

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**ТИПОВАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ТУРБОАГРЕГАТА
К-50-90-3 (ВК-50-3) ЛМЗ**



СОЮЗТЕХЭНЕРГО
МОСКВА 1978

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

УТВЕРЖДАЮ:
Главный инженер
Главтехуправления
В.И.ГОРИН
24 ноября 1977 г.

ТИПОВАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ТУРБОАГРЕГАТА
К-50-90-3 (ВК-50-3) ЛМЗ

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО
МОСКВА 1978

Настоящая Типовая энергетическая характеристика разработана Сптехэнерго
(инженеры П.С.АРХИПОВ, С.М.МАКАРОВ и техник Р.Е.МАСЛОВА)

© СПО Сомтехэнерго, 1978.

Типовая
энергетическая характеристика
турбоагрегата К-50-90-3 (БК-50-3) ЛМЗ
Ответственный редактор Н.А.Натансон
Литературный редактор А.А.Шмелян
Технический редактор Е.И.Сапожникова
Корректор Е.В.Крыкова

Л 79712

Печ.л. 2,5 (усл.печ.л.2,33)

Заказ № 219/78

Подписано к печати 22/У 1978 г.

Уч.-изд.л. 1,9

Издат. № 125/77

Формат 60x84 1/8

Тираж 1600 экз.

Цена 29 коп.

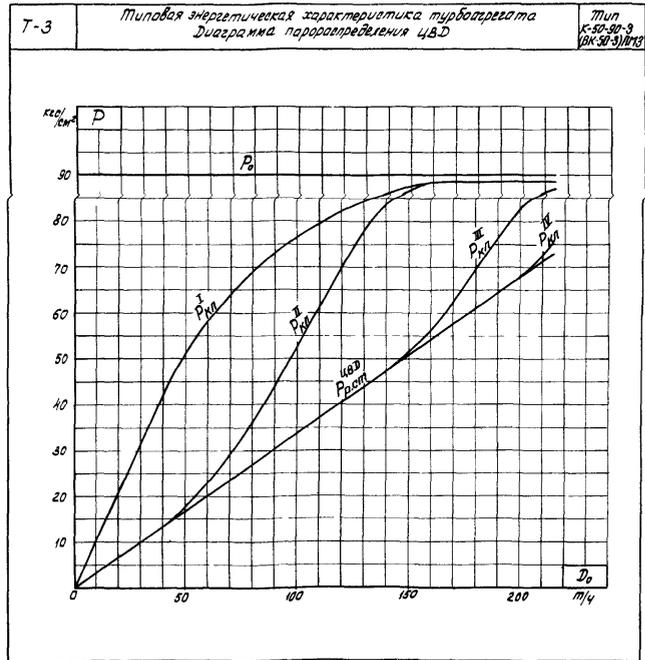
Производственная служба передового опыта и информации Сомтехэнерго
109432, Москва, М-432, 2-й Кожуховский проезд, д.29, корп.6

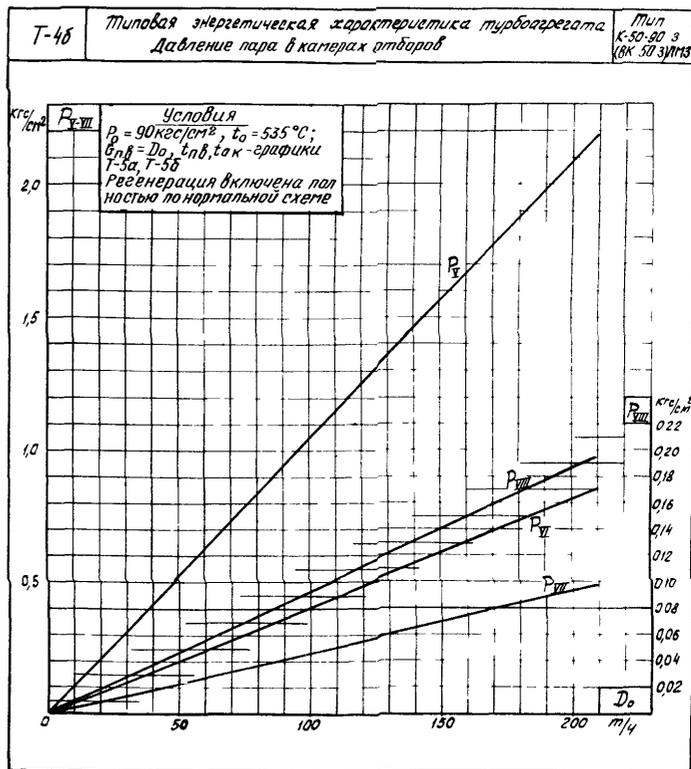
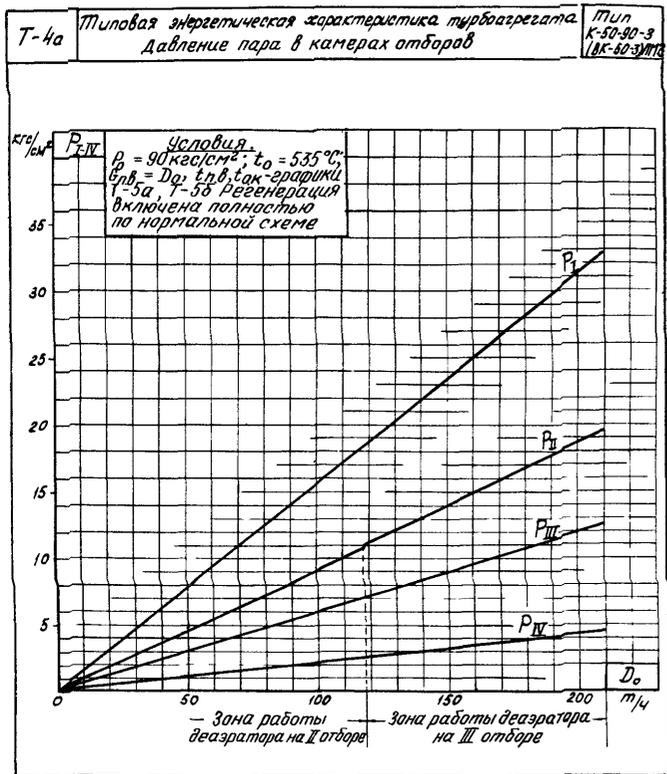
Участок оперативной полиграфии СПО Сомтехэнерго
117292, Москва, В-292, ул.Ивана Бабушкина, д.23, корп.2

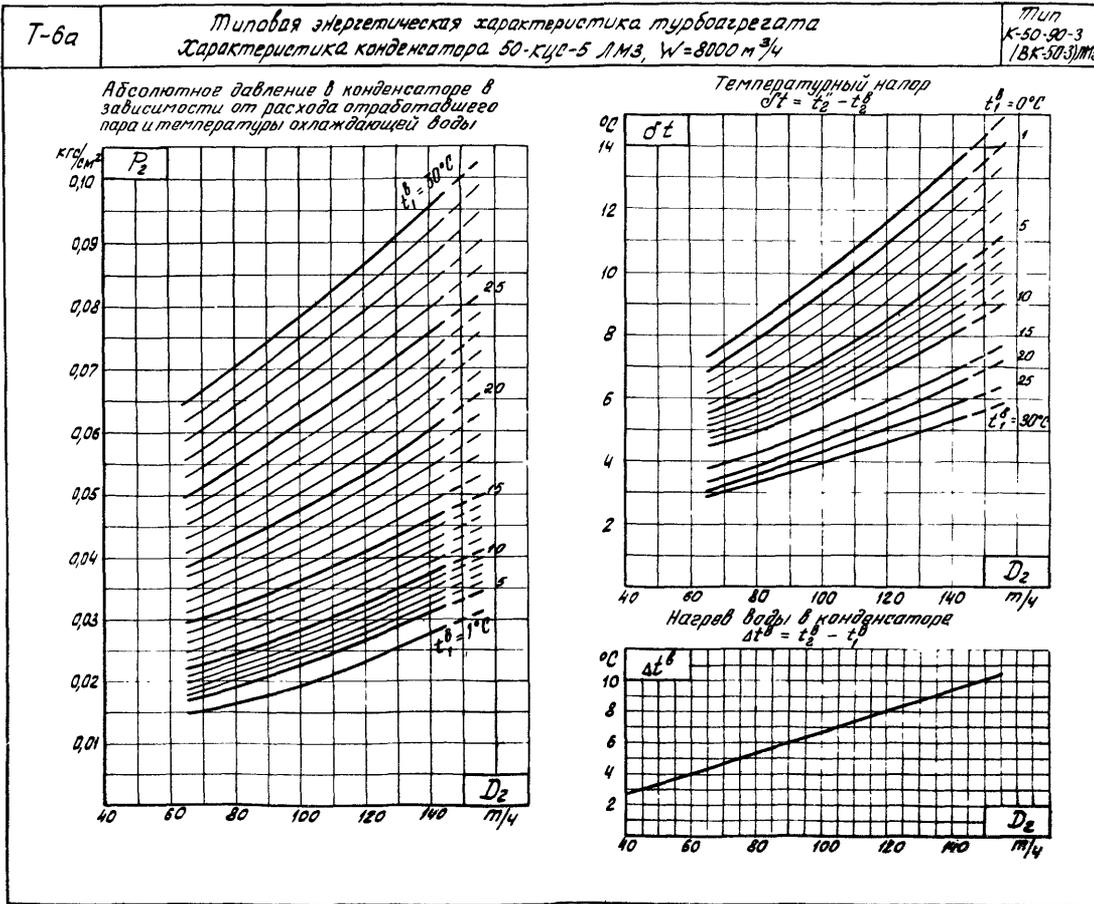
ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБОАГРЕГАТА СВОДКА НОРМ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ						Тип К-50-90-3 (БК-50-3) ЛМЗ	
Наименование норм	Типовой график	По расходу пара			По расходу тепла		
		Единица измерения	До излома	После излома	Единица измерения	До излома	После излома
I. Характеристика при постоянном давлении (вакууме) в конденсаторе							
1. Часовой расход холостого хода (условный)	T-2	т/ч	10,6	-	Гкал/ч	11,3	-
2. Дополнительный удельный расход (прирост)		т/(МВт·ч)	3,431	3,973	Гкал/(МВт·ч)	2,004	2,236
3. Излом характеристики		т/ч	134,81		Гкал/ч	83,84	
		МВт	36,2		МВт	36,2	
4. Условия характеристики:							
а) Давление свежего пара и по ступеням	T-4а, T-4б	кгс/см ²	90		кгс/см ²	90	
б) Температура свежего пара		°C	535		°C	535	
в) Давление отработавшего пара		кгс/см ²	0,035		кгс/см ²	0,035	
г) Температура питательной воды и основного конденсата	T-5а, T-5б						
д) Расход питательной воды			$G_{п.в} = D_0$			$G_{п.в} = D_0$	
II. Характеристика при постоянном расходе и температуре охлаждающей воды (для конденсатора 50-ККС-5 ЛМЗ, W = 8000 м ³ /ч, t _г = 15°C и параметрах п. I, 4, а, б, г, д)							
1. Часовой расход холостого хода (условный)	T-I	т/ч	8,0	-	Гкал/ч	9,8	-
2. Дополнительный удельный расход (прирост)		т/(МВт·ч)	3,508	4,047	Гкал/(МВт·ч)	2,048	2,278
3. Излом характеристики		т/ч	134,81		Гкал/ч	83,84	
		МВт	36,15		МВт	36,15	
III. Поправки к удельному расходу тепла на отклонение параметров от номинальных значений							
а) На 10 кгс/см ² свежего пара	Увеличение Уменьшение		%	График Т-8а, п.в			
б) На 10°C свежего пара	Увеличение Уменьшение		%	- 0,34			
в) На изменение давления в конденсаторе			'	График Т-8а, п.к			

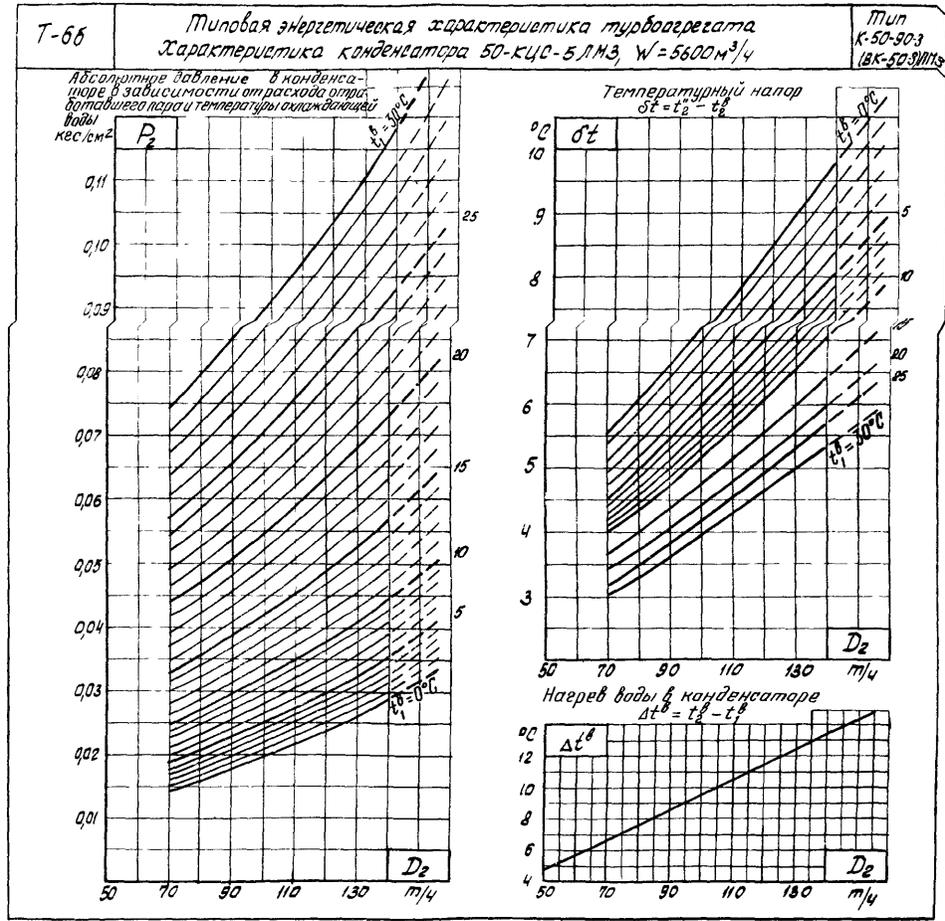
Дати:		ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБОАГРЕГАТА				Тип К-50-90-3 (ВК-50-3) ЛМС			
изготовления...									
установки ...									
характеристики...									
Основные заводские данные турбоагрегата									
$N_T^{ном}$	$N_T^{макс}$	$D_0^{ном}$	$D_0^{макс}$	P_0	t_0	t_f^{β}	W	Поверхность конденсатора $F, м^2$	
МВт	МВт	т/ч	т/ч	кгс/см ²	°С	°С	м ³ /ч		
50	55	186	-	90	535	10	8000	3000	
Сравнение результатов испытаний с гарантийными данными (при номинальных значениях $P_0, t_0, t_f^{\beta}, W, F$)									
Показатель							Нагрузка, МВт		
							50	40	30
Расход свежего пара D_0 , т/ч		по гарантиям		186	146	107			
		по испытаниям		189	149	112			
Температура питательной воды $t_{п.в}$, °С		по гарантиям		216	203	188			
		по испытаниям		219	209	195			
Удельный расход пара d , кг/(кВт·ч)		по гарантиям		3,720	3,650	3,567			
		по испытаниям		3,758	3,703	3,696			
Удельный расход тепла брутто на выработку электроэнергии q_T , ккал/(кВт·ч)		по гарантиям		2215	2255	2320			
		по испытаниям		2291	2298	2347			
Отклонение удельного расхода тепла от гарантийного $\alpha q_T, \%$				+3,4	+1,9	+1,2			
				Среднее +2,2					

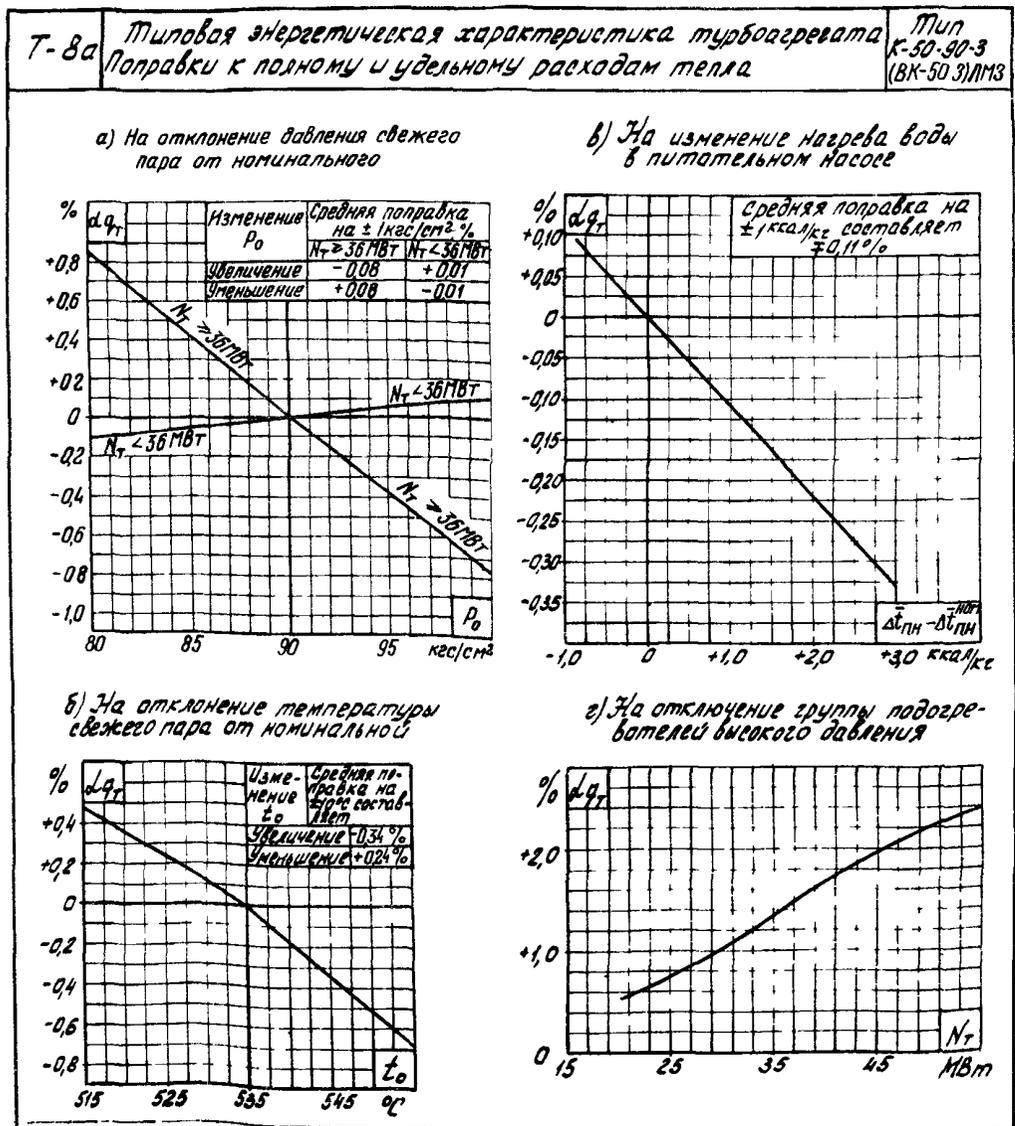
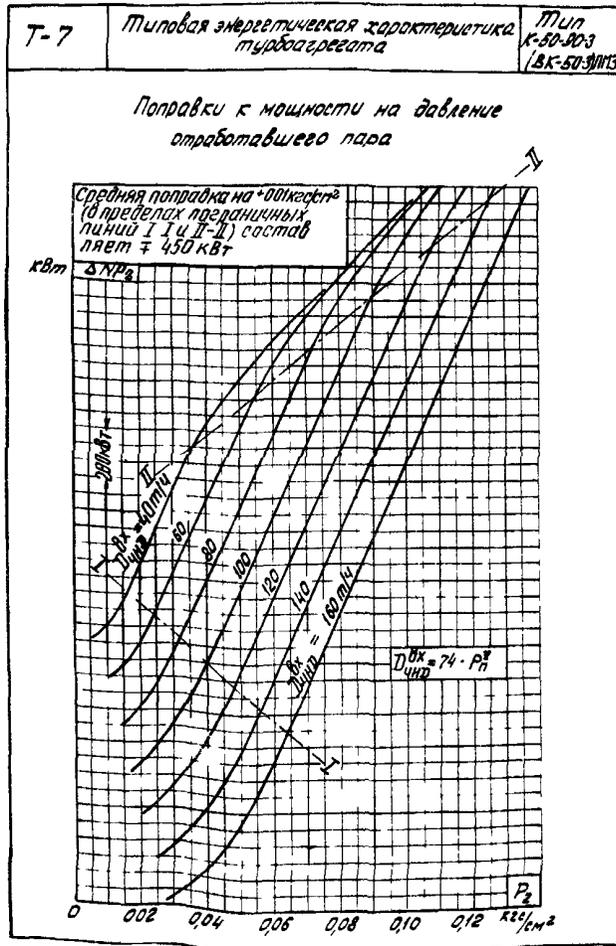
Дати:		ТИПОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕТТО ТУРБОАГРЕГАТА					Тип К-50-90-3 (ВК-50-3) ЛМС	
изготовления...								
установки ...								
характеристики...								
УСЛОВИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ:								
1. Параметры и тепловая схема - график Т-2.								
2. Напор циркуляционных насосов 10 м вод.ст.								
Мощность на выводах генератора, МВт	25	30	36,20	42	48	55		
Мощность, затрачиваемая на собственные нужды турбоагрегата, МВт В том числе на циркуляционные насосы, МВт	0,432	0,438	0,445	0,452	0,457	0,459		
	0,315							
Расход тепла турбоагрегатом брутто, Гкал/ч	61,40	71,42	83,84	96,81	110,23	125,88		
Мощность нетто турбоагрегата, МВт	24,568	29,562	35,755	41,548	47,543	54,541		
Расход тепла на собственные нужды, Гкал/ч	0,13							
Расход тепла на выработку электроэнергии, включая расход тепла на собственные нужды, Гкал/ч	61,53	71,55	83,97	96,94	110,36	126,01		
Уравнение расхода тепла по мощности нетто	$Q'_3 = 12,25 + 2,006 N_T^{н} + 0,232 (N_T^{н} - 35,76)$							
ПОПРАВКИ (%) К ПОЛНОМУ И УДЕЛЬНОМУ РАСХОДАМ ТЕПЛА НЕТТО НА ИЗМЕНЕНИЕ НАПОРА ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ								
Напор насосов, м вод.ст.	Мощность нетто, МВт							
	25	30	35,76	40	45	50	55	
5	-0,51	-0,44	-0,38	-0,38	-0,34	-0,30	-0,28	
10	0	0	0	0	0	0	0	
15	+0,51	+0,44	+0,38	+0,38	+0,34	+0,30	+0,28	
20	+1,02	+0,88	+0,76	+0,76	+0,68	+0,60	+0,56	









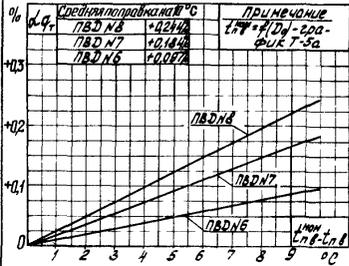


T-8a

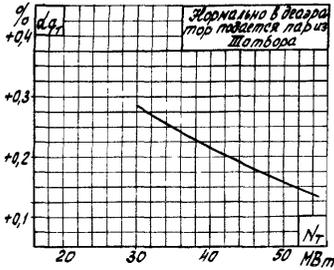
Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата
 Поправки к полному и удельному расходу тепла

МШП
 К-50-90-3
 БК-503ММ3

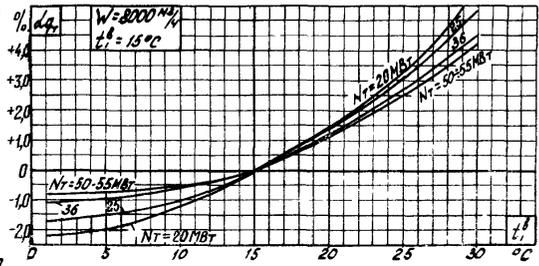
д) На подогрев питательной воды
 в подогревателях высокого давления



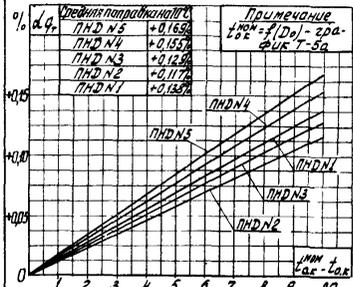
ж) На подачу пара в деаэратор
 из II отбора



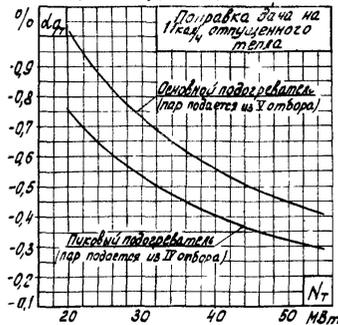
и) На отклонение температуры охлаждающей
 воды на входе в конденсатор турбины от номинальной



е) На подогрев основного конденсата
 в подогревателях низкого давления



з) На включение в работу подо-
 гревателей сетевой воды
 (к удельному расходу тепла)

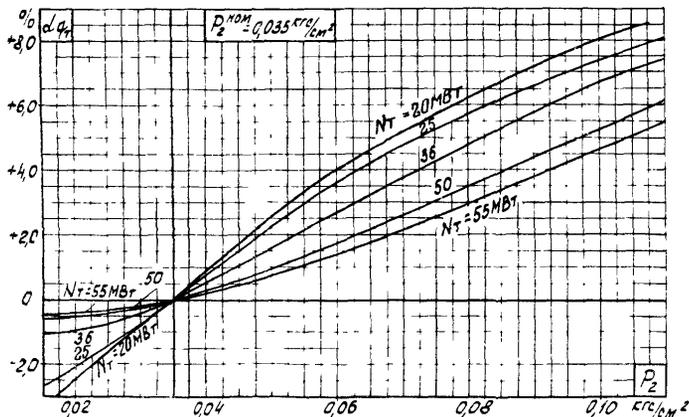


T-8a

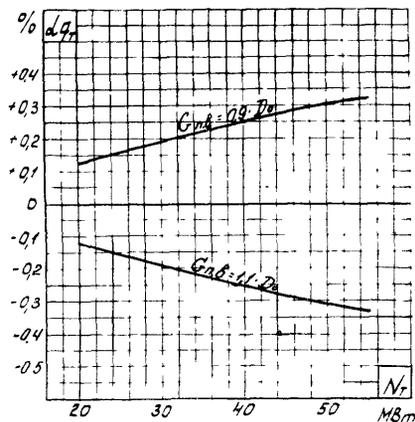
Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата
 Поправки к полному и удельному расходу тепла

Тип
 К-50-90-3
 (БК-50.3)М3

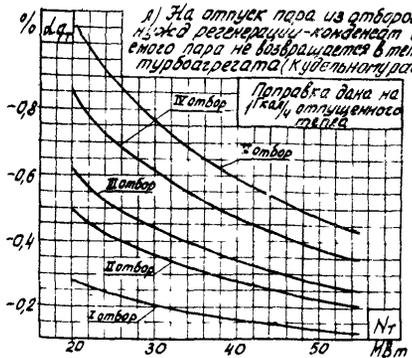
к) На отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе турбины от номинального



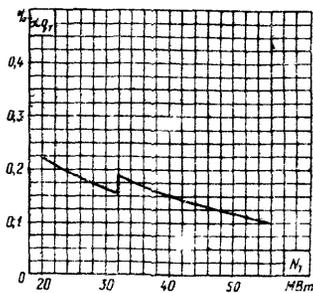
м) На отклонение расхода питательной воды от номинального



л) На отпуск пара из отборов сверх между регенерации - конденсат отработанного пара не возвращается в тепловой цикл турбоагрегата (к удельному расходу тепла)



н) На работу турбины с элементаром питающимся паром из деаэра-тора в kg/cm^2

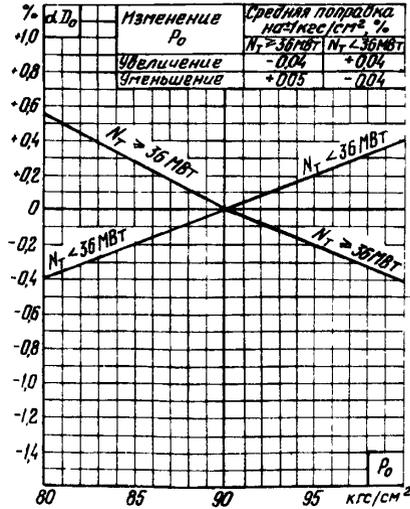


T-85

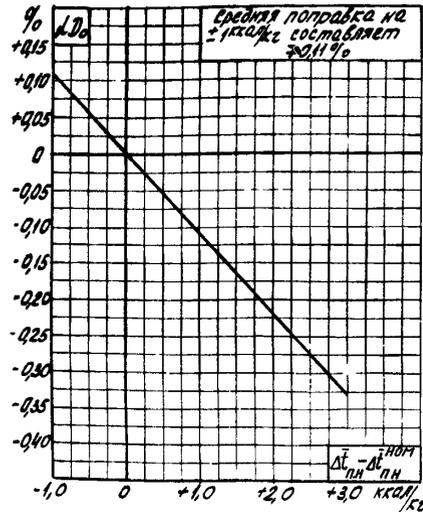
Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата
 Поправки к расходу свежего пара

Тип
 К-50-90-3
 1БК-50-90-3

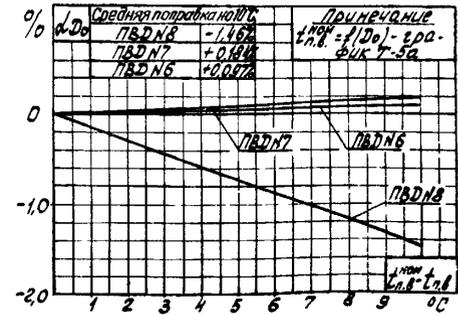
а) На отклонение давления свежего пара от номинального



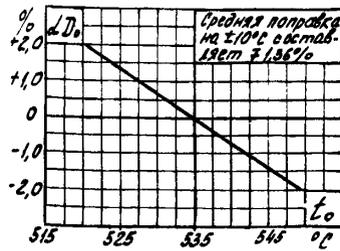
в) На изменение нагрева воды в питательном насосе



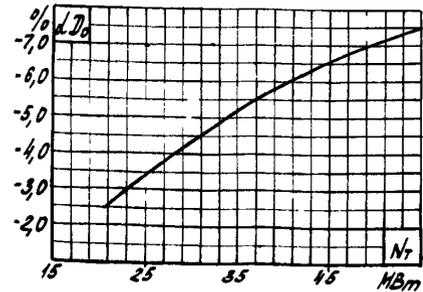
г) На недогрев питательной воды в подогревателях высокого давления



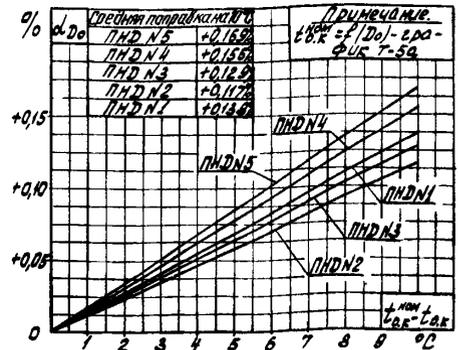
б) На отклонение температуры свежего пара от номинальной



д) На отклонение группы подогревателей высокого давления



е) На недогрев основного конденсата в подогревателях низкого давления

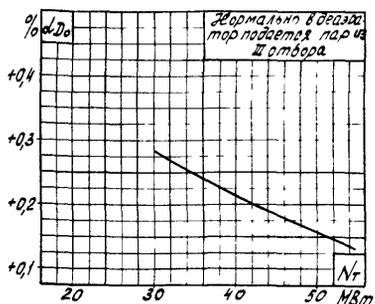


T-86

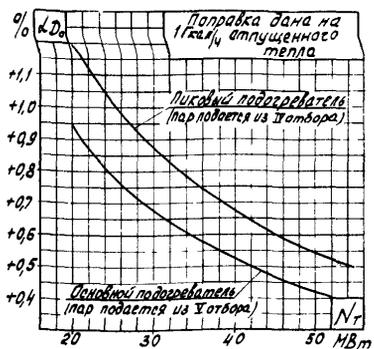
Тепловая энергетическая характеристика турбоагрегата
 Поправки к расходу свежего пара

МШ 7
 К-50-50-3
 (БК-50-3)МБ

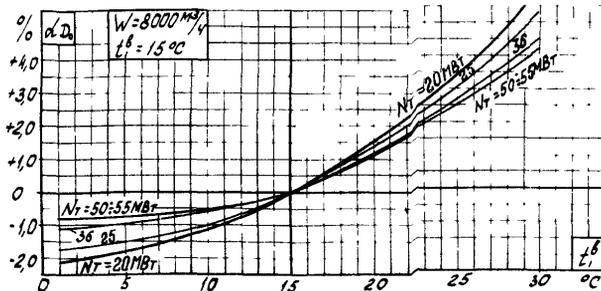
ж) На подачу пара в деаэратор из II отбора



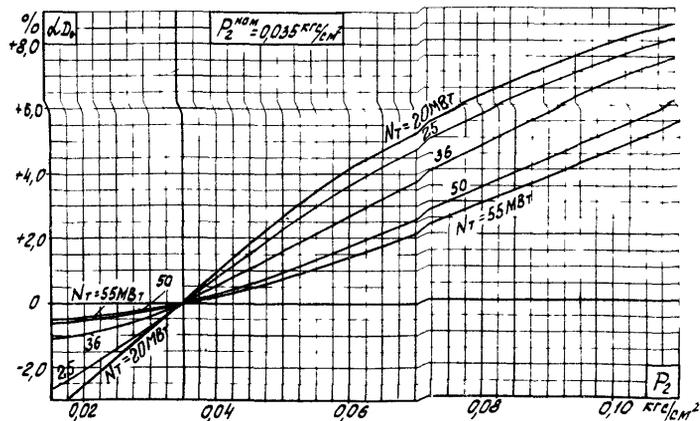
з) На включение в работу подогревателей сетевой воды

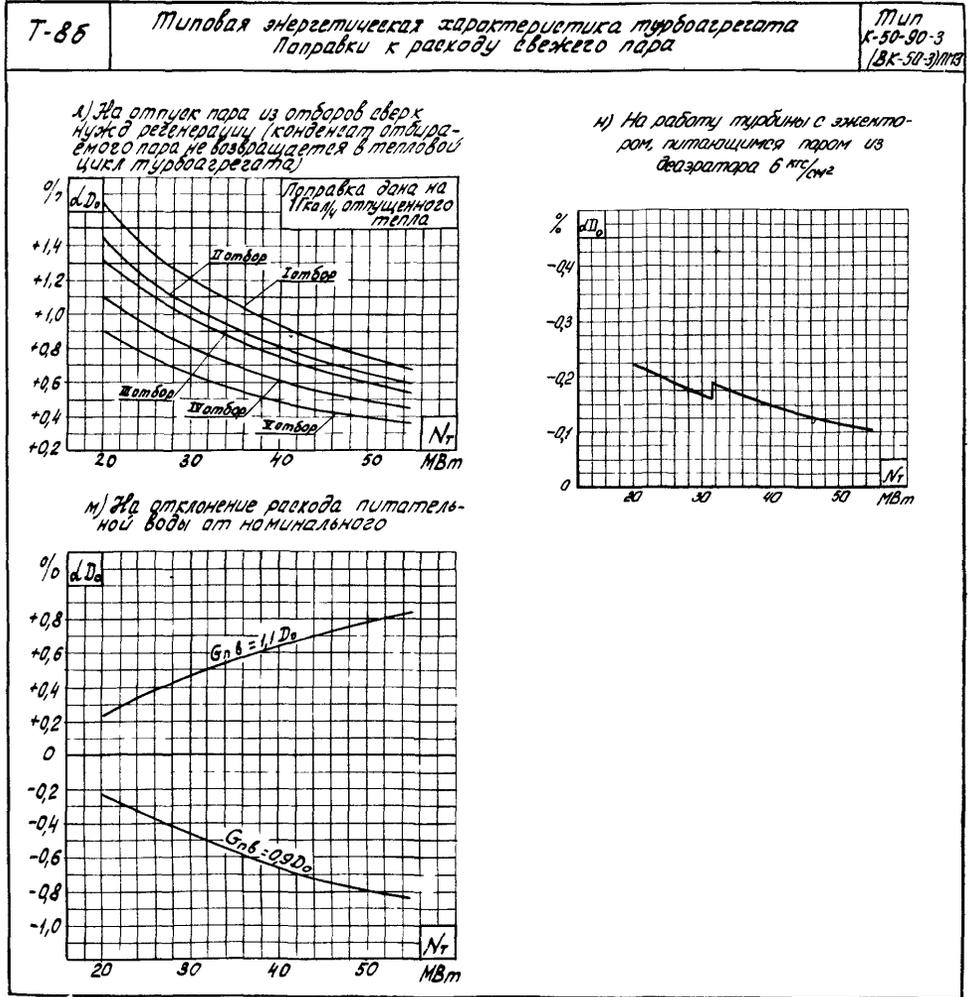


и) На отклонение температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор турбины от номинальной



к) На отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе турбины от номинального





И Р И О К Е Н Н Е

1. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-50-90-3 (БК-50-3) ЛМЗ составлена на базе испытаний трех турбин (Добротворской ГРЭС, Симферопольской ГРЭС и Кирово-Чепецкой ТЭЦ-3). Характеристика отражает среднюю экономичность прошедшего капитальный ремонт турбоагрегата, работающего по заводской расчетной тепловой схеме при следующих условиях:

- давление и температура свежего пара перед стопорным клапаном турбины соответственно 90 кгс/см^2 * и 535°C ;

- давление отработавшего пара: для характеристики при постоянном давлении пара в конденсаторе $0,035 \text{ кгс/см}^2$ - график Т-2, для характеристики при постоянных расходе и температуре охлаждающей воды - график Т-1 в соответствии с тепловой характеристикой конденсатора 50-КЦС-5 ЛМЗ при $W = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $t_f^0 = 15^\circ\text{C}$ (график Т-6а), взятой из "Нормативных характеристик конденсационных установок паровых турбин типа К" (СИТИ ОРГРЭС, 1974);

- система регенерации высокого и низкого давления включена полностью, на деаэратор 6 кгс/см^2 подается пар из III и II отборов (в зависимости от нагрузки: при $N_T \leq 31,4 \text{ МВт}$ деаэратор переводится на II отбор);

- расход гратительной воды равен расходу свежего пара;

- температура питательной воды и основного конденсата турбины за подогревателями - график Т-5а;

- КПД электрического генератора соответствует гарантийным данным завода-изготовителя;

- установка подогревателей сетевой воды отключена;

- внешние потребители пара из регенеративных отборов отсутствуют (ЛМЗ допускает по специальному согласованию с ним ограниченный отбор пара).

Положенные в основу настоящей Типовой энергетической характеристики данные испытаний обработаны с использованием "Таб-

* В тексте и графиках приводится абсолютное давление.

лиц теплофизических свойств воды и водяного пара" (Изд-во стандартов, 1969).

2. В состав турбоагрегата наряду с турбиной входит следующее оборудование:

- генератор ТВ-50-2 завода МЭП с водородным охлаждением;

- пять подогревателей низкого давления, из них ПНД № 1 и 2 встроены в конденсатор, ПНД № 3, 4 и 5 - ПН-90, ПНД № 4 снабжен выносным охладителем дренажа;

- три подогревателя высокого давления ПВ-150/180-2;

- две группы основных трехступенчатых пароструйных эжекторов ЭП-3-600-4 и один пусковой эжектор;

- два конденсатных насоса 8КСД-5х3 с приводом от электродвигателя 75 кВт (постоянно в работе находится один насос, другой - в резерве);

- один сливной насос ПНД № 3 типа КСМ-30; мощность электродвигателя 20 кВт.

3. Полный расход тепла брутто и расход свежего пара в зависимости от мощности на выводах генератора аналитически выражаются следующими уравнениями:

а) при постоянном давлении пара в конденсаторе ($P_2 = 0,035 \text{ кгс/см}^2$ - график Т-2):

$$Q_0 = 11,3 + 2,004 N_T + 0,232 (N_T - 36,2) \text{ Гкал/ч,}$$

$$D_0 = 10,6 + 3,431 N_T + 0,542 (N_T - 36,2) \text{ т/ч;}$$

б) при постоянных расходе ($W = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$) и температуре ($t_f^0 = 15^\circ\text{C}$) охлаждающей воды - график Т-1:

$$Q_0 = 9,8 + 2,048 N_T + 0,230 (N_T - 36,15) \text{ Гкал/ч,}$$

$$D_0 = 8,0 + 3,508 N_T + 0,539 (N_T - 36,15) \text{ т/ч.}$$

Характеристика составлена при работе генератора с собственным возбудителем.

4. Расходы тепла и свежего пара для заданной в условиях эксплуатации мощности определяются по приведенным выше зависимостям характеристики с последующим введением необходимых поправок (графики Т-8а и Т-8б); эти поправки учитывают отклонения эксплуатационных условий от номинальных (от условий характеристики).

Система поправочных кривых практически охватывает весь диапазон возможных отклонений условий эксплуатации турбоагрегата от номинальных. Это обеспечивает возможность нормирования и планирования работы турбоагрегатов в условиях электростанции.

Поправки рассчитаны для условия сохранения постоянной мощности на выводах генератора. При наличии двух отклонений и более в условиях работы турбоагрегата от номинальных поправки алгебраически суммируются.

Пользование системой поправочных кривых поясняется на следующем примере.

Турбоагрегат эксплуатировался со средней электрической нагрузкой брутто $N_T = 45$ МВт при следующих условиях:

- все подогреватели высокого давления были отключены;
- температура свежего пара составляла 525°C ;
- давление отработавшего пара в конденсаторе поддерживалось равным $0,04$ кгс/см².

При данных условиях необходимо определить общий и удельный расход тепла и расход свежего пара.

Решение:

По соответствующим уравнениям графика Т-2 Типовой характеристики при $N_T = 45$ МВт определяются расходы тепла и свежего пара при номинальных условиях, при которых составлена характеристика:

$$q_T^{НОМ} = \frac{Q_0^{НОМ}}{N_T} = \frac{103,52 \cdot 10^3}{45} = 2300 \text{ ккал}/(\text{кВт} \cdot \text{ч});$$

$$D_0^{НОМ} = 169,76 \text{ т/ч.}$$

На отклонения фактических условий от номинальных по соответствующим графикам находятся поправки, которые вносятся в полученные при номинальных условиях данные:

а) к полному и удельному расходам тепла:

- на отключение группы ПВД $\alpha q_T = +1,96\%$ (график Т-8а, п.г);

- на отклонение температуры свежего пара $\alpha q_T = +0,24\%$ (график Т-8а, п.б);

- на отклонение давления отработавшего пара $\alpha q_T = +0,35\%$ (график Т-8а, п.к).

Суммарная поправка $\Sigma \alpha q_T = +2,55\%$.

Удельный и полный расходы тепла, соответствующие данным условиям работы турбоагрегата:

$$q_T' = q_T^{НОМ} \left(1 + \frac{\Sigma \alpha q_T}{100}\right) = 2300 \left(1 + \frac{2,55}{100}\right) = 2358,6 \text{ ккал}/(\text{кВт} \cdot \text{ч});$$

$$q_0' = q_0^{НОМ} \left(1 + \frac{\Sigma \alpha q_T}{100}\right) = 103,52 \left(1 + \frac{2,55}{100}\right) = 106,2 \text{ Гкал/ч};$$

б) к расходу свежего пара:

- на отключение группы ПВД $\alpha D_0 = -6,6\%$ (график Т-8б, п.г);

- на отклонение температуры свежего пара $\alpha D_0 = +1,36\%$ (график Т-8б, п.б);

- на отклонение давления отработавшего пара $\alpha D_0 = +0,35\%$ (график Т-8б, п.к).

Суммарная поправка к расходу свежего пара $\Sigma \alpha D_0 = -4,89\%$.

Расход свежего пара соответствует данным условиям работы турбоагрегата:

$$D_0' = D_0^{НОМ} \left(1 + \frac{\Sigma \alpha D_0}{100}\right) = 169,76 \left(1 - \frac{4,89}{100}\right) = 161,46 \text{ т/ч.}$$

В случае отклонения фактических расходов тепла и свежего пара от полученных значений по данной характеристике с учетом поправок (что свидетельствует об отклонении состояния оборудования от среднеэксплуатационного уровня, при котором составлена

настоящая Типовая энергетическая характеристика) необходимо определить и устранить причины отклонения.

5. Типовая энергетическая характеристика нетто турбоагрегата рассчитана на основе характеристики брутто этого турбоагрегата при постоянном давлении пара в конденсаторе 0,035 кгс/см². Характеристика нетто соответствует следующим условиям:

- параметры и тепловая схема установки - график Т-2;
 - напор, развиваемый циркуляционными насосами, - 10 м вод.ст.;
 - расход циркуляционной воды через конденсатор турбины - 8000 м³/ч, в целом на турбоагрегат - 8800 м³/ч;
 - КПД циркуляционного насоса - 80%, КПД его электродвигателя - 95%;
 - расход тепла на собственные нужды турбоагрегата составляет 0,13 Гкал/ч (0,1% расхода тепла при максимальной мощности);
 - расход электроэнергии на собственные нужды турбоагрегата включает расход энергии на работу насосов (циркуляционных, конденсатных, сливного из ПНД № 3, газоохладителей, системы регулирования, бака запасного конденсата, дренажного бака); также учтено 3% потерь в трансформаторах собственных нужд.
- При определении мощности нетто (N_T^H) из мощности на выводах генератора (N_T) вычиталась мощность, затраченная на собственные нужды турбоагрегата (N_T^{CH}):

$$N_T^H = N_T - N_T^{CH} \quad \text{МВт.}$$

Расход тепла нетто на выработку электроэнергии определяется с учетом затраты тепла на собственные нужды (Q_T^{CH}):

$$Q_3^I = Q_D + Q_T^{CH} \quad \text{Гкал/ч.}$$

Типовая энергетическая характеристика нетто по расходу тепла аналитически выражается уравнением

$$Q_3^I = 12,25 + 2,006 N_T^H + 0,232 (N_T^H - 35,76) \quad \text{Гкал/ч.}$$

Удельный расход тепла нетто на выработку электроэнергии определяется по выражению

$$q_T^H = \frac{Q_3^I}{N_T^H} \quad \text{ккал/(кВт·ч).}$$

При отклонении напора, развиваемого циркуляционными насосами, от принятого в качестве номинального (10 м вод.ст.) к расходу тепла нетто, определенному по уравнению для заданной мощности нетто, вводится поправка.

Пользование характеристикой нетто и поправками к расходу тепла нетто на изменение напора циркуляционных насосов поясняется на следующем примере.

Требуется определить расход тепла нетто при мощности турбоагрегата нетто $N_T^H = 50$ МВт и напоре циркуляционных насосов $H_{ц.к} = 20$ м вод.ст.

Решение:

По уравнению характеристики нетто (Q_3^I) определяется расход тепла нетто при $H_{ц.н} = 10$ м вод.ст.:

$$Q_3^I = 115,85 \quad \text{Гкал/ч.}$$

Определяется поправка к расходу тепла нетто на отклонение напора циркуляционных насосов:

$$\alpha Q_3^I = 0,60\% \text{ -- см. характеристику нетто турбоагрегата.}$$

Искомый расход тепла нетто при $H_{ц.н} = 20$ м вод.ст. и неизменной мощности нетто (50 МВт) определяется по выражению

$$Q_3^{II} = Q_3^I \left(1 + \frac{\alpha Q_3^I}{100} \right) = 115,85 \left(1 + \frac{0,60}{100} \right) = 116,55 \quad \text{Гкал/ч.}$$

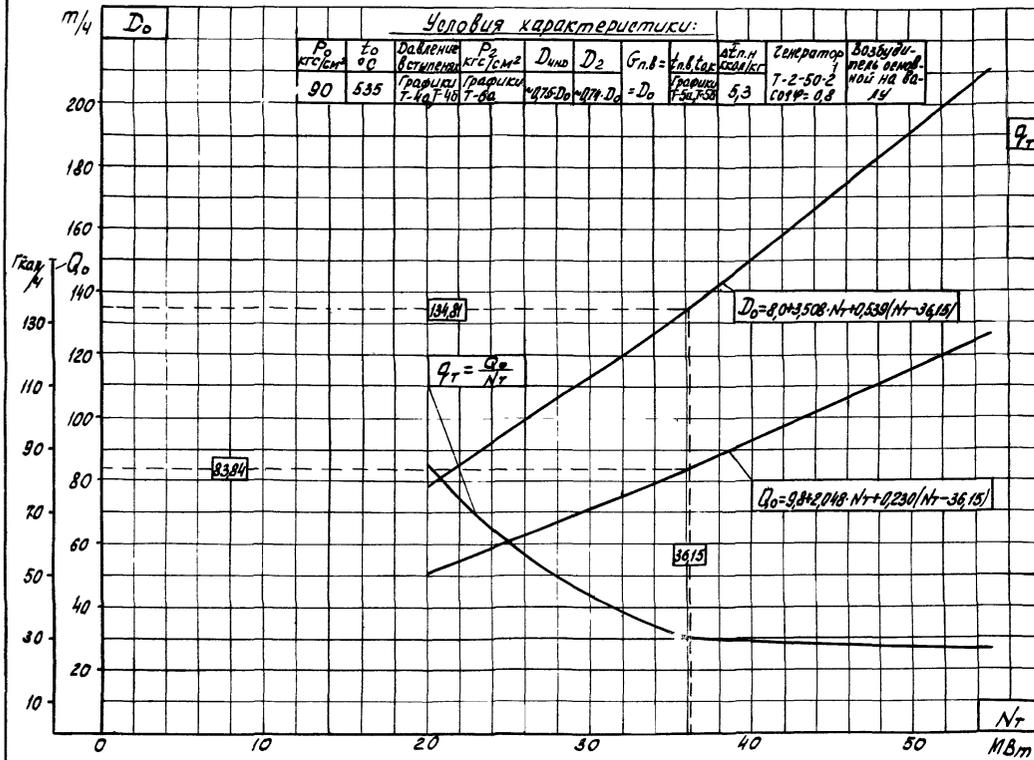
Типовая энергетическая характеристика составлена с подачей на основной эжектор 0,65 т/ч свежего пара.

При подаче на этот эжектор пара из деаэратора 6 кгс/см² в том же количестве к значениям расходов тепла (полному и удельному), пара, определенным по графикам Т-1, Т-2, следует вводить поправки, изображенные на графиках Т-8а, п.н, Т-8б, п.н.

T-1

Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата
Расход пара и тепла при $W=8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $t_0^0=150^\circ\text{C}$

Тип
К-50-30-3
18К-50-300Т



Условия характеристики:

P_0 кг/см ²	t_0 °C	Давление вспенивания	P_2 кг/см ²	$D_{\text{ин}}$	D_2	$G_{\text{п.в}}$	$\eta_{\text{п.в}}$	генератор	Возбудитель
90	535	График Т-4а	График Т-6а	$0.75 D_0$	$0.77 D_0$	D_0	5.3	Т-2-50-2 cos φ = 0.8	на базе 14

Принципиальная тепловая схема

