T(m)}}{(100 + \alpha_N^{t''_m}) D_{o(m)}} = -\Delta Q_{o(m)} \frac{\alpha_N^{t''_m} N_{T(m)}}{(100 + \alpha_N^{t''_m}) Q_{o(m)}} ;$$

$$\Delta i''_{mB} = i''_m - i''_{nB(m)} ; \quad \Delta t_{nB} = t_{nB(D_o + \Delta D_o)} - t_{nB(D_{o(m)})} .$$

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  $t''_m$ ,  $D_o$  и  $Q_T$  по соответствующим nomogramмам.

Результаты расчетов поправок к расходу тепла также целесообразно свести в таблицы, по данным которых строятся nomogramмы поправок к расходу тепла  $\frac{\Delta Q_o}{Q_3} \left( \frac{\Delta Q_3}{Q_3} \right) = f(t''_m, D_o, Q_T)$ .

## 5. ПОПРАВКИ НА ОТКЛЮНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТРАБОТАШЕГО 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)  $D'_2 (D_{4HD}) = \text{const}$ .

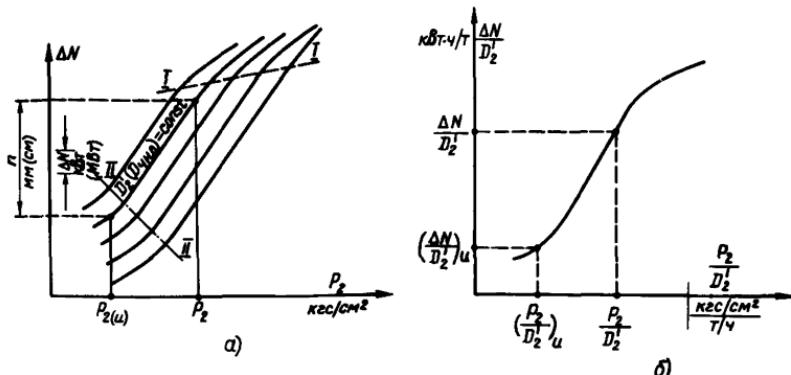


Рис. I5. Определение поправки к мощности турбоагрегата при отклонении давления отработавшего пара:

*α* – по сетке поправок на давление отработавшего пара; *δ* – 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  $\frac{\Delta N_T}{D'_2} = f\left(\frac{P_2}{D'_2}\right) \left[ \frac{\Delta N_T}{D_{4HD}} = f\left(\frac{P_2}{D_{4HD}}\right) \right]$ , 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 стекающего на первый по ходу конденсата регенеративный подогреватель низкого давления  $D_{n1}$  ( $D'_2 = D_2 + D_{n1}$ ).

На рис. I.5, 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

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

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

$n$  - длина отрезка (интервала) по оси  $\Delta N$  при движении по линии  $D'_2 = \text{const}$  от точки  $P_{2(H)}$  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  $\pm 0,01$  кгс/см<sup>2</sup>.

Для данной зоны поправка рассчитывается как

$$\Delta N_t^P_2 = \frac{\Delta N_T}{0,01} \cdot \Delta P_2 , \quad (5.1)$$

где  $\frac{\Delta N_T}{0,01}$  - поправка при отклонении давления  $P_2$  на  $0,01$  кгс/см<sup>2</sup>, кВт·см<sup>2</sup>/кгс (МВт·см<sup>2</sup>/кгс);

$\Delta P_2$  - задаваемое значение отклонения давления пара  $P_2$  кгс/см<sup>2</sup>.

Изменение мощности при отклонении давления отработавшего пара может быть определено по данным "универсальной кривой" поправок. Для этого по известным исходным значениям  $P_{2(H)}$  и  $D'_{2(H)}$  и заданном давлении пара  $P_2$  рассчитывают значения  $\frac{P_{2(H)}}{D'_{2(H)}}$  и  $\frac{P_2}{D'_{2(H)}}$  и, используя "универсальную кривую" поправок, определяют значения  $\frac{\Delta N_T}{D'_2}$  и  $\left(\frac{\Delta N_T}{D'_2}\right)_{(H)}$  (см. рис. I.5, б).

Поправка к мощности [в кВт (МВт)] рассчитывается (при условии

$D'_2 = D'_{2(H)}$ ) как

$$\Delta N_t^P_2 = \left[ \frac{\Delta N_T}{D'_2} - \left( \frac{\Delta N_T}{D'_2} \right)_{(H)} \right] \cdot D'_2 . \quad (5.2)$$

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

$$\alpha_N^{\beta_2} = \frac{\Delta N_T^{\beta_2}}{N_{T(H)}} \cdot 10^2. \quad (5.2)$$

Для построения nomограмм поправок  $\Delta N_T^{\beta_2} = f(N_T, P_2)$ ,  $\alpha_N^{\beta_2} = f(N_T, P_2)$  или  $\Delta N_T^{\beta_2} = f[D_{4HD}(D_2), P_2]$  и  $\alpha_N^{\beta_2} = f[D_{4HD}(D_2), P_2]$  может быть рекомендована следующая схема:

- для конденсационных турбин и теплоэнергетических 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)  $D_2(D_{4HD})$  при исходном (номинальном) значении давления  $P_2$ ;

- для турбина 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  $\Delta N_T^{\beta_2}$  и  $\alpha_N^{\beta_2}$ .

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

Поправки к расходу свежего пара  $\Delta D_0$  (в т/ч) и тепла  $\Delta Q_0(\Delta Q_3)$  (в Гкал/ч) на турбоагрегат в абсолютных значениях рассчитываются по следующим формулам:

в общем виде

$$\Delta D_0^{\beta_2} = -\Delta d_{\alpha(N)} \frac{\frac{\Delta N_T^{\beta_2}}{N_T}}{\left( 1 + \frac{\Delta N_{T_2}^{\beta_2} - \Delta N_{T_1}^{\beta_2}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right)}; \quad (5.3)$$

$$\Delta Q_0^{P_2} = \Delta Q_3 = -\Delta q_{o(m)} \frac{\Delta N_T^{P_2}}{\left(1 + \frac{\Delta N_{T2}^{P_2} - \Delta N_{T1}^{P_2}}{N_{T2} - N_{T1}}\right)}, \quad (5.3)$$

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):

$$\Delta D_o^{P_2} = -\Delta d_{o(m)} \Delta N_T^{P_2}; \quad (5.4)$$

$$\Delta Q_0^{P_2} = \Delta Q_3 = -\Delta q_{o(m)} \Delta N_T^{P_2}; \quad (5.4')$$

при равенстве отношений  $\frac{\Delta N_{T2}^{P_2}}{N_{T2}} = \frac{\Delta N_{T1}^{P_2}}{N_{T1}} = \alpha_N^{P_2} \cdot 10^2$ :

$$\Delta D_o^{P_2} = -\Delta d_{o(m)} \frac{\Delta N_T^{P_2}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{P_2}}{100}\right)}; \quad (5.5)$$

$$\Delta Q_0^{P_2} = \Delta Q_3 = -\Delta q_{o(m)} \frac{\Delta N_T^{P_2}}{\left(1 + \frac{\alpha_N^{P_2}}{100}\right)} \quad (5.5')$$

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

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

$$\alpha_{D_o}^{P_2} = \frac{\Delta D_o^{P_2}}{D_{o(m)}} \cdot 10^2; \quad (5.6)$$

- к расходу тепла:

для турбин без регулируемых отборов пара

$$\alpha_{Q_o}^{P_2} = \frac{\Delta Q_o^{P_2}}{Q_{o(m)}} \cdot 10^2; \quad (5.6')$$

для турбин с регулируемыми отборами пара

$$\alpha_{Q_3}^{P_2} = \frac{\Delta Q_3^{P_2} \cdot 10^2}{Q_{o(m)} \left(1 - \frac{\sum Q_{mI}}{Q_o}\right)}. \quad (5.6'')$$

Значения входящих в формулы (5.6), (5.6'), (5.6'') величин  $\Delta D_o^2$  и  $\Delta Q_o^2$ ,  $\Delta Q_3^2$  определяются по выражениям (5.3)–(5.5').

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

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

$$\left(\Delta D_o^2, \Delta Q_o^2\right) = f(N_t, P_2) ; \quad \left(\alpha_{D_o}^2, \alpha_{Q_o}^2\right) = f(N_t, P_2)$$

$$\text{или } \Delta D_o^2, \Delta Q_o = f(D_{4HD}, P_2); \alpha_{D_o}^2, \alpha_{Q_o}^2, \alpha_{Q_3}^2 = f(D_{4HD}, P_2)$$

принимаются либо непосредственно из таблиц расчетов nomogramm поправок к мощности (для всех принятых в расчетах значений  $N, P_2, D_{4HD}$ ), либо определяются по nomogrammам поправок.

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

### 6.1. Поправка к мощности турбоагрегата

Для расчета данной поправки необходимо располагать значениям 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  $P_2 = f(D_2, t_1')$ . Изменение давления в конденсаторе  $\Delta P_2 = (P_{2(n)} - P_2)$  (рис.16) определяют при условии постоянства расхода пара в конденсатор  $D_2 = const$ .

Получив для заданного изменения температуры  $t_1'$  значения  $\Delta P_2$  и пользуясь либо сеткой поправок к мощности, либо "универсальной кривой" поправок, рассмотренным в разд.5.I способом находит значения  $\Delta N_t^{t_1'}$ . Основные положения по расчету данных для построения nomogramмы поправок  $[\Delta N_t^{t_1'} = f(N_t, t_1')]$ ;  $\alpha_N^{t_1'} = f(N_t, t_1')$  — для конденсационных турбин

$$\text{и} \quad \Delta N_T^{t_1^{\theta}} = f[D_2(D_{4HD}), t_1^{\theta}] ; \quad \Delta_N^{t_1^{\theta}} = f[D_2(D_{4HD}), t_1^{\theta}] -$$

для теплоизационных турбин, изложенные в разд.5.1, 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  $\Delta N_T^{P_2}$ ,  $\Delta_N^{P_2}$  подставляются поправки  $\Delta N_T^{t_1^{\theta}}$ ,  $\Delta_N^{t_1^{\theta}}$ .

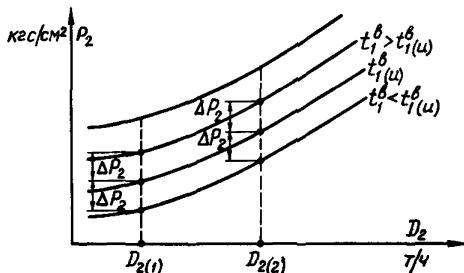


Рис. I6. Определение  
значения  $\Delta P_2$  при  
изменении  $t_1^{\theta}$  по ха-  
рактеристике конден-  
сатора

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

### 7.1. 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 нее). 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 турбии 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 осуществляется отбор пара, приводит к определенному изменению параметра ступени  $\frac{u}{C_o}$ , определяющего ее экономичность. Однако из-за ограниченности (по условиям прочности ступени) количества отбираемого пара изменение теплоперепада  $h$  на ступень и, следовательно, упомянутого параметра, равного  $\frac{u}{C_o} = \frac{u}{Kh}$ , также ограничено определенными пределами, причем для параметра  $\frac{u}{C_o}$  эти пределы будут более узкими.

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

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

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

$$\Delta N_{ct}^{\sigma} = \frac{\Delta h_{ct} \eta_{oicr} D_{ct} \cdot 0,99}{860} . \quad (7.1)$$

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)  $P = P_{ct(m)}$ ;

б) линии энтропии  $S = S_{ct(m)} = \text{const}$ , 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)  $P = P_{ct}$ .

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

- для конденсационных турбин (отсеков)

$$P = P_{ct} = P_{ct(m)} \left( 1 - \frac{D_{at}}{D_{ct}} \right); \quad (7.2)$$

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

$$P = P_{ct} = \sqrt{\left( 1 - \frac{D_{at}}{D_{ct(m)}} \right)^2 \left( P_{ct(m)}^2 - P_{pt(m)}^2 \right) + P_{pt(m)}^2}, \quad (7.2')$$

где  $P_{pt(m)}$  - давление пара за рассматриваемым отсеком (частью) турбины (противодавление), из которого осуществляется дополнительный отбор пара;

$\eta_{oicr}$  - внутренний относительный КПД ступени, принимаемый равным  $\eta_{oi} = 0,83 \div 0,87$ ; меньшее значение - для ступеней, работавших в области высоких давлений пара, большее - в области перегретого пара при относительно низких давлениях пара.

Расход пара через ступень определяется из материального баланса:

$$D_{ct} = D_o - \sum D_{out} - \sum D_{gim}, \quad (7.2'')$$

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

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

Изменение мощности последней ступени турбины с конденсатором при дополнительном отборе пара может быть вызвано как уменьшением расхода пара и расположенного 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:

$$P'_2 = P_{2(\mu)} \left( 1 - \frac{D_{\text{отб}}}{D_{2(\mu)}} \right) . \quad (7.3)$$

Затем, пользуясь сеткой поправок к мощности, для нового значения расхода пара в конденсатор (в ЧД)  $D_2 = D_{2(\mu)} - D_{\text{отб}}$  определяют значение поправки к мощности при переходе от давления пара  $P'_2$  до давления пара в конденсаторе, равного либо исходному  $P_{2(\mu)}$ , если поправка рассчитывается для условия  $P_2 = \text{const}$ , либо определенному по характеристике конденсатора  $P_2 = f(D_2, t_1)$  для

$$D_2 = D_{2(\mu)} - D_{\text{отб}} \text{ при условии } W = \text{const}, \quad t_1 = \text{const} .$$

Для случая с несколькими дополнительными отборами пара

$$P'_2 = P_{2(\mu)} \left( 1 - \frac{\sum D_{\text{отб}}}{D_{2(\mu)}} \right) \quad (7.3')$$

$$D_2 = D_{2(\mu)} - \sum D_{\text{отб}} . \quad (7.3'')$$

Для отдаленных отсеков (частей) турбины с регулируемыми отборами пара или противодавлением, из которых осуществляется дополнительный отбор пара, расход пара определяется из выражения

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)

$$\rho_{n(t)} = \rho_{n(t)(и)} \cdot \frac{\rho_{n(t)(и)}}{\rho_{ст(и)}} \text{ до исходного значения давления } P_{n(t)(и)} \text{ и} \\ \text{при исходном значении энтропии пара } S_{ст(и)} = \text{const.}$$

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

$$D_{n,st} = D_{ст} - D_{отб}.$$

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

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

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

- изменения расхода основного конденсата через имеющиеся подогреватели  $\Delta N''_{(вт.ф)}$  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:

$$\Delta N'_{(вт.ф)} = \frac{\Delta t'_{нв(ок)} \cdot D_{нв(ок)} \cdot h_{i(отб)} \cdot 0,99}{(i_n - \bar{t}_{нв(ок)}) \cdot 860} ; \quad (7.4)$$

$$\Delta N''_{(вт.ф)} = \sum \left( \frac{D_{отб} \cdot \Delta \bar{t}_{ак} \cdot h_i^{P_{отб}-P_2} \cdot 0,99}{(i_n - \bar{t}_{ак}) \cdot 860} \right) , \quad (7.4)$$

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

$h_l^{P_{\text{отб}}-P_2}$  - использованный теплоперепад от состояния пара в камере регенеративного отбора на соответствующий ПНД до состояния за последней ступенью турбины (в конденсаторе)  $h_l^{P_{\text{отб}}-P_2} = h_o^{P_{\text{отб}}-P_2} \eta_{\text{отб}}^{P_{\text{отб}}-P_2}$ ,

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

$(i_n - t'_{\text{под(ок)}})$  - разность энталпий греющего пара и питательной воды (основного конденсата) на входе для соответствующего подогревателя (теплоиспользование), ккал/кг;

$\Delta T_{\text{под(ок)}}$  - изменение энталпии питательной воды (основного конденсата) на входе в регенеративный подогреватель, следующий по ходу воды за точкой дополнительного отбора пара, ккал/кг;

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

$$h_{l(\text{отс})} = h_{\text{отс}} \eta_{l(\text{отс})} .$$

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

- для конденсационных турбоагрегатов (частей турбины)

$$\Delta N_T^{\text{отб}} = - \frac{D_{\text{отб}} h_l^{P_{\text{стен}}-P_{\text{отб}, 0.99}}}{860} + \sum \left( \frac{D_{\text{отб}} \Delta T_{\text{ак}} h_l^{P_{\text{отб}}-P_2, 0.99}}{(i_n - t'_{\text{под(ок)}}) 860} \right) +$$

$$+ \frac{\Delta h_{l(\text{отс})} D_{\text{ст}}}{860} - \frac{\Delta T_{\text{под(ок)}} D_{\text{под(ок)}} h_{l(\text{отс}), 0.99}}{(i_n - t'_{\text{под(ок)}}) 860} - \Delta N_T^{P_2}; \quad (7.5)$$

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

$$\Delta N_{T(l)}^{\text{отб}} = - \frac{D_{\text{отб}} h_l^{P_{\text{отбо}}-P_{\text{отбо}, 0.99}}}{860} + \sum \left( \frac{D_{\text{отбо}} \Delta T_{\text{ак}} h_l^{P_{\text{отбо}}-P_{\text{отбо}, 0.99}}}{(i_n - t'_{\text{ак}}) 860} \right) +$$

$$+ \frac{\Delta h_{i_{ct} D_{ct}}}{860} - \frac{\Delta t'_{nbo} D_{nbo} h_{i_{nbo} 0,99}}{(i_n - i_{nbo}) 860} - \frac{\Delta h_{i_{ct} D_{ct} 0,99}}{860} . \quad (7.5')$$

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

$$\Delta N_T^{\text{отб}} = - \frac{D_{\text{отб}} h_i^{P_{ct}(n) - P_{2(n)}}}{860} K''_{\text{вт.ф}} + \frac{\Delta h_{i_{ct} D_{ct}}}{860} K'_{\text{вт.ф}} - \Delta N_T^{P_2} ; \quad (7.5'')$$

$$\begin{aligned} \Delta N_{T(n)}^{\text{отб}} = & - \frac{D_{\text{отб}} h_i^{P_{ct}(n) - P_{n(n)}}}{860} K''_{\text{вт.ф}} + \frac{\Delta h_{i_{ct} D_{ct}}}{860} K'_{\text{вт.ф}} - \\ & - \frac{\Delta h_{i_{ct} D_{ct}} h_{i_{ct} D_{ct} 0,99}}{860} , \end{aligned} \quad (7.5'''')$$

где

$$K''_{\text{вт.ф}} = \left( 1 - \frac{\Delta N_T''_{(\text{вт.ф})} \cdot 860}{D_{\text{отб}} \cdot h_i^{P_{ct}(n) - P_{2(n)}} \cdot 0,99} \right) ;$$

$$K'_{\text{вт.ф}} = \left( 1 - \frac{\Delta N'_T_{(\text{вт.ф})} \cdot 860}{\Delta h_{i_{ct} D_{ct}}} \right) .$$

При возврате конденсата дополнительного отбора (обессоленой 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

$K''_{\text{вт.ф}}$  будет равен соответственно 1,0; 0,9 и 0,93.

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

В формулах (7.5) – (7.5'')  $h_i^{P_{ct}(n) - P_{2(n)}}, h_i^{P_{ct}(n) - P_{n(n)}}$  используемые теплопередачи от состояния пара в камере дополнительного отбора ( $i_{ct}$ ) до состояния пара за последней ступенью турбины  $i_2$ , отсека  $i_{n(n)}$  при исходных условиях.

Для конденсационных турбин без промперегрева или при осущест-

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

$$h_i^{P_{cr}(u)-P_2(u)} = i_{cr(u)} - i_{2(u)}$$

Если же дополнительные отборы пара расположены выше точки промперегрева, то

$$h_i^{P_{cr}(u)-P_2(u)} = i_{cr(u)} - i_{2(u)} + (i''_{nn(u)} - i'_{nn(u)}).$$

Для отдельных отсеков турбин с регулируемым отбором пара значения использованных теплоперепадов  $h_i^{P_{cr}(u)-P_{ntr}(u)}$  (в ккал/кг) определяются как:

- для ЧВД (если  $P_{cr} > P_n$ )

$$h_i^{P_{cr}(u)-P_n} = i_{cr(u)} - i_n;$$

- для ЧСД (если  $P_n > P_{cr} > P_r$ )

$$h_i^{P_{cr}(u)-P_r} = i_{cr(u)} - i_r.$$

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 ( $\Delta N_{T(1)}^{\frac{D_{otb}}{D}}$ ) и последующих ( $\Delta N_{T(2)}^{\frac{D_{otb}}{D}}$ ) отсеков:

$$\Delta N_T^{\frac{D_{otb}}{D}} = \Delta N_{T(1)}^{\frac{D_{otb}}{D}} + \Delta N_{T(2)}^{\frac{D_{otb}}{D}}, \quad (7.6)$$

Поправка к мощности (в МВт) последующих отсеков составит:

$$\Delta N_{T(2)}^{\frac{D_{otb}}{D}} = \sum \left( D_{otb} \cdot \frac{f}{d_{otc}} \right).$$

Например, для турбины типа ИТ, если дополнительный отбор пара выполнен из ЧВД ( $P_{cr} > P_n$ ),

$$\Delta N_{T(2)}^{\frac{D_{otb}}{D}} = \frac{D_{otb}}{d_{4CD}} + \frac{D_{otb}}{d_{4HD}} = D_{otb} \left( \frac{f}{d_{4CD}} + \frac{f}{d_{4HD}} \right);$$

если из ЧСД ( $P_{cr} > P_r$ ) —

$$\Delta N_{T(2)}^{\frac{D_{otb}}{D}} = D_{otb} \cdot \frac{f}{d_{4HD}}.$$

Значения энталпий пара, а также относительных приростов ( $d_{4CD}$ ,  $d_{4HD}$ ), 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 регулируемое отборы (для теплофикационных турбин).

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

$$\alpha_N^{D_{\text{отб}}} = \frac{\Delta N_t^{\text{отб}}}{D_{\text{отб}}} ; \quad \alpha_N^{Q_{\text{отб}}} = \frac{\Delta N_t^{\text{отб}}}{Q_{\text{отб}}}$$

и строят соответствующие зависимости

$$\alpha_N^{Q_{\text{отб}}} = f(D_o) ; \quad \alpha_N^{D_{\text{отб}}} = f(D_o)$$

$$\text{или} \quad \alpha_N^{Q_{\text{отб}}} = f[D_o, Q_{n(t)}(D_{n(t)})] ; \quad \alpha_N^{D_{\text{отб}}} = f[D_o, Q_{n(t)}(D_{n(t)})] ;$$

$$\alpha_N^{Q_{\text{отб}}} = f[D_o, Q_n(D_n), Q_t(D_t)] , \quad \alpha_N^{D_{\text{отб}}} = f[D_o, Q_n(D_n), Q_t(D_n)] .$$

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

$$\Delta N_{t(\text{рел})}^{\text{отб}} = \frac{D_{\text{отб}}}{d_o (1 - K_{\text{рел}}^D)} - \Delta N_t^{\text{отб}} ; \quad (7.7)$$

- для турбин типов II, T (включая турбины Т-50, Т-100 и другие - этого типа), если дополнительный отбор выполнен из камер, расположенных выше (по давлению) регулируемого отбора ( $P_{ct} > P_{nt}$ )

$$\Delta N_{t(\text{рел})}^{\text{отб}} = \frac{D_{\text{отб}}}{d_{o,4BD} (1 - K_{\text{рел},4BD}^D)} - \Delta N_t^{\text{отб}} ; \quad (7.7')$$

- для турбин типа ПТ при дополнительном отборе пара из ЧВД ( $P_{ct} > P_n$ )

$$\Delta N_{t(\text{рел})}^{\text{отб}} = \frac{D_{\text{отб}}}{d_{a,4BD} (1 - K_{\text{рел},4BD}^D)} - \Delta N_t^{\text{отб}} ; \quad (7.7'')$$

при дополнительном отборе пара из ЧСД ( $\rho_{cr} > \rho_T$ )

$$\Delta N_{T(\text{тепл})}^{D_{\text{отб}}} = \frac{D_{\text{отб}}}{d_{\text{ачвд}}(1-K_{\text{рег.чвд}}^D)} + \frac{D_{\text{отб}}}{(1-K_{\text{рег.ЧСД}}^D)d_{\text{ЧСД}}} - \Delta N_T^{D_{\text{отб}}} \quad (7.7'')$$

Входящие в формулы (7.7) и (7.7'') значения поправок  $\Delta N_T^{D_{\text{отб}}}$

определяются по формулам (7.5)÷(7.6) для соответствующего случая, а сомножители  $(1 - K_{\text{рег.чвд}}^D)$  и  $(1 - K_{\text{рег.ЧСД}}^D)$  как:

$$(1 - K_{\text{рег.чвд}}^D) = \left(1 - \frac{\sum D_{\text{рег}}^I}{D_0}\right),$$

где  $\sum D_{\text{рег}}^I$  - сумма расходов пара на регенеративные подогреватели, относящиеся к ЧВД с давлением граничного пара выше давления пара в точке дополнительного отбора из ЧВД;

$$(1 - K_{\text{рег.ЧСД}}^D) = \left(1 - \frac{\sum D_{\text{рег}}^I}{D_{\text{ЧСД}}^I}\right),$$

где  $\sum D_{\text{рег}}^I$  - сумма расходов пара на регенеративные подогреватели, относящиеся к ЧСД с давлением граничного пара выше давления пара в точке дополнительного отбора из ЧСД;

$D_{\text{ЧСД}}^I$  - расход пара на входе в ЧСД.

## 7.2. Поправки к расходу свежего пара

При работе турбин по электрическому графику и дополнительному отборе пара (тепла) от турбины абсолютные значения поправок к расходу свежего пара (в т/ч) могут быть рассчитаны по выражениям:

$$\Delta D_o = -\Delta d_o \alpha_N^{Q_{\text{отб}}} Q_{\text{отб}} \quad (7.8)$$

или

$$\Delta D_o = -\Delta d_o \alpha_N^{D_{\text{отб}}} D_{\text{отб}}. \quad (7.9)$$

Удельные поправки на единицу отпущеного тепла, пара (в  $\text{т}/\text{Гкал}/\text{ч}$ ;  $\text{т}/\text{Гкал}/\text{ч}$ ) определяются как:

$$\alpha_{D_o}^{Q_{\text{отб}}} = \frac{\Delta D_o}{Q_{\text{отб}}} = -\Delta d_o \alpha_N^{Q_{\text{отб}}}. \quad (7.10)$$

$$\alpha_{D_a}^{\bar{D}_{\text{отб}}} = - \frac{\Delta D_a}{\bar{D}_{\text{отб}}} = - \Delta d_a \alpha_N^{\bar{Q}_{\text{отб}}} \quad , \quad (7.II)$$

или

$$\text{где } \Delta d_a = \Delta d_{a(\mu)} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{(\alpha_{N_2}^{Q_{\text{отб}}} - \alpha_{N_1}^{Q_{\text{отб}}}) D_{\text{отб}}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right]} \quad (7.I2)$$

и

$$\Delta d_a = \Delta d_{a(\mu)} \frac{1}{\left[ 1 + \frac{(\alpha_{N_2}^{P_{\text{отб}}} - \alpha_{N_1}^{P_{\text{отб}}}) D_{\text{отб}}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right]} . \quad (7.I2')$$

Здесь  $\alpha_N^{Q_{\text{отб}}}$ ,  $\alpha_N^{P_{\text{отб}}}$  – 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;

$\alpha_{N_2}^{Q_{\text{отб}}}$ ,  $\alpha_{N_2}^{P_{\text{отб}}}$ ,  $\alpha_{N_1}^{Q_{\text{отб}}}$ ,  $\alpha_{N_1}^{P_{\text{отб}}}$  – значения удельных поправок к мощности в окрестностях значения мощности турбоагрегата (интервал между точками  $N_{T_2} = N_{T(\mu)} + \Delta N_T^{\bar{Q}_{\text{отб}}}$  и  $N_{T_1} = N_{T(\mu)}$ ), для которого определяется относительный прирост по расходу пара  $\Delta d_{a(\mu)}$  (см. разд. I.I).

При незначительной разнице в значениях  $\alpha_{N_2}$  и  $\alpha_{N_1}$  ( $\alpha_{N_2} - \alpha_{N_1} \leq 3\%$ ) при расчетах поправок можно принимать  $d_{a(\mu)} = d_a$  и значения поправок вычислять по выражениям:

– в абсолютных значениях, т/ч

$$\Delta D_a = - \Delta d_{a(\mu)} \alpha_N^{Q_{\text{отб}}} Q_{\text{отб}} \quad (7.8)$$

или

$$\Delta D_a = - \Delta d_{a(\mu)} \alpha_N^{P_{\text{отб}}} D_{\text{отб}} ; \quad (7.9)$$

– удельные значения поправок, т/ $\sqrt{\text{Гкал}/\text{ч}}$ , т/ $\sqrt{\text{ч}/\text{т}}$ ;

$$\alpha_{D_a}^{Q_{\text{отб}}} = \frac{\Delta D_a}{Q_{\text{отб}}} = - \Delta d_{a(\mu)} \alpha_N^{Q_{\text{отб}}} \quad (7.10)$$

$$\text{или} \quad \alpha_{D_o}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}} = - \frac{\Delta D_o}{D_{\text{отб}}} = - \Delta d_{(n)} \alpha_N^{\frac{D_{\text{отб}}}{N}} \quad . \quad (7.II)$$

При дополнительном отпуске пара (пара) и работе теплофикационных турбин по тепловому графику поправки к расходу свежего пара вычисляются по выражениям:

- в абсолютных значениях (т/ч) соответственно

$$\Delta D_o = \frac{Q_{\text{отб}}}{(i_{\text{отб}} - \bar{t}_{\text{возд}})(1 - K_{\text{пер}}^{ID})} \cdot 10^3 \quad (7.I3)$$

или

$$\Delta D_o = \frac{D_{\text{отб}}}{(1 - K_{\text{пер}}^{ID})} ; \quad (7.I4)$$

- удельные значения поправок, т/ч/(Гкал/ч), т/ч/(т/ч);

$$\alpha_{D_o(\text{отп})}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}} = \frac{\Delta D_o}{Q_{\text{отб}}} = \frac{10^3}{(i_{\text{отб}} - \bar{t}_{\text{возд}})(1 - K_{\text{пер}}^{ID})} ;$$

$$\alpha_{D_o(\text{реген})}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}} = \frac{\Delta D_o}{D_{\text{отб}}} = \frac{1}{(1 - K_{\text{пер}}^{ID})} ,$$

где  $(1 - K_{\text{пер}}^{ID}) = \left(1 - \frac{\sum D'_{\text{пер}}}{D_o}\right) ;$

$\sum D'_{\text{пер}}$  - сумма расходов пара на регенеративные подогреватели с давлением граничного пара выше давления пара в точке дополнительного отбора;

$i_{\text{отб}}, \bar{t}_{\text{возд}}$  - энтальпии соответственно отбиаемого пара и возвращаемого в схему конденсата, ккал/кг.

Относительные удельные поправки к расходу свежего пара в %/(Гкал/ч), %/(т/ч) вычисляются по выражениям:

$$\alpha_{D_o(\%)}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}} = \frac{\alpha_{D_o}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}}}{D_o} \cdot 10^2 \quad (7.I5)$$

$$\alpha_{D_o(\%)}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}} = \frac{\alpha_{D_o}^{\frac{D_{\text{отб}}}{D_o}}}{D_o} \cdot 10^2 . \quad (7.I5)$$

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 регулируемых отборах (для теплофикационных турбин), для которых выполнены соответствующие расчеты поправок к мощности (разд. 7.1), 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

$$\Delta Q_o = -\Delta q_o \phi_N^{q_{o\tau\delta}} D_{o\tau\delta} ; \quad (7.16)$$

$$\Delta Q_o = -\Delta q_o \phi_N^{D_{o\tau\delta}} D_{o\tau\delta} , \quad (7.17)$$

удельные значения поправок, Гкал/ч (Гкал/ч), Гкал/ч/(т/ч)

$$\phi_{q_o}^{q_{o\tau\delta}} = \frac{\Delta Q_o}{Q_{o\tau\delta}} = -\Delta q_o \phi_N^{q_{o\tau\delta}} , \quad (7.16')$$

$$\phi_{q_o}^{D_{o\tau\delta}} = \frac{\Delta Q_o}{D_{o\tau\delta}} = -\Delta q_o \phi_N^{D_{o\tau\delta}} , \quad (7.17')$$

- к расходу тепла на выработку электроэнергии турбоагрегатом без промперегрева пара в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_3 = -\Delta q_o \phi_N^{q_{o\tau\delta}} Q_{o\tau\delta} - Q_{o\tau\delta} = -Q_{o\tau\delta} \left( 1 + \Delta q_o \phi_N^{q_{o\tau\delta}} \right) , \quad (7.18)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_3 &= -\Delta q_o \phi_N^{D_{o\tau\delta}} D_{o\tau\delta} - D_{o\tau\delta} \left( l_{o\tau\delta} - \bar{t}_{bo3\delta} \right) 10^{-3} = \\ &= -D_{o\tau\delta} \left[ \left( l_{o\tau\delta} - \bar{t}_{bo3\delta} \right) \cdot 10^{-3} + \Delta q_o \phi_N^{D_{o\tau\delta}} \right] ; \end{aligned} \quad (7.19)$$

удельные значения поправок Гкал/ч (Гкал/ч), Гкал/ч/(т/ч)

$$\phi_{q_3}^{Q_{\text{отб}}} = \frac{\Delta Q_3}{Q_{\text{отб}}} = - \left( 1 + \Delta q_o \phi_n^{D_{\text{отб}}} \right); \quad (7.18)$$

$$\phi_{q_3}^{D_{\text{отб}}} = \frac{\Delta Q_3}{D_{\text{отб}}} = - \left[ (l_{\text{отб}} - \bar{l}_{\text{вс3B}}) \cdot 10^{-3} + \Delta q_o \phi_n^{D_{\text{отб}}} \right] \quad (7.19)$$

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 ( $P_{\text{ст}} = P_{\text{отб}} \gg P'_{\text{пп}}$ ), к формулам (7.16)-(7.19) необходимо добавить член, учитывающий изменение затрат тепла в промежуточном пароперегревателе:

- в абсолютных значениях, Гкал/ч

$$\Delta Q_{\text{пп}} = - \left[ D_{\text{отб}} (l''_{\text{пп}} - l'_{\text{пп}}) \cdot 10^3 - D_{\text{пп}} \Delta i'_{\text{пп}} \right]$$

- в удельных значениях, Гкал/ч/(Гкал/ч), (Гкал/ч)/(т/ч)

$$\phi_{q_{\text{пп}}}^{D_{\text{отб}}} = \frac{\Delta Q_{\text{пп}}}{Q_{\text{отб}}} ; \quad \phi_{q_{\text{пп}}}^{Q_{\text{отб}}} = \frac{\Delta Q_{\text{пп}}}{D_{\text{отб}}} .$$

Здесь  $\Delta i'_{\text{пп}} = (l''_{\text{пп}} - l'_{\text{пп}})$  – изменение энталпии пара, направленного на промперегрев, из-за снижения давления пара на входе в промежуточный пароперегреватель вследствие уменьшения расхода пара  $D_{\text{пп}}$  на значение  $D_{\text{отб}}$ ; определяется по  $iS$ -диаграмме в процессе расчета поправок к мощности.

Относительные приrostы по расходу тепла при измененных условиях  $\Delta q_o$  и исходных  $\Delta q_{o(n)}$  связаны один с другим так же, как и соответствующие значения относительных приростов по расходу свежего пара  $\Delta d_o$  и  $\Delta d_{o(n)}$  по формулам (7.12) и (7.12').

Относительные приrostы по расходу гепла  $\Delta q_{o(n)}$  определяются либо непосредственно по соответствующим расходным характеристикам  $Q_o = f(N_r)$ , либо расчетным путем, если имеются относительные приrostы по расходу свежего пара  $\Delta d_{o(n)}$ , как

$$\Delta q_{o(n)} = \Delta d_{o(n)} (l_o - \bar{l}_{\text{вс}}) \cdot 10^{-3}, \quad (7.20)$$

а для турбин с промперегревом пара

$$\Delta q_{o(n)} = \Delta d_{o(n)} \left[ (l_o - \bar{l}_{\text{вс}}) + K_{\text{пп}} (l''_{\text{пп}} - l'_{\text{пп}}) \right]. \quad (7.20')$$

Все указания разд. 7.2 по определению относительных поправок  $\Delta d_{\text{от}}$  и  $\Delta d_0$  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

$$\alpha_{Q_0(\%) \frac{Q_{\text{от}}}{Q_0}} = \frac{\alpha_{Q_0} \cdot 10^2}{Q_0}; \quad (7.21)$$

$$\alpha_{Q_3(\%) \frac{Q_{\text{от}}}{Q_3}} = \frac{\alpha_{Q_3} \cdot 10^2}{Q_3}; \quad (7.21')$$

- к расходу тепла на выработку электроэнергии

$$\alpha_{Q_3(\%) \frac{Q_{\text{от}}}{Q_3}} = \frac{\alpha_{Q_3} \cdot 10^2}{Q_3}; \quad (7.22);$$

$$\alpha_{Q_3(\%) \frac{Q_{\text{от}}}{Q_3}} = \frac{\alpha_{Q_3} \cdot 10^2}{Q_3}. \quad (7.22')$$

## 8. ПОПРАВКИ НА ПОДВОД ТЕПЛА (ПАРА) В СХЕМУ ТУРБОАГРЕГАТА ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА

### 8.1. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_0 = \text{const}$

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 записываются как от места подвода в тепловую схему внешнего теплоносителя, так и его начальной энталпии, а также от количества теплоносителя, места его отвода из тепловой схемы (для обеспечения материального баланса  $D_0 = D_{n,6}$  или  $D_0 + D_{np} = D_{n,6}$ ) и его энталпии 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 энталпийей  $i_{подв}$

$$\Delta D_{отб} = -D_{подв} \frac{(i_{подв} - \bar{i}_{dp})}{(i_{отб} - \bar{i}_{dp})}; \quad (8.1)$$

- при подводе внешнего теплоносителя в количестве  $D_{подв}$  с энталпийей  $t_{подв}$  в линию основного конденсата (питательной воды) перед подогревателем

$$\Delta D_{отб} = D_{подв} \frac{(\bar{t}_{a.k(n.b)}'' - \bar{i}_{подв})}{(\bar{i}_{отб} - \bar{i}_{dp})}; \quad (8.1')$$

- при прохождении через последующий подогреватель внешнего теплоносителя в количестве  $D_{подв}$ .

$$\Delta D_{отб} = D_{подв} \frac{\bar{t}_{a.k(n.b)}'' - \bar{t}_{a.k(n.b)}'}{\bar{i}_{отб} - \bar{i}_{dp}}. \quad (8.1'')$$

В формулах (8.1)-(8.1'')

$i_{отб}, \bar{i}_{dp}$  - энталпия соответственно граничного пара и конденсата граничного пара (дренажа) рассматриваемого подогревателя, ккал/кг;

$\bar{t}_{a.k(n.b)}'', \bar{t}_{a.k(n.b)}'$  энталпия 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 турбин), используя соответствующие формулы и указания разд. 7.1, производят расчет поправок к мощности турбин при условии  $D_o = const$ . 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

$$Q_{подв} = Q'_{подв} - Q_{отв} = D_{подв} \cdot l_{подв} \cdot 10^{-3} - D_{отв} \bar{t}_{отв} \cdot 10^{-3} \quad (8.2)$$

или при равенстве расходов  $D_{подв} = D_{отв}$

$$Q_{подв} = D_{подв} (l_{подв} - \bar{t}_{отв}) \cdot 10^{-3}, \quad (8.2)$$

где  $\bar{t}_{отв}$  — энталпия 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  $A_t^f = const$  рассчитываются по соответствующим формулам разд. 7.2, в которые подставляются поправки к мощности турбоагрегата, рассчитанные для данного случая,  $\Delta N_t^{подв}$ ,  $\alpha_N^{подв}$  (разд. 8.1).

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

$$\Delta D_o' = -\Delta d_o \Delta N_t^{подв} + D_{подв} \quad (8.3)$$

или

$$\Delta D_o' = -\Delta d_o \alpha_{N_t}^{подв} D_{подв} + D_{подв} = D_{подв} \left( 1 - \Delta d_o \alpha_{N_t}^{подв} \right); \quad (8.3)$$

- удельное значение поправки, т/ч/(т/ч)

$$\alpha_{D_o}^{подв} = \frac{\Delta D_o'}{D_{подв}} = \left( 1 - \Delta d_o \alpha_{N_t}^{подв} \right); \quad (8.4)$$

- относительное удельное значение поправки, %/(т/ч)

$$\alpha_{D_o(\chi)}^{D_{подв}} = \frac{\Delta D'_o}{D_{подв} D_{o(n)}} = \frac{(1 - \Delta d_o \alpha_N^{D_{подв}})}{D_{o(n)}} \cdot 10^2. \quad (8.4)$$

### 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

$$\Delta Q_o = \Delta Q_g = -\Delta q_{jo} \Delta N_T^{Q_{подв}} + D_{подв} (i_{подв} - E_{стб}) \cdot 10^{-3} \quad (8.5)$$

или

$$\Delta Q_o = \Delta Q_g = -\Delta q_{jo} \alpha_N^{Q_{подв}} Q_{подв} + Q_{подв} = Q_{подв} (1 - \Delta q_{jo} \alpha_N^{Q_{подв}}); \quad (8.5')$$

- удельные значения поправки, Гкал/(Гкал/ч)

$$\alpha_{Q(Q)}^{Q_{подв}} = \frac{\Delta Q_o (\Delta Q_g)}{Q_{подв}} = (1 - \Delta q_{jo} \alpha_N^{Q_{подв}}); \quad (8.6)$$

- относительные удельные значения поправки, %/(Гкал/ч)

$$\alpha_{Q(Q)\%}^{Q_{подв}} = \frac{\Delta Q_o (\Delta Q_g)}{Q_{подв} D_{o(n)} (Q_{ЭМ})} = \frac{(1 - \Delta q_{jo} \alpha_N^{Q_{подв}})}{Q_{o(n)} (Q_{ЭМ})} \cdot 10^2 \quad (8.6')$$

В формулы (8.5)-(8.6') подставляются поправки к мощности  $\Delta N_T^{Q_{подв}}$ ,  $\alpha_N^{Q_{подв}}$ , полученные в результате рассмотренных выше расчетов (разд. 8.1). Все указания по определению относительных приростов

$\Delta q_{jo}$  и  $\Delta q_{подв}$ , 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 СОЛЛАМИ I-Я СТУПЕНИ ТУРБИНЫ  
(ОТСЕКА) ПРИ ДАВЛЕНИИ СВЕЖЕГО ПАРА  
 $P_{o(n)}$ ;  $1,1P_{o(n)}$  и  $0,9P_{o(n)}$

- 108 -

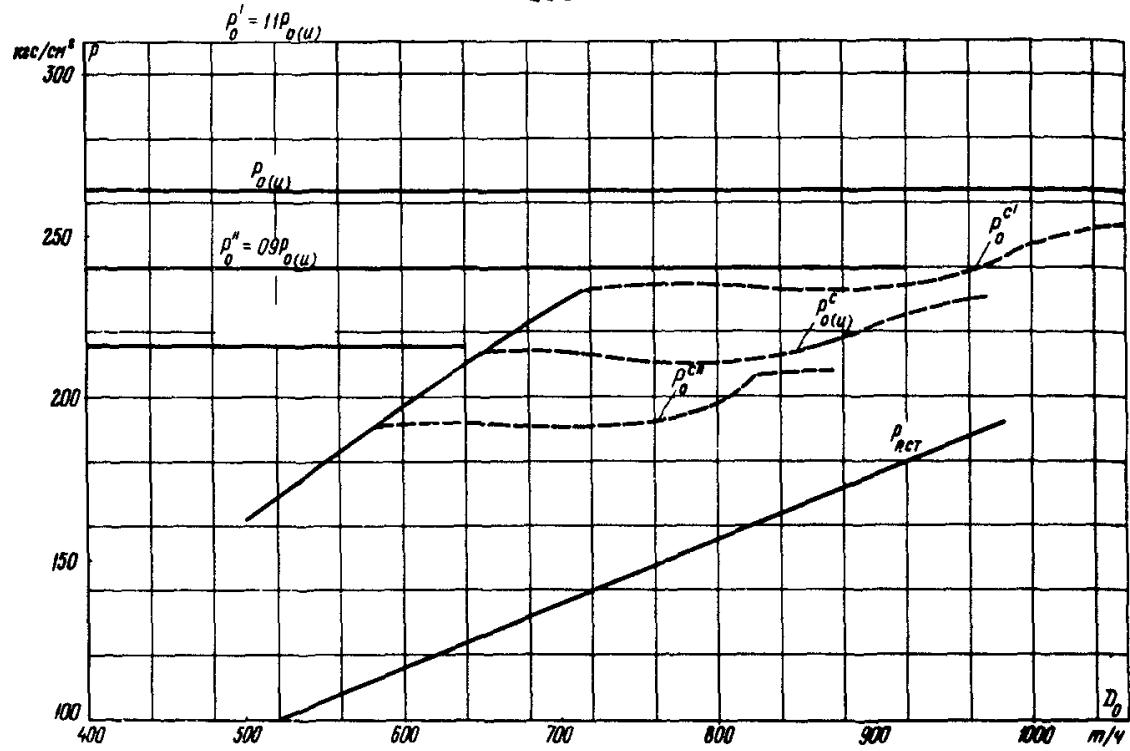


Рис.ПI-1. Турина К-300-240 ІМЗ

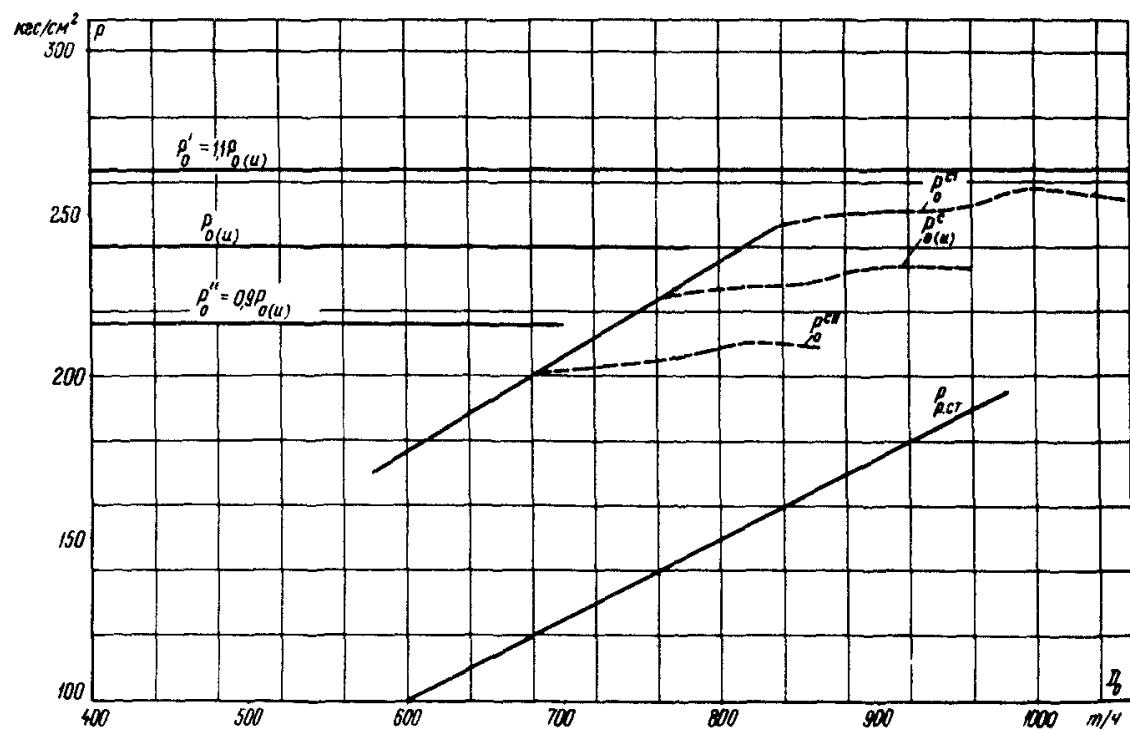


Рис.ПI-2. Турина К-300-240 ХТЗ (2-й модификации)

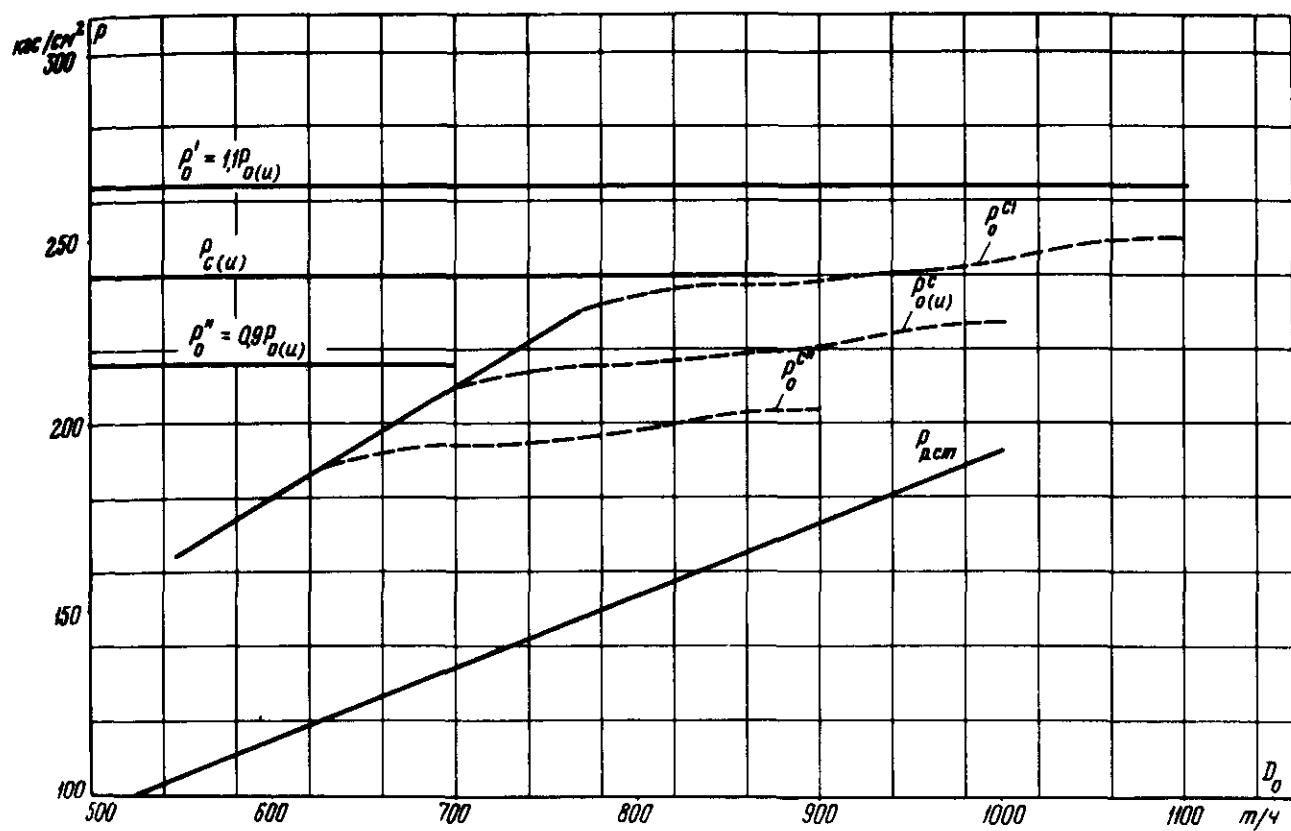


Рис.ПI-3. Турина Т-250/300-240-2 ТМЗ

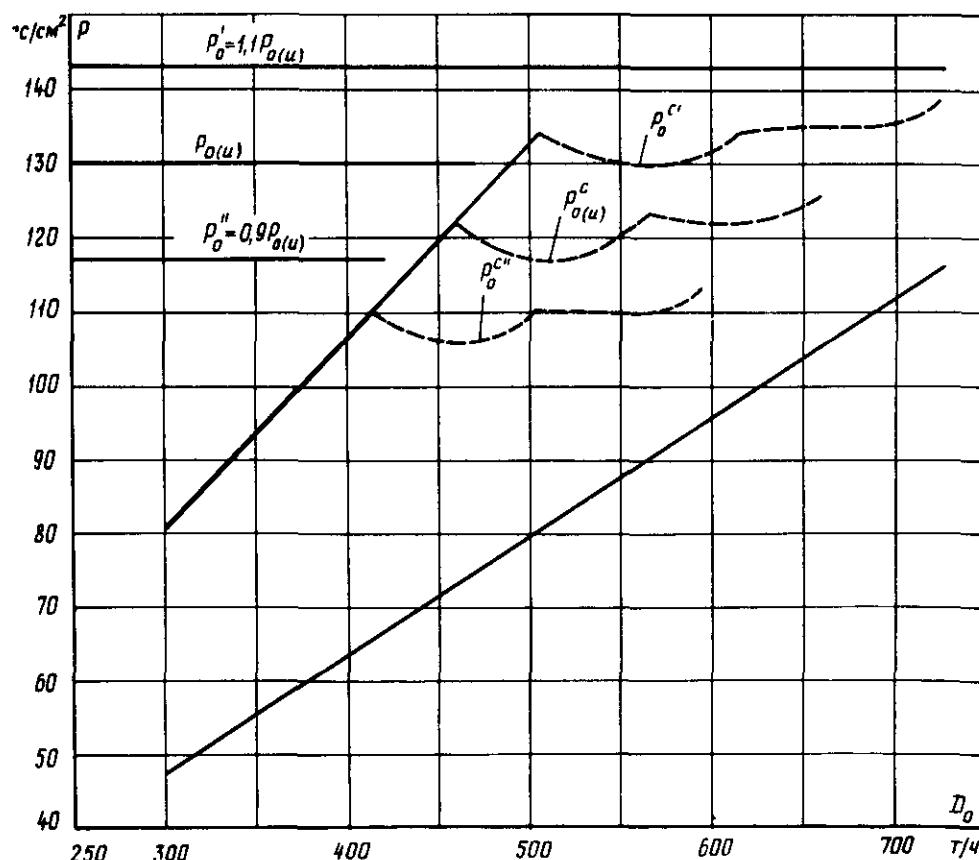


Рис.ПI-4. Турина К-200-І30 ЛМЗ

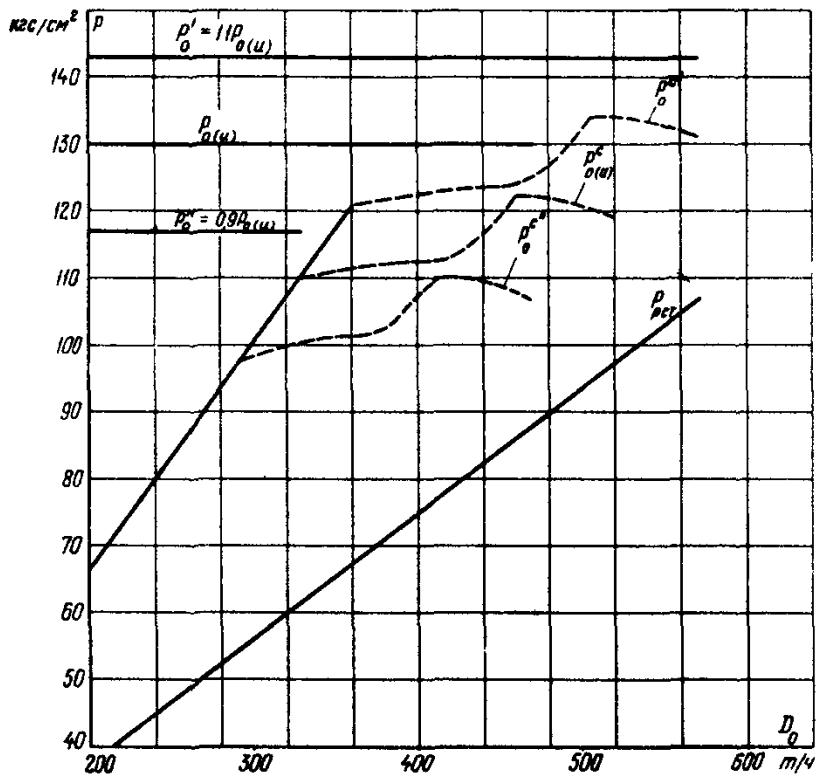


Рис.ПI-5. Турина К-160-130 ХТКЗ

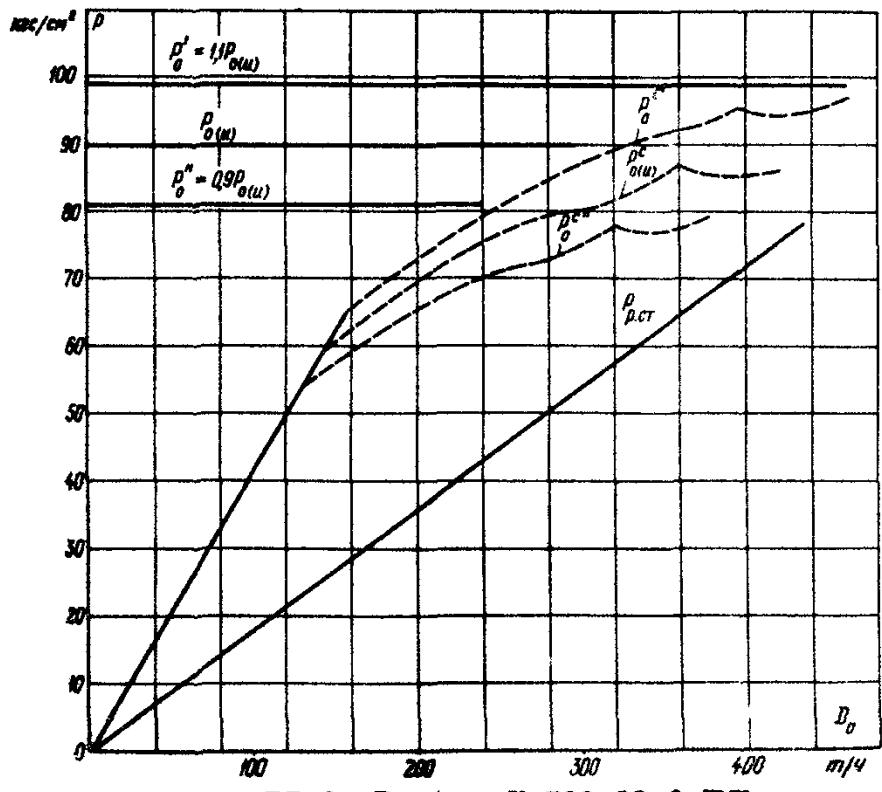


Рис.ПI-6. Турина К-100-90-6 ЈТМЗ

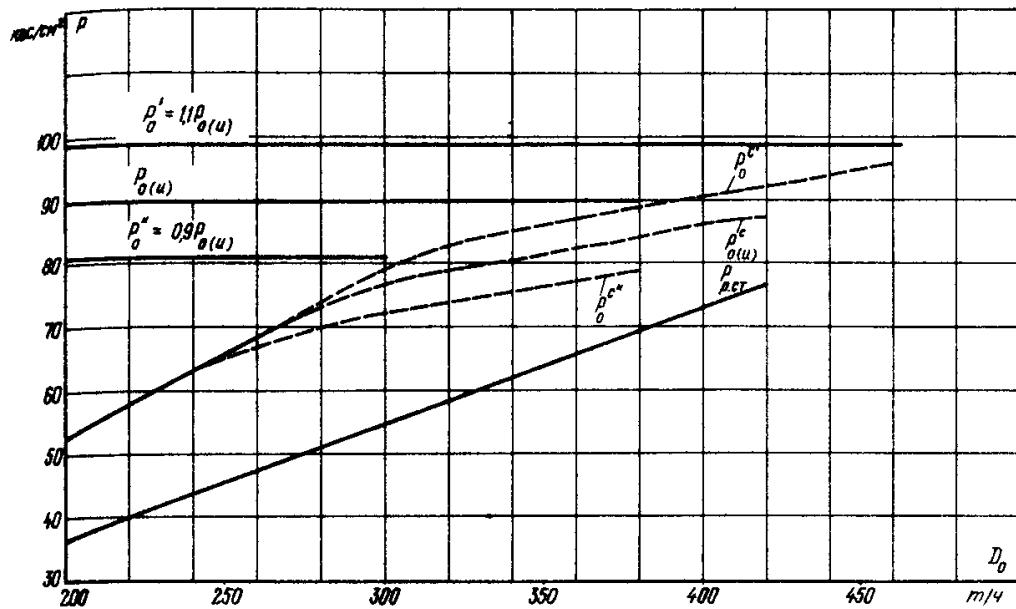


Рис.ПI-7. Турбина К-100-90-7 ЛМЗ

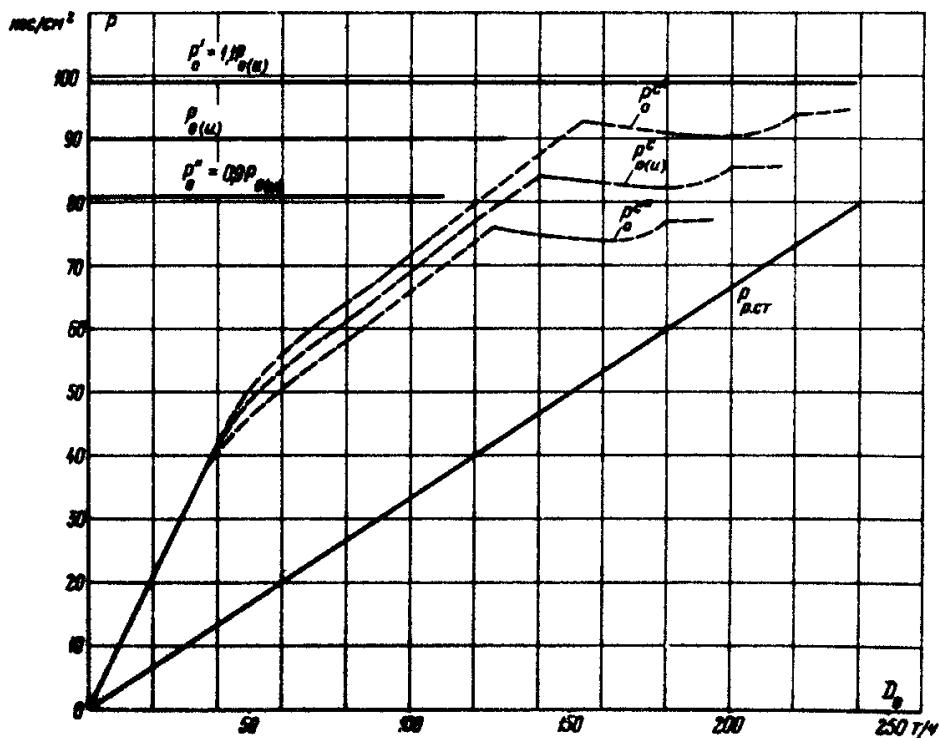


Рис.ПI-8. Турбина К-50-90-3 ЛМЗ

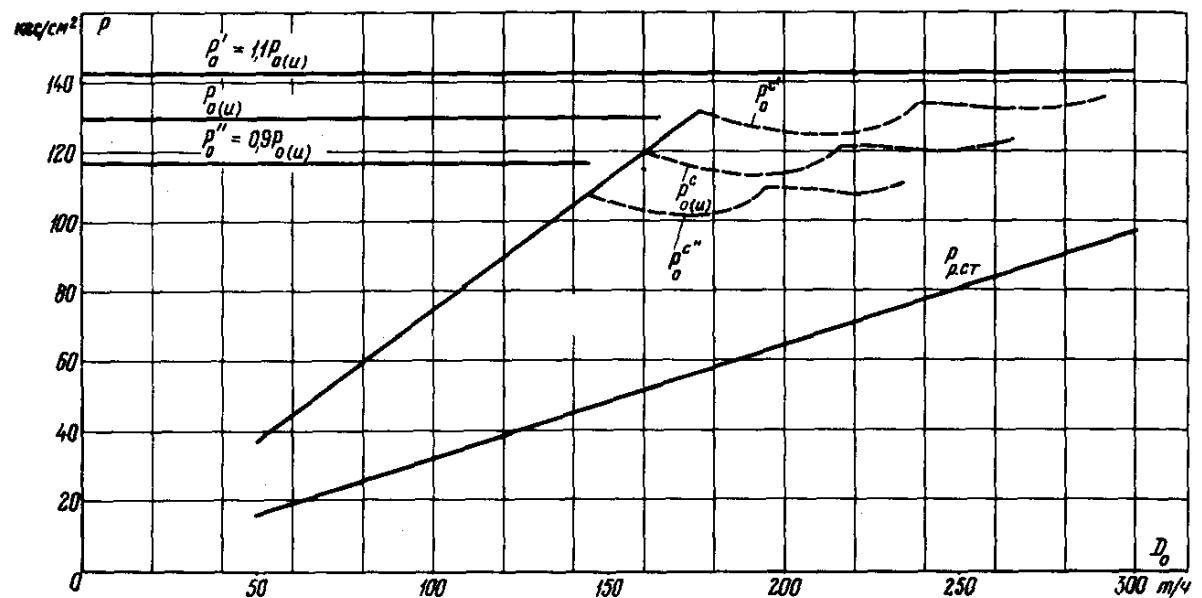


Рис.ПI-9. Турина Т-50-І30 ТМЗ

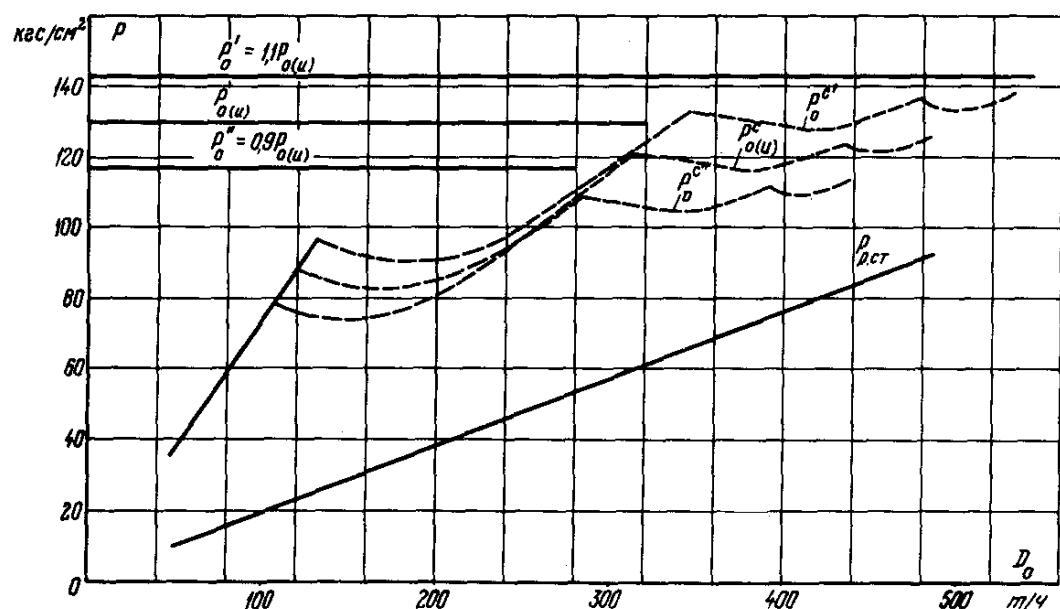


Рис.ПI-10. Турина Т-100-І30 ТМЗ

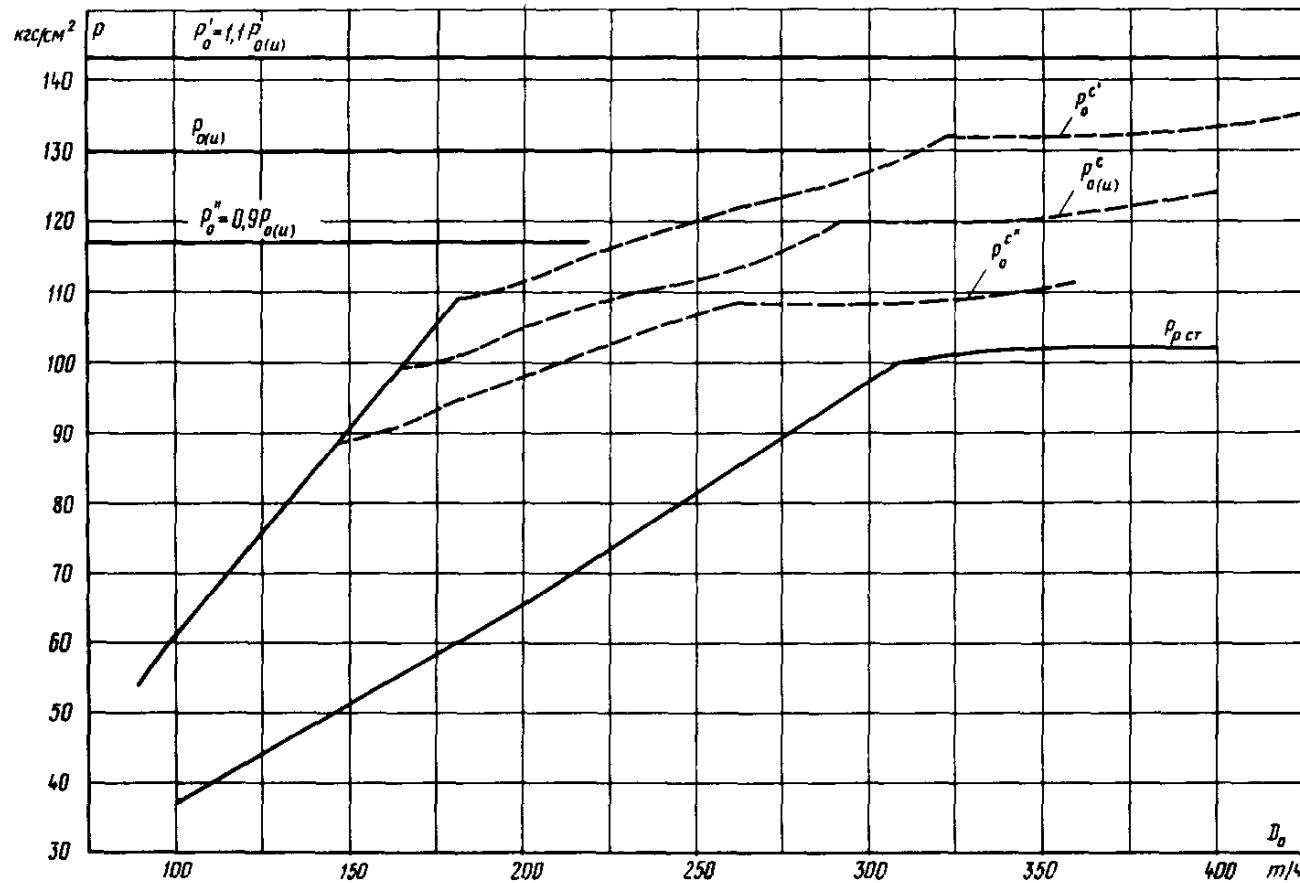


Рис.ПИ-II. Турбина ПТ-60-І30/І3 ЛМЗ

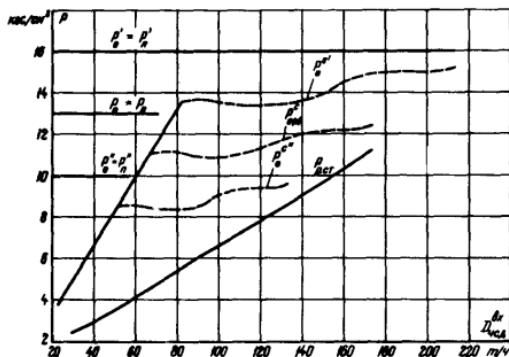


Рис.ПI-12. Турбина ПТ-60-І30/І3 (ЧСД) ТМЗ

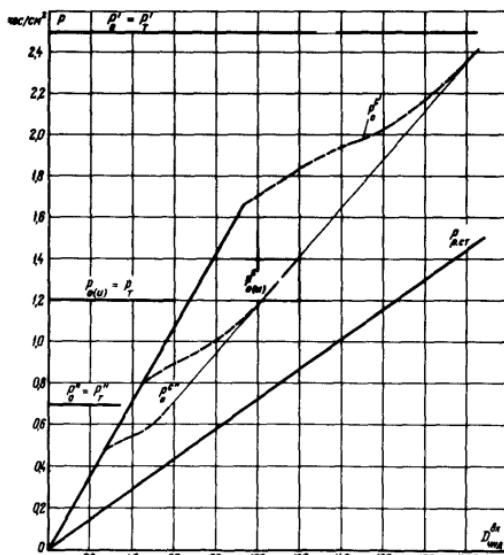


Рис.ПI-13. Турбина ПТ-60-І30/І3 (ЧНД) ЛМЗ

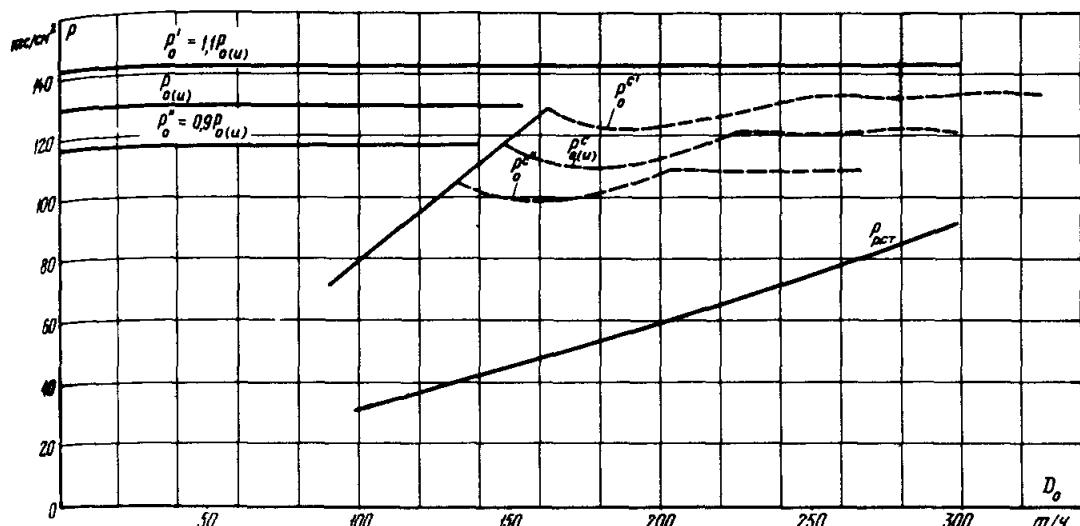


Рис. III-14. Турина ПТ-50-І30/7 ТМЗ

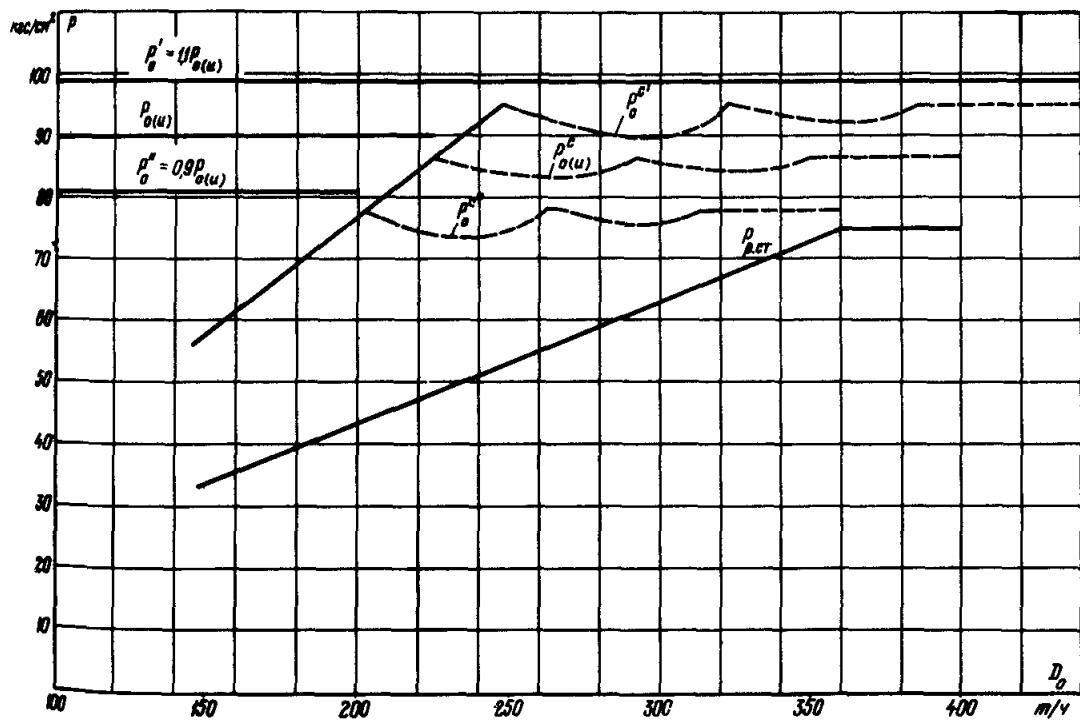


Рис. III-15. Турина ПТ-60-90/І3 ІМЗ

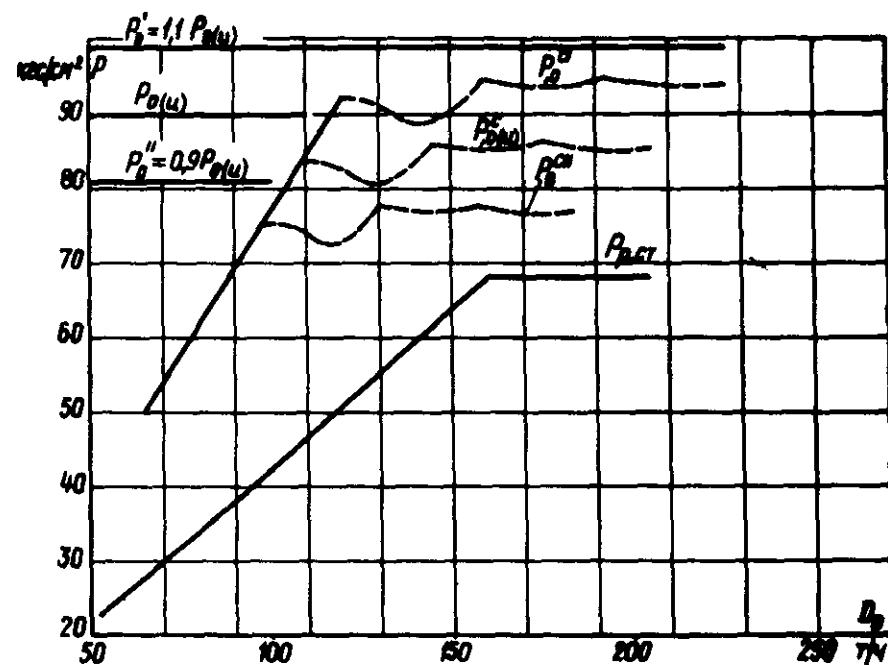


Рис.ПI-I6. Турина НИТ-25-4 ТМЗ

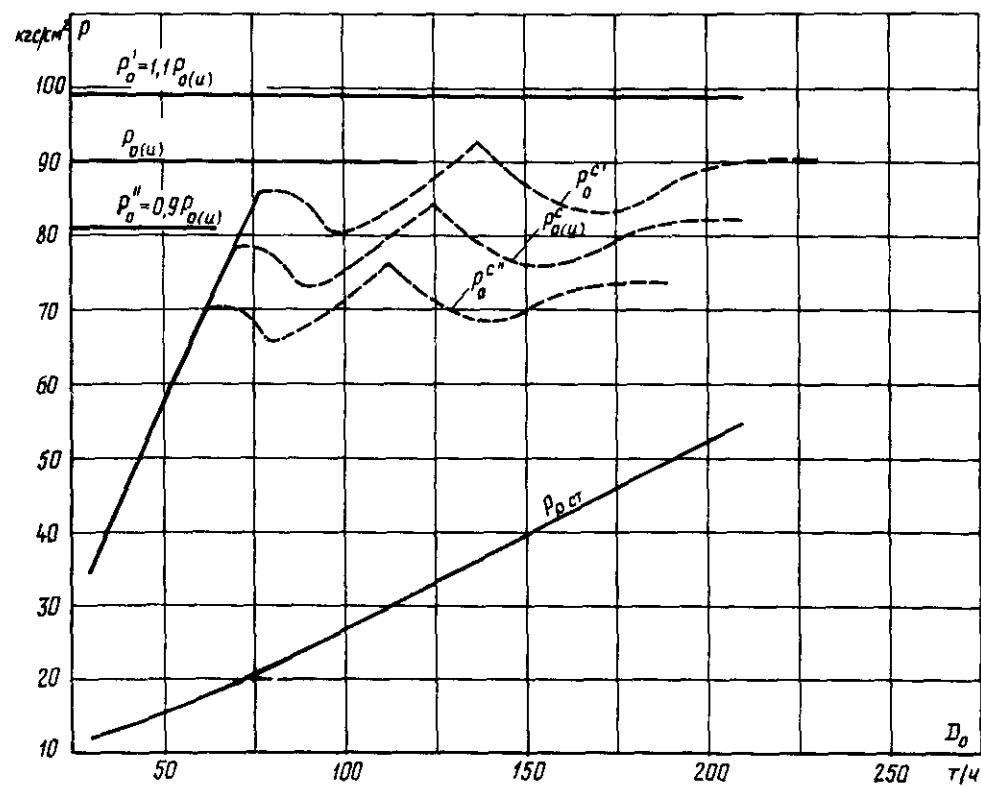


Рис.ПI-I7. Турина НИТ-25-3 ЛМЗ

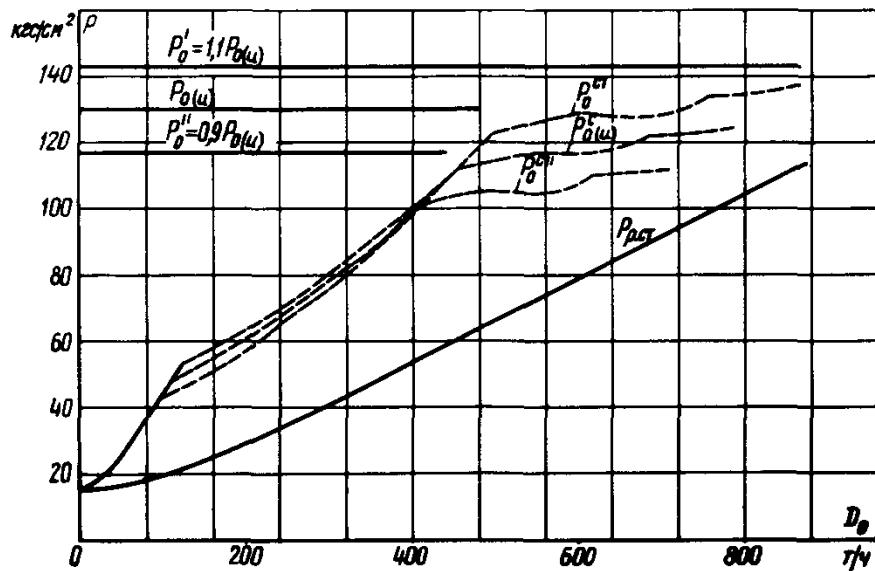


Рис. III-18. Турина Р-100-І30/І5 ТМЗ

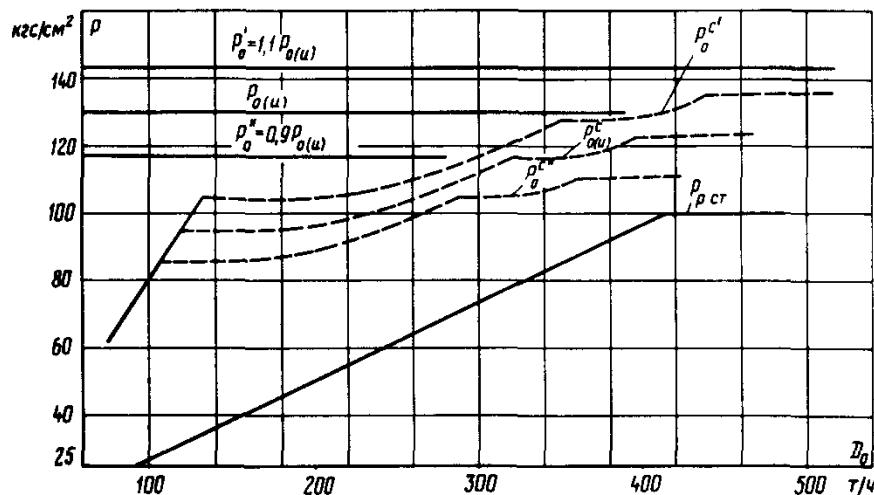


Рис. III-19. Турина Р-50-І30/І2 ЈМЗ

Приложение 2

ГРАФИКИ ПОПРАВОК К МОНТОМ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СТУПЕНИ  
ТУРБИНЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ СВЕЖЕГО ПАРА  
НА  $\pm 10\%$

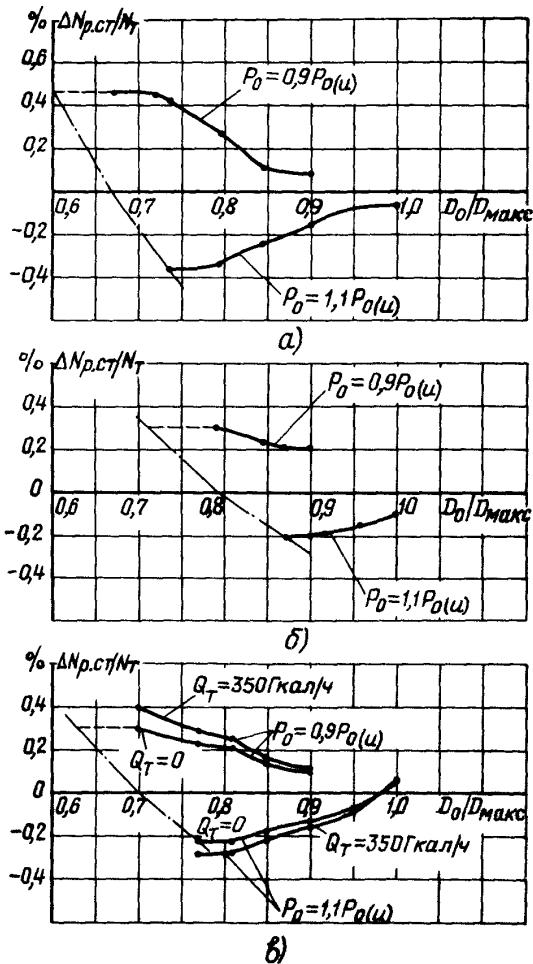
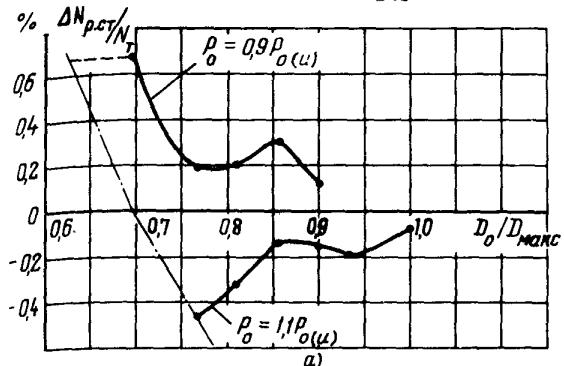
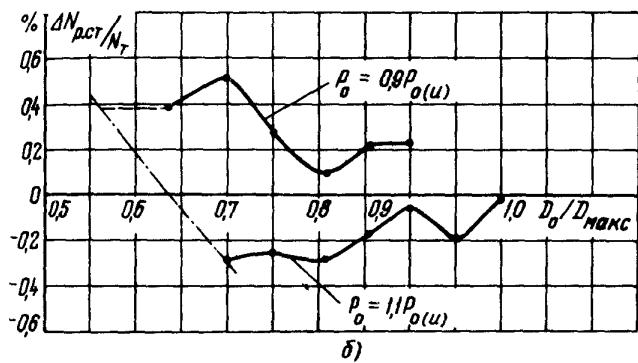


Рис.П2-1. Турбины:  
а - К-300-240 ЛМЗ; б - К-300-240 ХТЗ; в -  
Т-250/300-240-2 ТМЗ

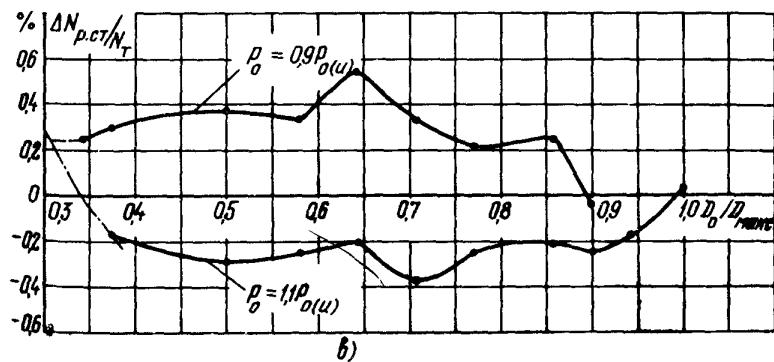
П р и м е ч а н и е к рис.П2-1 ÷ П2-4.  
Линия ————— граньца  $\frac{\Delta N_{p,ct}}{N_T} = 0$



a)

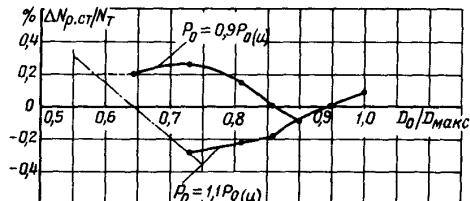


б)

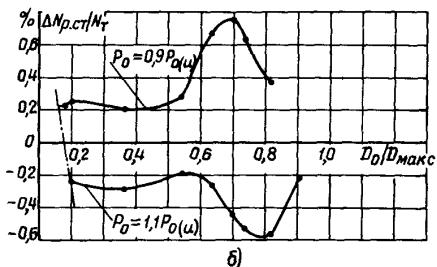


в)

Рис.П2-2. Турины: а - К-200-130 ЛМЗ; б - К-160-130 ХТЗ;  
в - К-100-90-6 ЛМЗ

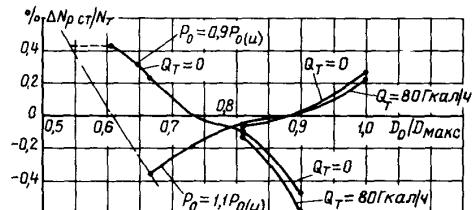


a)

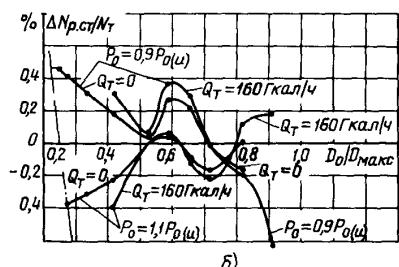


б)

Рис.П2-3. Турбины:  
а - К-100-90-7; б - К-50-90-3 ТМЗ

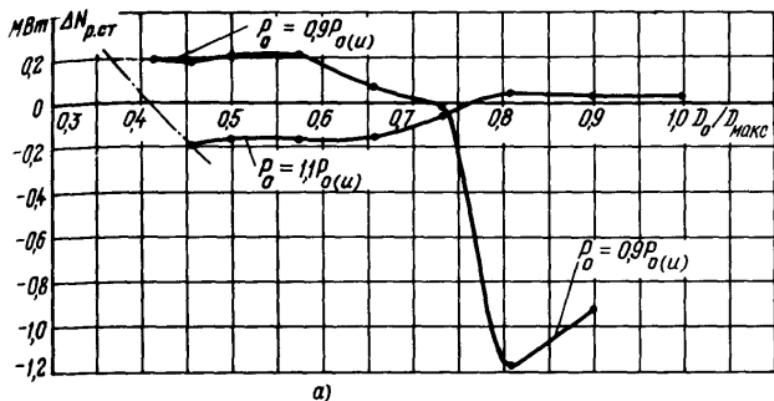


а)

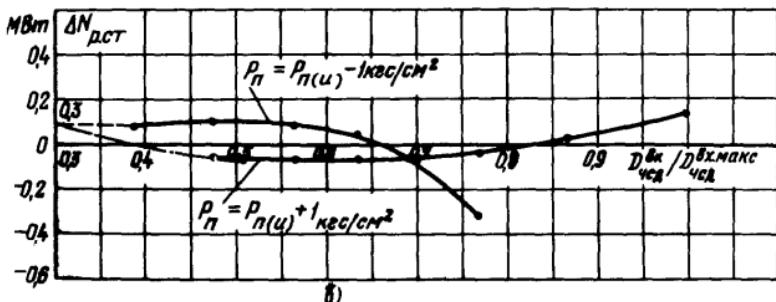


б)

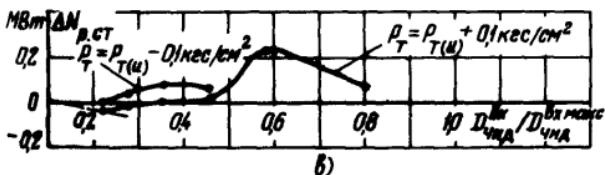
Рис.П2-4. Турбины:  
а - Т-50-I30 ТМЗ; б - Т-100-I30 ТМЗ



a)



б)



б)

Рис.П2-5. Турбина ПТ-60-130/13 ЛМС: а - ЧВД; б - ЧСД;

П р и м е ч а н и е к рис.П2-5 ÷ П2-8.

Линия —————— граница  $\Delta N_{p,st} = 0$

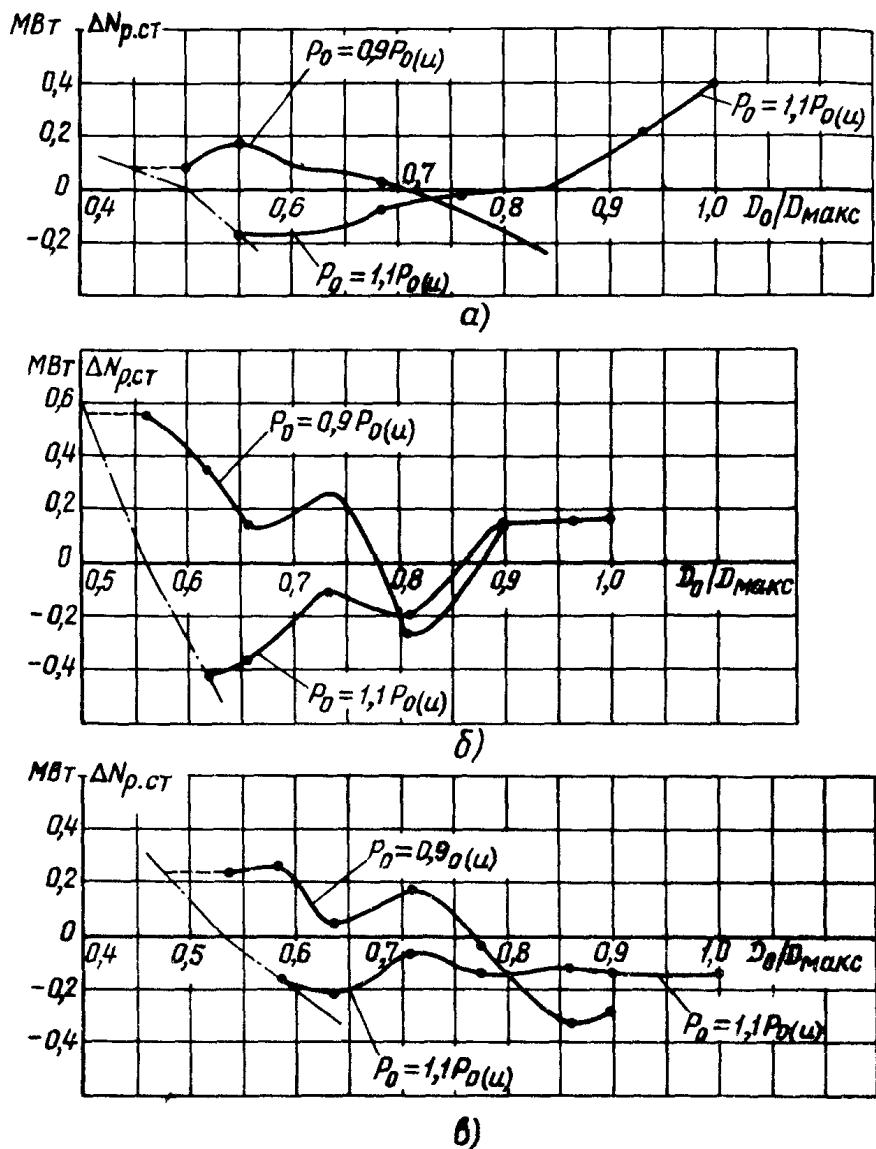


Рис. II2-6. Турины: а - ИТ-50-130/7 ИМЗ; б - ИТ-60-90/13 ИМЗ;  
в - ИТ-25-4 ИМЗ

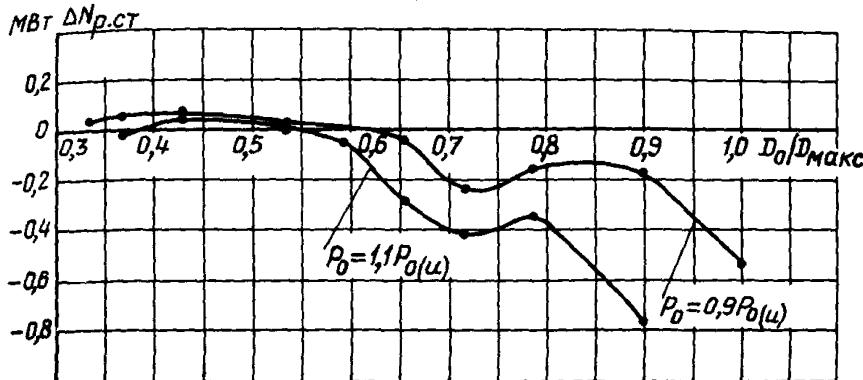
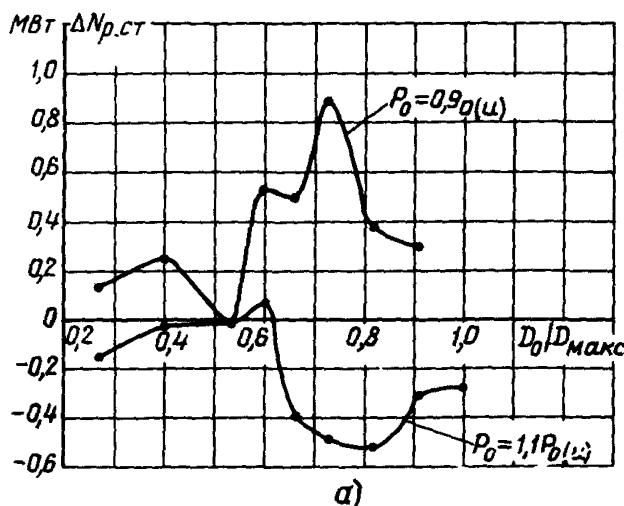
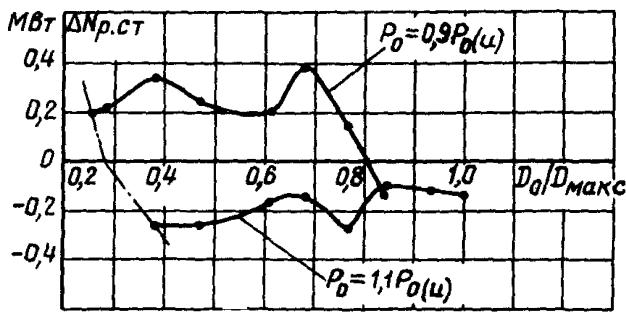


Рис.П2-7. Турбина НИТ-25-3 ЛМЗ



a)



b)

Рис.П2-8. Турины: а - Р-100-І30/І5 ІМЗ;  
б - Р-50-І30/І2 ІМЗ

## О Г Л А В Л Е Н И Е

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	3
I.1. К подсчету поправок к расходу тепла и све- жего пара при $N_t = \text{const}$ , $Q_{\text{отб}}(D_{\text{отб}}) = \text{const}$	3
I.2. К подсчету поправок к мощности турбоагре- гата при $D_o = \text{const}$ , $Q_{\text{отб}}(D_{\text{отб}}) = \text{const}$	19
I.3. К подсчету поправок к мощности теплофика- ционного турбоагрегата при работе его по тепловому графику при $Q_{\text{отб}} = \text{const}$	33
I.4. К определению отношений $\frac{\Delta h_{0X}}{h_{0X}^{p_0^c-p_2}}, \frac{\Delta h_{0P}}{h_{0P}^{p_0^c-p_2}}$ и $\frac{\Delta \eta_{0i, \text{ст}}}{\eta_{0i, \text{ст}}^{p_0^c-p_2}}$ при расчете поправок на от- клонение начальных параметров пара.....	35
I.5. К определению коэффициента $b$ по диаграмме режимов турбины .....	39
I.6. К определению значения $\Delta d_o^{p_0^c-p_p}$ по диа- граммам режимов турбины .....	44
I.7. К выбору начальной точки процесса расшире- ния пара в турбине при расчете поправок на отклонение начальных параметров .....	47
2. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНение ДАВЛЕНИЯ СВЕЖЕГО ПАРА ПЕРЕД СТОПОРНЫМ КЛАПАНОМ ТУРБИНЫ ПРИ $t_o = \text{const}$	48
2.1. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_o =$ $= \text{const}$ .....	48
2.2. Поправка к мощности теплофикационного тур- боагрегата при работе его по тепловому гра- фику при $Q_{\text{отб}} = \text{const}$ .....	66

2.3. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_t = const$ .....	68
3. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕЖЕГО ПАРА ПРИ $P_0 = const$ .....	74
3.1. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_o = const$ .....	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 $N_t = const$ .....	77
4. ПОДСЧЕТ ПОПРАВОК НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА ПОСЛЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛОФИКАЦИОННОГО ТУРБОАГРЕГАТА ( $t_{пп} = t''_{пп} = t_{ацсд}$ ) .....	77
4.1. Поправка к мощности турбоагрегата при $D_o = const$ .....	77
4.2. Поправки к расходу пара и тепла на турбоагрегат при $N_t = const$ .....	81
5. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА (ПАРА В КОНДЕНСАТОРЕ) .....	82
5.1. Поправка к мощности турбоагрегата .....	82
5.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла на турбоагрегат при ( $N_t = const$ ).....	85
6. ПОПРАВКИ НА ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ (ОХЛАДАЮЩЕЙ) ВОДЫ НА ВХОДЕ В КОНДЕНСАТОР	87
6.1. Поправка к мощности турбоагрегата .....	87
6.2. Поправки к расходу свежего пара и тепла .....	88
7. ПОПРАВКИ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОТПУСК ТЕПЛА (ПАРА) ИЗ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ОТВОРОВ .....	88
7.1. 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....	100
8. ПОПРАВКИ НА ПОДВОД ТЕПЛА (ПАРА) В СХЕМУ ТУРБОАГРЕГАТА ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА .....	102
8.1. Поправки к мощности турбоагрегата при $D_o = const$ .....	102
8.2. Поправки к расходу свежего пара на турбоагрегат .....	104
8.3. Поправки к расходу тепла на турбоагрегат...	105

- Приложение I. Графики средневзвешенных значений давления пара перед солнами I-й ступени турбинами (отсека) при давлении свежего пара  $P_{O(H)}$ ,  $I$ ,  $T^D_{O(H)}$ ,  $0,9P_{O(H)}$  ..... I
- Приложение 2. Графики поправок к мощности регулирующей ступени турбины при изменении давления свежего пара при  $\pm 10\%$  ..... II

Ответственный редактор Н.А.Наташон  
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 I/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 I руб. 40 коп.  
Производственная служба передового опыта и информации Соколтехэнерго  
105023, Москва, Семёновский пер., д.15  
Участок оперативной полиграфии СНО Соколтехэнерго  
117292, Москва, ул.Ивана Басункина, д.23, корп.2