МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВЭНЕРГОРЕМОНТ

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ТУРБОУСТАНОВКИ Т-100-130 ТМЗ

СОЮЗТЕХЭНЕРГО
МОСКВА 1978

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВЭНЕРГОРЕМОНТ

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ТУРБОУСТАНОВКИ Т-100-130 ТМЗ

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО

МОСКВА 1978

УДК 621.165-186.4:620.179.13(083.96)

Составлено предприятием "Белэнергоремналадка"
и Харьковским филиалом ЦКБ Главэнергоремонта

С о с т а в и т е л и инженеры М.Г.ТАРАЩУК, И.А.ЛАЗУТИН, Э.И.КУЛЬКОВ, И.А.КОРОТОНЦЕВ, Н.М.КОШЕЛЬ (Белэнергоремналадка), Ю.А. АВЕРБАХ, О.С. НАЙМАНОВ, Г.И.ЧЕРНЕНКОВА (ХФ ЦКБ Главэнергоремонта)

В методике определения КПД был использован опыт Южтехэнерго (инженеры М.О.ГАЛУЩАК, П.С.АРХИПОВ, В.Е.ДМИТРИЕВ).

При составлении Инструкции учтены замечания Союзтехэнерго и ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского.

©СПО Союзтехэнерго, 1978.

Инструкция
по проведению экспресс-испытаний
турбоустановки Т-100-130 ТМЗ

Ответственный редактор В.А.Кудрявцева

Технический редактор Е.И.Сапожникова

Корректор Е.В.Крюкова

Подписано к печати 30/XII 1977 г.		Формат 60x84 1/16
П.л. 3,5	Уч.-изд.л. 3,2	Тираж 1500 экз.
Заказ №	Издат. № 243/76	Цена 48 коп.

Ротапринт СПО Союзтехэнерго
109432,Москва,Ж-432,2-й Кожуховский проезд,д.29,корп.6

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Общая часть 5
2. Назначение экспресс-испытаний 6
3. Цели и причины проведения экспресс-испытаний элементов турбины 6
4. Приборы, применяемые при экспресс-испытаниях... 8
5. Схема измерений при экспресс-испытаниях 8
6. Снятие характеристик системы парораспределения 8
   6.1. Рабочая программа 8
   6.2. Обработка опытных данных I3
   6.3. Анализ результатов I5
7. Проверка работы турбины с максимальной электрической нагрузкой и с максимальными расходами пара в регулируемые отборы I8
   7.1. Рабочая программа I9
   7.2. Обработка опытных данных 20
   7.3. Анализ результатов 20
8. Оценка состояния проточной части 24
   8.1. Рабочая программа испытаний 24
   8.2. Методика обработки полученных результатов 26
   8.3. Типовые ошибки при испытаниях 32
   8.4. Анализ полученных результатов 33
   8.5. Проверка готовности схемы турбоустановки к проведению экспресс-испытаний проточной части 36
   8.6. Обработка опытных данных 36
   8.7. Примеры результирующих кривых 36
   8.8. Поправки к мощности турбины на отклонение параметров свежего пара от номинальных 37
   8.9. Дополнительные поправочные коэффициенты 37
   8.10. Определение КПД ЦВД 37
9. Обследование системы регенерации, конденсатора и подогревателей сетевой воды 4I
   9.1. Рабочая программа 4I

9.2. Обработка опытных данных 42
9.3. Анализ результатов испытаний 42
10. Снятие статической характеристики системы регулирования турбины 46
10.1. Рабочая программа опытов 46
10.2. Обработка полученных результатов 49
10.3. Анализ результатов 51
11. Проверка плотности стопорного и регулирующих клапанов ЧВД 53
11.1. Рабочая программа 53
11.2. Обработка полученных результатов 54
11.3. Анализ результатов 54
12. Оценка плотности поворотной диафрагмы ЧНД ... 55
12.1. Рабочая программа 55
12.2. Обработка и анализ результатов 56

УТВЕРЖДАЮ:
Начальник
Главтехуправления
Л.А.ТРУБИЦЫН
15 апреля 1976 г.

УТВЕРЖДАЮ:
Начальник
Главэнергоремонта
Ю.В.ШАБАНОВ
13 апреля 1976 г.

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Настоящая Инструкция составлена на основе "Временной инструкции по производству экспресс-испытаний турбинного оборудования", утвержденной Главтехуправлением и Главэнергоремонтом в феврале 1973 г., с учетом опыта, полученного при ее внедрении в 1973-1975 гг., а также результатов ряда дополнительных расчетов, Служебной записки Минэнерго СССР № ЮН-12025 от 19 октября 1972 г. и "Инструкции по организации ремонта энергетического оборудования электростанций и подстанций" № ТО-506 "Б" от 27 июля 1974 г.

Данная Инструкция содержит рабочие программы, таблицы, необходимые справочные материалы и примеры по испытаниям проточной части, систем пароораспределения, регенерации и регулирования.

Проверку состояния собственно турбины рекомендуется проводить в следующем порядке:

1) снятие характеристик системы пароораспределения;
2) проверка работы турбины на максимальном режиме;
3) оценка состояния проточной части;
4) обследование системы регенерации;
5) снятие статической характеристики системы регулирования.

Необходимо подчеркнуть, что достоверность результатов испытаний может быть обеспечена только при строгом выполнении всех требований Инструкции.

Везде в тексте Инструкции и на рисунках приводятся абсолютные значения давлений.

2. НАЗНАЧЕНИЕ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ

2.1. Каждая турбоустановка в целях ее правильной эксплуатации и своевременного выявления дефектов должна подвергаться периодическим тепловым экспресс-испытаниям для:

- определения экономической целесообразности и объема предстоящего ремонта;
- оценки качества произведенного ремонта;
- получения данных, необходимых для анализа работы отдельных элементов турбоустановки;
- получения данных, необходимых для оценки текущего изменения экономичности турбины в процессе эксплуатации.

2.2. Значительное сокращение времени, средств и трудозатрат на проведение экспресс-испытаний по сравнению с балансовыми достигается за счет того, что:

- анализ состояния основных узлов производится главным образом по сравнительным показателям, что обеспечивает достаточную точность оценки состояния элементов оборудования. При этом отпадает необходимость в организации трудоемких точных измерений расходов пара и воды;
- узлы турбины испытываются раздельно (парораспределение, проточная часть, регенерация и т.д.), в результате чего сокращается количество опытов и число измеряемых величин, исключается необходимость в введении поправок на их взаимное влияние при обработке данных.

2.3. Для сопоставимости результатов условия проведения опытов (схема и режим работы) должны повторяться при последующих испытаниях.

3. ЦЕЛИ И ПРИЧИНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИНЫ

3.1. Экспресс-испытания выполняются в случаях, указанных в табл.1.

Таблица I

Цели и причины проведения экспресс-испытаний элементов турбины

Когда проводятся испытания	Цель испытаний	Время проведения испытаний	Объем испытаний	Примечание
При планировании объемов ремонтов на следующий год	1. Определение экономической целесообразности и объема предстоящего ремонта. 2. Получение сравнительных данных для экономичного распределения нагрузки между однотипными турбинами. 3. Проверка готовности оборудования к осенне-зимнему максимуму нагрузок	Август-сентябрь	В полном объеме	Испытанию подлежат все турбины, не прошедшие ремонт в текущем году
Перед выводом турбины в ремонт	1. Получение данных для последующей оценки качества ремонта. 2. Выявление дефектов оборудования для уточнения объема ремонта	За 10-20дн до начала ремонта	В полном объеме	-
После выполнения ремонта	1. Оценка качества произведенного ремонта узлов турбины. 2. Получение сравнительных данных для оптимального распределения нагрузки между турбинами одного типа. 3. Проверка готовности оборудования к осенне-зимнему максимуму нагрузок	В первые 10 дн после ремонта	В полном объеме	-
После задеваний или при подозрении на повреждения в проточной части	1. Проверка состояния турбины для выяснения необходимости и объема ремонта. 2. Выяснение необходимости ввода ограничений (мощности, расходов пара). 3. Уточнение графика распределения нагрузок между турбинами одного типа	Немедленно	Испытываются те элементы турбины, на работе которых могла отразиться аварийная ситуация	-

3.2. При проведении экспресс-испытаний обязательно соблюдение требований ПТЭ, ПТБ, инструкций, противоаварийных циркуляров и других директивных материалов Главтехуправления Минэнерго СССР, инструкций и директивных указаний заводов-изготовителей, местных инструкций.

3.3. Если на электростанции в тепловую схему турбоустановки по сравнению с заводской внесены изменения, в рабочую программу испытаний данной турбины также должны быть внесены необходимые изменения с учетом конкретных условий электростанции, обеспечивающие надежную работу турбоустановки в процессе экспресс-испытаний.

4. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЯХ

4.1. При проведении экспресс-испытаний необходимо руководствоваться данными табл.2, где указаны перечень применяемых приборов, места измерений, измеряемая среда или параметры.

5. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЯХ

5.1. При проведении экспресс-испытаний места измерений давления, температуры и расхода должны устанавливаться в соответствии со схемой измерений, приведенной на рис.1.

6. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Из всего комплекса опытов, необходимых при проведении экспресс-испытаний, данная серия опытов проводится первой; если обнаружены дефекты системы парораспределения (неправильная настройка, дросселирование в клапанах и др.), их необходимо устранить, чтобы исключить влияние этих дефектов на экономичность проточной части.

Результаты этой серии опытов могут быть использованы при определении КПД ЧВД в характерных точках (в положении полного открытия всех или нескольких регулирующих клапанов - см.гл. 8.10).

6.1. Рабочая программа

6.1.1. При проведении опытов должны быть выполнены следующие условия:

Таблица 2

Перечень приборов, применяемых при экспресс-испытаниях

Места измерений, измеряемая среда	Класс точности	Первичный прибор	Вторичный прибор	Пределы шкалы	Количество приборов	Примечание
Давление пара						
Перед стопорным клапаном					2	
За стопорным клапаном					I	
За регулирующими клапанами				0-I60	4	
В камере регулирующей ступени ЦВД					I	
В камере I отбора				0-60	I	
В камере II отбора	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-40	I	
В камере III отбора				0-I6	2	
В камере IV отбора				0-6	I	
В камере V отбора				0-6	I	
Вакуум в конденсаторе					4	
В камере теплофикационного отбора			U-образный ртутный манометр		I	
В камере VII отбора					I	
На уплотнения	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-2,5	I	
Перед ПНД № I			U- образный ртутный манометр		I	
Перед ПНД № 2					I	
Перед ПС					I	
Перед ПНД № 3				0-6	I	
Перед ПНД № 4					I	
Перед ПВД № 5				0-I6	I	
Перед ПВД № 6	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-40	I	
Перед ПВД № 7				0-60	I	
Перед основными подогревателями сетевой воды				0-6	I	
Температура						
Пара перед стопорным клапаном	0,05	Термопара ХК	Эксплуатационный потенциометр		2	Термометрические гильзы, бобышки, чехлы для термопар должны отвечать требованиям соответствующих стандартов. Вторичные приборы, термопары, термометры должны быть проверены
Свежего пара за ЦВД					2	
Пара на выхлопе ЦВД			Переносный потенциометр		2	
Циркуляционной воды на входе в конденсатор		Лабораторный ртутный термометр		0-50°С	2	
Циркуляционной воды на выходе из конденсатора					I	

Окончание таблицы 2

Места измерений, измеряемая среда	Класс точности	Первичный прибор	Вторичный прибор	Пределы шкалы	Количество приборов	Примечание
Сетевой воды до подогревателя сетевой воды		Лабораторный ртутный термометр		50-100°С	2	
Сетевой воды после подогревателя сетевой воды					2	
Дренажа подогревателя сетевой воды					2	
Основного конденсата перед конденсатным насосом					I	
Основного конденсата перед ПНД № I					I	
Основного конденсата перед ПС				0-50°С	I	
Основного конденсата перед ПНД № 2				50-100°С	I	
Основного конденсата за ПНД № 2				100-150°С	I	
Основного конденсата перед ПНД № 3	0,05	Термопара ХК	Переносный потенциометр		I	Термометрические гильзы, бобышки, чехлы для термопар должны отвечать требованиям соответствующих стандартов. Вторичные приборы, термопары, термометры должны быть проверены
Основного конденсата перед ПНД № 4					I	
Основного конденсата за ПНД № 4					I	
Дренажа ПНД № 4					I	
Дренажа ПНД № 3 до испарителя					I	
Дренажа ПНД № 2		Лабораторный ртутный термометр		100-150°С	I	
Дренажа СП					I	
Дренажа ПНД № I		Ртутный термометр		0-50°С	I	
Питательной воды перед ПВД № 5,6,7	0,05	Термопара ХК	Переносный потенциометр		3	
Питательной воды за ПВД № 7 до обвода					I	
Питательной воды за ПВД № 7 после обвода					I	
Дренажа ПВД № 7					I	
Дренажа ПВД № 6					I	
Дренажа ПВД № 5					I	
Питательной воды перед расходомерной шайбой					I	
Расход и другие параметры						
Свежего пара	0,2/0,5	Штатное расходомерное сопло	Штатный расходомер		2	
Пара теплофикационного отбора		То же	То же		2	
Питательной воды		-"-	-"-		I	
Электрическая мощность		Штатные измерительные трансформаторы	Однофазные ваттметры		2	Ваттметры собираются по схеме двух ваттметров
Барометрическое давление		Чашечный ртутный барометр (станционный) МД-21			I	Допустимо измерение барометрического давления проверенным анероидом
Пар I отсоса из переднего уплотнения ЦВД		Расходомерная диафрагма	Дифманометр ДТ-50		I	

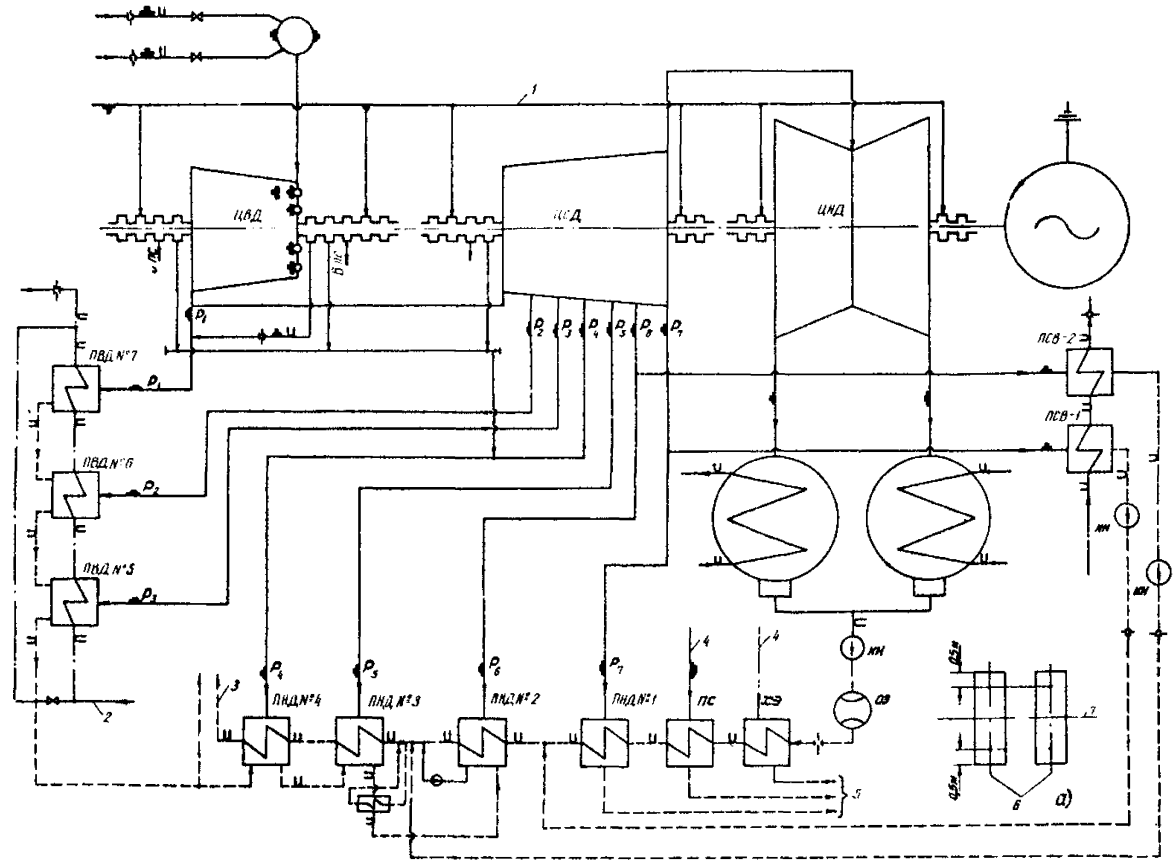

Рис.I. Схема измерений при экспресс-испытаниях турбоустановки Т-100-130 ТМЗ:

I - пар на уплотнения турбины; 2 - питательная вода; 3 - в деаэратор; 4 - из уплотнений турбины; 5 - в конденсатор; 6 - оси конденсатора; 7 - ось турбины

$P_1, P_2 \ldots P_7$ - давление пара соответственно в I-VII отборах турбины; *а* - расположение точек измерения давления в конденсаторе $P_к$; ▬▬ - место измерения давления; ⊔⊔ - место измерения температуры; —|—|— - место измерения расхода

а) турбина должна быть прогретой (не менее чем после 8 ч работы с нагрузкой, близкой к номинальной);

б) регенерация турбины должна быть полностью включена;

в) расход питательной воды должен поддерживаться близким к расходу свежего пара ($D_{п.в} = I \div I,I D_0$);

г) при малых нагрузках турбина должна работать на одном паропроводе свежего пара для обеспечения измерения расхода пара по градуированной части шкалы штатного расходомера;

д) опыты должны проводиться при включенном теплофикационном отборе.

Нагрузку (расход пара) изменяют нагружением регулируемого отбора, начиная с положения сервомотора ЧВД, соответствующего частичному открытию первого регулирующего клапана до максимального расхода пара на турбину;

е) должно быть выбрано такое количество опытов, чтобы были зафиксированы режимы в начале и конце открытия каждого из регулирующих клапанов и две-три точки между этими крайними положениями клапанов;

к) в каждом опыте должно производиться 8-I0 записей показаний приборов через 2-3 мин ;

з) допускаются отклонения параметров пара в пределах, приведенных в табл.3.

Таблица 3

Допустимые отклонения параметров пара при проведении экспресс-испытаний

Параметр	Максимально допустимое отклонение	
	среднего значения параметра от номинального значения	от среднего значения параметра
Давление свежего пара...	$\pm 6,5$ кгс/см^2	$\pm 2,5$ кгс/см^2
Давление отработавшего пара	-	± 2 мм рт.ст.
Давление пара в регулируемом теплофикационном отборе	-	$\pm 0,05$ кгс/см^2
Температура свежего пара	$\pm 8^0$C	$\pm 6^0$C

6.I.2. При проведении опытов производится запись значений следующих параметров:

- расхода свежего пара;
- хода сервомотора и угла поворота кулачкового вала ЧВД;
- подъема регулирующих клапанов ЧВД;
- положения синхронизатора;
- давления пара за стопорным клапаном и перед ним, за регулирующими клапанами ЧВД, в камерах регулирующей ступени ЧВД, в регулируемом отборе;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;
- температуры баббита колодок упорного подшипника;
- осевого сдвига ротора.

6.2. Обработка опытных данных

6.2.I. Построение графиков и анализ результатов производятся после подсчета средних опытных значений, введения к ним поправок и приведения данных испытания к сопоставимым (номинальным) условиям.

6.2.2. Вводятся следующие поправки к показаниям приборов:

а) к показаниям манометров:

- на высоту установки манометра относительно точки замера;
- на погрешность прибора по протоколу тарировки цеха АТИ электростанции;
- на барометрическое давление;
- на температуру столба ртути к ртутным манометрам и вакуумметру;

б) к показаниям расходомеров:

- на погрешность вторичного прибора по протоколу тарировки цеха АТИ электростанции;
- на отличие опытного удельного объема пара от расчетного для сужающего устройства;

в) к показаниям эксплуатационных потенциометров температуры свежего пара:

- на погрешность вторичного прибора по протоколу тарировки цеха АТИ электростанции;

г) к показаниям термопары по результатам ее проверки.

6.2.3. Приведение к номинальным условиям предполагает сохранение неизменным положения регулирующих клапанов, при этом к номинальным (сопоставимым) условиям приводятся расход свежего пара и давление в проточной части.

6.2.4. Приведение давления в проточной части (за регулирующими клапанами, в контрольных ступенях, в камерах регулирующих ступеней) к номинальным условиям производится по формуле

$$p_i^{пр} = p_i^{оп} = \frac{p_0^{н}}{p_0^{оп}}, \qquad (I)$$

где $p_i^{пр}$, $p_i^{оп}$ – приведенное и опытное значения давлений;
$p_0^{н}$; $p_0^{оп}$ – номинальное и опытное начальное давление.

6.2.5. Приведение расхода пара к номинальным условиям производится:

а) на отличие опытного удельного объема от расчетного по формуле

$$D_0^{оп} = D_0^{зам}\sqrt{\frac{\gamma_{оп}}{\gamma_р}} = D_0^{зам}\sqrt{\frac{p_0^{оп} T_0^{р}}{p_0^{р} T_0^{оп}}}, \qquad (2)$$

где $T_0^{р}$, $p_0^{р}$ – температура (^{o}К) и давление (кгс/см^2), при которых рассчитано сужающее устройство;

б) на отклонение параметров пара от номинальных (приведение к номинальным условиям производится при неподвижной системе парораспределения) по формуле

$$D_0^{пр} = D_0^{оп} A = D_0^{оп}\frac{p_0^{н}}{p_0^{оп}}\sqrt{\frac{T_0^{оп}}{T_0^{н}}} = D_0^{зам}\kappa(p_0), \qquad (3)$$

где $$\kappa(p_0) = p_0^{н}\sqrt{\frac{T_0^{р}}{T_0^{н} p_0^{р}}}\cdot\frac{1}{\sqrt{p_0^{оп}}} = a\frac{1}{\sqrt{p_0^{оп}}};$$

$$a = p_0^{н}\sqrt{\frac{T_0^{р}}{T_0^{н} p_0^{р}}} = const.$$

6.2.6. Порядок обработки результатов опытов по снятию характеристик системы парораспределения приведен в табл.4.

6.3. Анализ результатов

6.3.I. По результатам опытов строятся зависимости:

а) давления за регулирующими клапанами и в камере регулирующей ступени от расхода пара на турбину:

$$P_{кл}^{пр}=f(D_0^{пр});\ P_{р.ст}^{пр}=f(D_0^{пр});$$

б) расхода пара на турбину от положения сервомотора

$$D_0^{пр}=f(H_{цвд});$$

в) подъема штоков сервомоторов регулирующих клапанов от угла поворота кулачкового вала, от положения сервомотора:

$$h_{кл}=f(H_{цвд}),\ h_{кл}=f(\varphi)$$

6.3.2. По характеристикам $P_{кл}^{пр}=f(D_0^{пр})$; $P_{р.ст}^{пр}=f(D_0^{пр})$ определяется дросселирование в полностью открытых клапанах по отношению к состоянию пара перед стопорным клапаном. Суммарная потеря давления в стопорном и регулирующих клапанах не должна превышать значений, указанных заводом-изготовителем или полученных во время испытания аналогичных турбин при заведомо правильной настройке системы парораспределения. Повышенная потеря давления свидетельствует о неполном открытии клапана. Если характеристика $h_{кл}=f(\varphi)$ отличается от заводской, то дефект - неправильная настройка системы парораспределения. Если характеристика $h_{кл}=f(\varphi)$ не отличается от заводской, то дефект - люфт между штоком и клапаном. Возможны случаи сокращения проходного сечения вследствие выхода седла клапана из расточки.

Таблица 4

Результаты опытов по снятию характеристик системы парораспределения (на примере Минской ТЭЦ-3)

Показатель	Обозначение	Размерность	Режим работы турбины									Примечание
			I-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	IO-й	
Давление пара перед стопорным клапаном:													
усредненное опытное значение	p_0'	кгс/см^2	I3I,I	I28,2	I3I,3	I28,I	I28,9	I28,7	I24,5	I24,6	I25,4	I22,8	
с учетом поправок	p_0	кгс/см^2	I29,9	I27	I30,I	I26,9	I27,7	I27,5	I23,3	I23,4	I24,2	I2I,6	
Давление пара за стопорным клапаном:													
усредненное опытное значение	$p_{за}'$	кгс/см^2	I3I,2	I28,7	I3I,I	I28,3	I29,5	I29,I	I24,3	I24,3	I24,9	I23,0	
с учетом поправок	$p_{за}$	кгс/см^2	I30,0	I27,5	I29,9	I27,I	I28,3	I27,9	I23,I	I23,I	I23,7	I2I,8	
Давление пара за регулирующими клапанами:													
№ I: усредненное опытное значение	$p_{I кл}'$	кгс/см^2	I26,4	I2I,8	I26,I	I20,9	I20,9	I23,5	II5,5	I00,9	90,9	II0,5	
с учетом поправок	$p_{I кл}$	кгс/см^2	I27,4	I22,8	I27,I	I2I,9	I2I,9	I24,5	II6,5	I0I,9	9I,9	III,5	
№ 2: усредненное опытное значение	$p_{II кл}'$	кгс/см^2	I26,I	II3,7	I26,0	9I,8	83,4	I22,4	62,4	34,0	29,I	46,4	
с учетом поправок	$p_{II кл}$	кгс/см^2	I27,5	II5,I	I27,4	93,2	84,8	I23,8	63,8	35,4	30,5	47,8	
№ 3: усредненное опытное значение	$p_{III кл}'$	кгс/см^2	II9,5	64,3	95,9	58,2	57,0	80,2	48,5	34,6	29,8	39,8	
с учетом поправок	$p_{III кл}$	кгс/см^2	I20,7	65,5	97,I	59,4	58,2	8I,4	49,7	35,8	3I,0	4I,0	
№ 4: усредненное опытное значение	$p_{IV кл}'$	кгс/см^2	I03,I	63,2	8I,9	55,8	53,8	73,6	46,8	33,4	28,4	39,4	
с учетом поправок	$p_{IV кл}$	кгс/см^2	I04,6	64,7	83,4	57,3	55,3	75,I	48,3	34,9	29,9	40,9	
Давление пара в камере регулирующей ступени ЧВД:													
усредненное опытное значение	$p_{р.ст}'^{чвд}$	кгс/см^2	94,4	64,4	83,0	58,2	56,6	75,4	48,6	35,0	30,4	4I,6	
с учетом поправок	$p_{р.ст}^{чвд}$	кгс/см^2	94,5	64,5	83,I	58,3	56,7	75,5	48,7	35,I	30,5	4I,7	
Давление пара в камере нижнего теплофикационного отбора:													
усредненное опытное значение	$p_{т.н}'$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
с учетом поправок	$p_{т.н}$	кгс/см^2	0,529	0,47	0,5I8	0,427	0,4I7	0,502	0,37	0,284	0,257	0,326	
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.	738,2	738,8	739,3	739,5	740,3	74I,0	740,2	740,I	739,9	743,6	
Приведенное давление пара за регулирующими клапанами:													
№ I	$p_{I кл}^{пр}$	кгс/см^2	I27,5	I25,3	I27	I24,8	I23,8	I26,6	I22,8	I07,3	96,3	II9,2	$p=p_i^{оп}\frac{p_0''}{p_c^{оп}}$
№ 2	$p_{II кл}^{пр}$	кгс/см^2	I27,6	II7,6	I27,3	95,4	86,2	I26	67,4	37,4	32	5I,I	
№ 3	$p_{III кл}^{пр}$	кгс/см^2	I20,8	66,9	97,02	60,8	59,I	82,8	52,5	37,8	32,5	43,8	
№ 4	$p_{IV кл}^{пр}$	кгс/см^2	I04,7	66,I	83,3	58,6	56,2	76,4	5I,0	36,85	3I,35	43,7	
Приведенное давление пара в камере регулирующей ступени ЧВД	$p_{р.чвд}^{пр}$	кгс/см^2	94,56	65,9	83,0I	59,6	57,6	76,8	5I,4	37,0	32,0	44,5	
Поправочный коэффициент к расходу свежего пара на отклонение параметров	$\kappa(p_0)$	-	I,0004	I,0I9	0,9996	I,025	I,0I3	I,0I4	I,054	I,049	I,044	I,065	$\kappa(p_0)=\alpha\frac{1}{\sqrt{p_0}}$
Расход свежего пара:													
усредненное опытное значение	D_0'	т/ч	476	33I,8	4I6	295,6	287,7	383,7	244,3	I77,7	I50,6	209	
с учетом поправок	$D_0^{оп}$	т/ч	477,2	333	4I7,2	296,8	288,9	384,9	246	I79	I52	2I0,4	
приведенный	$D_0^{пр}$	т/ч	477,4	338,I	4I7	303	29I,4	389,I	257,5	I86,4	I57,2	222,6	
Положение сервомотора ЧВД	$H_{чвд}$	мм	I68	I46,6	-	I27,8	I25	-	I20,6	I0I	94,6	III,I	
Угол поворота кулачкового вала	φ	Градус	II6	I03	-	90,5	90	-	85,5	74	70	80	
Положение синхронизатора	n	Деление	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Подъем регулирующих клапанов:													
№ I	h_I	мм	5I,7	38	-	24	23,6	-	20	I5,2	I4,I	I7,2	
№ 2	h_{II}	мм	47	33,5	-	I6,8	I6	-	I3,2	9,6	8,5	II,2	
№ 3	h_{III}	мм	35,8	4,2	-	0,5	0,5	-	0	0	0	0	
№ 4	h_{IV}	мм	3,I	0	-	0	0	-	0	0	0	0	
Температура баббита упорного подшипника	$t_{баб}^{ср}$	°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Осевой сдвиг РВД	S	мм	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

6.3.3. Заводская диаграмма очередности открытия регулирующих клапанов предусматривает наиболее благоприятную статическую характеристику при наименьшем дросселировании пара в клапанах. В связи с этим необходимо проверять соответствие моментов начала открытия клапанов заводской диаграмме или данным, полученным при правильной настройке системы парораспределения во время испытаний (рис.2).

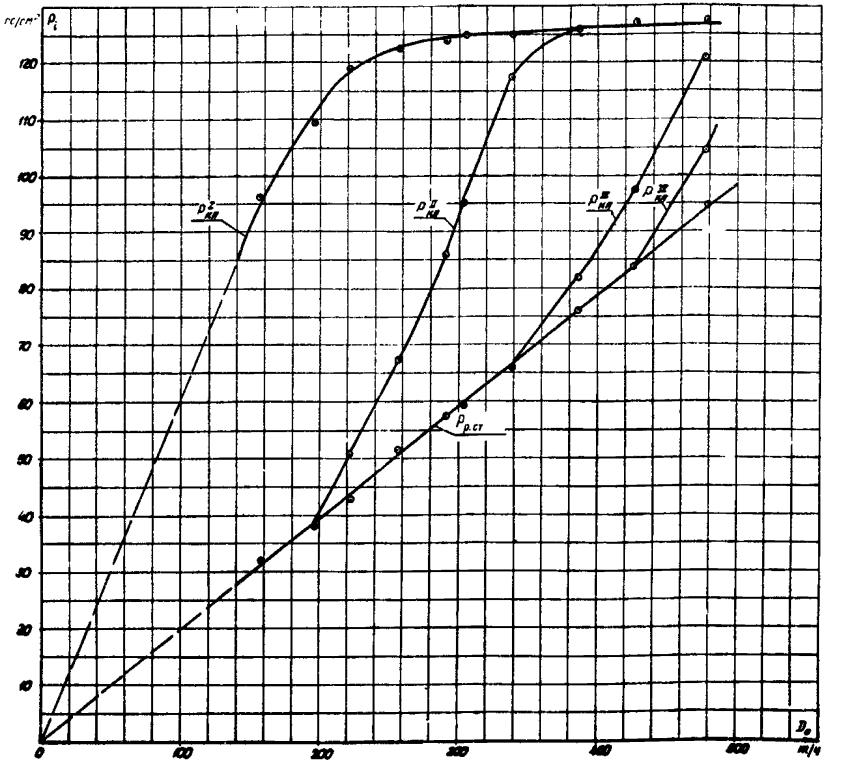

Рис.2. Диаграмма парораспределения (на примере Минской ТЭЦ-3):
$p_{кл}^{I-IУ}$ - давление за регулирующими клапанами I-IУ;
$p_{р.ст}$ - давление за регулирующей ступенью

При анализе правильности настройки системы парораспределения необходимо также учитывать, что пологий характер линии давления за клапаном может быть при износе сопл соответствующего сегмента, а более крутой – при их завальцовке.

6.3.4. Зависимость $D_0 = f(H_{чвд})$ должна быть плавной, с непрерывным нарастанием. Для обеспечения требований к системе регулирования эта зависимость должна быть близка к линейной.

6.3.5. Диаграмма парораспределения $p_{кл} = f(D_0)$ должна удовлетворять требованиям заводской диаграммы. Обрыв клапана по характеристике $p_{кл} = f(D_0)$ определяется по равенству давлений за клапаном и в камере регулирующей ступени.

6.3.6. Зависимости температуры баббита колодок упорного подшипника и осевого сдвига ротора от давления в камере регулирующей ступени ЦВД

$$t^{ср}_{баб} = f(p_{р.ст}); \quad S = f(p_{р.ст})$$

позволяют оценить надежность упорного подшипника, а также используются при анализе изменения состояния проточной части турбины.

7. ПРОВЕРКА РАБОТЫ ТУРБИНЫ С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ И С МАКСИМАЛЬНЫМИ РАСХОДАМИ ПАРА В РЕГУЛИРУЕМЫЕ ОТБОРЫ

Эти опыты могут быть совмещены с опытами по снятию характеристик системы парораспределения, но могут выполняться и отдельно.

На турбине устанавливается максимально возможная нагрузка; нагружение прекращается при достижении предельного значения одного из контрольных значений (давления в контрольных ступенях турбины, расхода пара в конденсатор, температуры упорных подшипников, максимальной нагрузки генератора и др.).

Проверка значения максимального расхода в регулируемый отбор производится при наличии достаточной тепловой нагрузки постепенным увеличением расхода сетевой воды; сервомотор ЧНД прикрывается и может дойти до нижнего упора, с этого момента прекратится независимость процесса регулирования. Поэтому для снятия сервомотора с упора нужно воздействием на синхронизатор изменить электрическую нагрузку. Режим установлен, если прекратился рост расхода в отбор от воздействия регулятора давления.

7.I. Рабочая программа

7.I.I. Проводятся два опыта при нормальной схеме регенерации: с отключенным регулируемым отбором и максимальной электрической нагрузкой (пар на деаэратор закрыт); с максимальным расходом в теплофикационный отбор.

Условия проведения опытов:

- расход питательной воды должен быть близок к расходу свежего пара ($D_{п.в} = 1 \div 1{,}1 D_0$);
- допустимое отклонение параметров пара - в соответствии с данными табл.3 ;
- в каждом опыте осуществляется 8–I0 записей показаний приборов через 2–3 мин.

7.I.2. При проведении опытов производится запись значений следующих параметров:

- электрической мощности генератора;
- расхода свежего пара;
- давления пара перед стопорным клапаном, в регулирующей ступени ЧВД, в камере регулируемого отбора, в контрольной ступени ЧНД;
- температуры пара перед стопорным клапаном, в регулируемых отборах;
- расхода пара в регулируемый отбор;
- хода сервомоторов ЧВД и ЧНД;
- положения синхронизаторов регулятора скорости и регулятора давления регулируемого отбора;
- осевого сдвига и относительного положения ротора;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;

- нагрева масла в опорных подшипниках и колодках упорного подшипника;

- температуры и расхода питательной воды за ПВД.

7.2. Обработка опытных данных

7.2.1. Производится подсчет средних измеренных значений, введение поправок к показаниям приборов (аналогично серии опытов по снятию характеристик системы пароораспределения).

7.2.2. Данные испытаний приводятся к номинальным (сопоставимым) условиям:

а) данные опытов с отключенными регулируемыми отборами - так же, как и в серии опытов по оценке состояния проточной части;

б) данные опытов с включенными регулируемыми отборами - по заводским поправкам, прилагаемым к диаграмме режимов работы турбины.

7.2.3. Если приведенное значение давления в контрольной ступени в опыте с отключенными регулируемыми отборами выше допустимого, то необходимо определять максимально возможную мощность турбины при допустимом давлении в контрольной ступени, используя линейную зависимость давления в ступени от мощности (рис.3).

7.2.4. Порядок обработки результатов опытов с максимальной электрической нагрузкой представлен в табл.5.

7.3. Анализ результатов

7.3.1. Проверка работы турбин с максимальной электрической нагрузкой заключается в определении максимальной мощности и лимитирующих ее факторов. Сравнение полученного значения мощности с данными последующих испытаний позволит сделать заключение об общем изменении экономичности турбоагрегата.

7.3.2. Выявление максимально возможной мощности каждого турбоагрегата имеет большое значение для энергосистемы, так как позволит определить кратковременно допустимую перегрузку оборудования для покрытия острой нехватки мощности при аварийной ситуации в системе.

Проверяется соответствие максимальной мощности расходу пара в конденсатор по давлению в контрольной ступени, а также соответствие давления в контрольных ступенях расходу пара на турбину (при чистой проточной части).

Таблица 5

Сводные данные результатов опытов с максимальной электрической нагрузкой и максимальным расходом пара в регулируемый отбор

(на примере Минской ТЭЦ-3)

Показатель	Обозначение	Размерность	До капитального ремонта		После капитального ремонта		Примечание
			Конденсационный режим	$D_T^{макс}$	Конденсационный режим	$D_T^{макс}$	
Давление пара перед стопорными клапанами:							
левыми:							
усредненное опытное значение	$p_0^{л\prime}$	кгс/см^2	124,5				Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление
с учетом поправок	$p_0^{л}$	кгс/см^2	125,1				
правыми:							
усредненное опытное значение	$p_0^{пр\prime}$	кгс/см^2	124,1				
с учетом поправок	$p_0^{пр}$	кгс/см^2	125,3				
среднее с учетом поправок	$p_0^{ср}$	кгс/см^2	125,2				
Давление пара за стопорным клапаном:							
усредненное опытное значение	$p_{за}^{\prime}$	кгс/см^2	123,8				
с учетом поправок	$p_{за}$	кгс/см^2	124,3				
Давление в регулирующей ступени ЧВД:							
усредненное опытное значение	$p_{э.с}^{чвд}$	кгс/см^2	72,2				
с учетом поправок	$p_{р.с}^{чвд}$	кгс/см^2	73,5				
Давление в контрольной ступени:							
усредненное опытное значение	$p_к^{\prime}$	кгс/см^2	1,82				
с учетом поправок	$p_к$	кгс/см^2	2,629				
Давление в теплофикационном отборе:							
усредненное опытное значение	$p_т^{\prime}$	кгс/см^2	0,517				
с учетом поправок	$p_т$	кгс/см^2	0,529				
Температура пара перед стопорным клапаном:							
левым	$t_0^{л}$	^{0}C	565,9				
правым	$t_0^{п}$	^{0}C	566,5				
среднее	t_0	^{0}C	566,3				
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.	738,2				
Вакуум в конденсаторе:							
слева спереди:							
замеренный перепад	V	мм рт. ст.	–				$V=-0{,}0001815\cdot t_{рт}V'+V'$
с учетом поправок	V'	мм рт. ст.	–				
давление	$p_к^{\prime}$	кгс/см^2	–				

Окончание таблицы 5

Показатель	Обозначен.	Размерность	До капитального ремонта		После капитального ремонта		Примечание
			Конденсационный режим	$П_т^{макс}$	Конденсационный режим	$П_т^{макс}$	
справа спереди:							
измеренный перепад	V	мм рт. ст.	681				
с учетом поправок	V'	мм рт. ст.	679,3				
давление	$P_к^{II}$	кгс/см^2	0,0800				$P_к = \frac{B-V}{735,5}$
слева сзади:							
измеренный перепад	V	мм рт. ст.	-				
с учетом поправок	V'	мм рт. ст.	-				
давление	$P_к^{III}$	кгс/см^2	-				
справа сзади:							
измеренный перепад	V	мм рт. ст.	680				
с учетом поправок	V'	мм рт. ст.	678,5				
давление	$P_к^{IV}$	кгс/см^2	0,0812				
среднее давление	$P_к$	кгс/см^2	0,0806				
Поправочный коэффициент к расходу свежего пара на отклонение параметров свежего пара	A		1,038				$A = \frac{P_0''}{P_0^{III}} \sqrt{\frac{T_0^{III}}{T_0''}}$
Расход свежего пара:							
усредненное опытное значение	D_0'	т/ч	373				$D_0 = D_0' \sqrt{\frac{P_0'' T_0'}{T_0'' P_0'}}$
с учетом поправок	D_0	т/ч	373				$D_0^{пр} = D_0 A$
приведенный расход	$D_0^{пр}$	т/ч	387,2				
Приведенное давление в регулирующей ступени ЧВД	$P_{р.ст}^{ЧВД\ пр}$	кгс/см^2	76,29				
Приведенное давление в контрольной ступени	$P_i^{пр}$	кгс/см^2	2,729				$P_i^{пр} = P_i^{оп} A$
Приведенное давление в теплофикационном отборе	$P_т^{пр}$	кгс/см^2	0,549				
Мощность генератора:							$N_э = K_I K_U C Z$, где K_I – коэффициент трансформатора тока; K_U – коэффициент трансформатора напряжения; C – цена деления прибора
показания прибора	Z		170,9				
измеренная	$N_э^{изм}$	кВт	102566				
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение P_0 от номинальной	β_{P_0}	%	3,84				Рис.6
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение t_0 от номинальной	β_{t_0}	%	0,4				Рис.7
Сумма поправочных коэффициентов	$\Sigma\beta$	%	5,44				
Поправка к мощности на давление в конденсаторе	$\Delta N_{P_к}$	кВт	2900				По сетке поправок на вакуум – рис.8

Электрическая мощность при номинальных условиях	$N_э$	кВт	I08463				$N_э = (N_э^{оп} \pm \Delta N_{рк}) \cdot (1 + \frac{\Sigma\beta}{100}) \cdot A$
Осевой сдвиг ротора							
РВД	$S_{рВД}$	мм	0,65				
Относительное положение роторов:							
РВД	$\Delta\ell_{рВД}$	мм	0				
РСД	$\Delta\ell_{рСД}$	мм	0				
Нагрев масла в опорных подшипниках:							
№ I	t_1^*	°С	46				
№ 2	t_2^*	°С	46				
№ 3	t_3^*	°С	5I				
№ 4	t_4^*	°С	53				
№ 5	t_5^*	°С	63				
№ 6	t_6^*	°С	63				
№ 7	t_7^*	°С	57				
№ 8	t_8^*	°С	56				
Температура колодок упорного подшипника:							
рабочие колодки:							
максимальная	$t_{макс}$	°С	64				
минимальная	$t_{мин}$	°С	62				
средняя	$t_{ср}$	°С	63				
нерабочие колодки :							
максимальная	$t_{макс}$	°С	52				
минимальная	$t_{мин}$	°С	50				
средняя	$t_{ср}$	°С	5I				
Положение сервомоторов:							
ЧВД	$H_{чВД}$	мм	I68,5				
ЧНД	$H_{чНД}$	мм	200				
Положение синхронизаторов:							
скорости	-	-	-				
теплофикационного отбора	-	-	-				

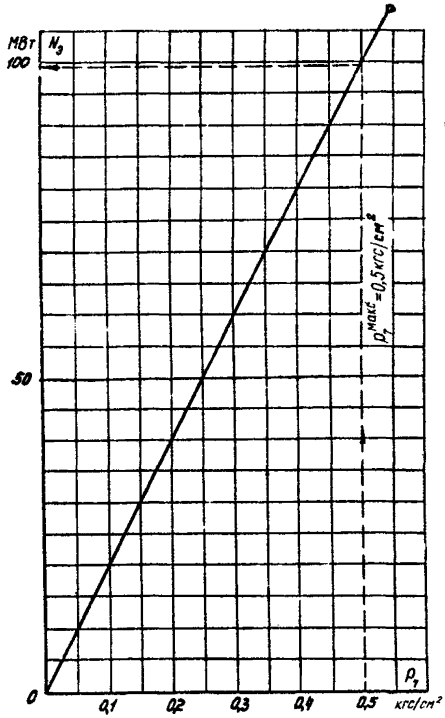

Рис.3. Графическое определение максимальной электрической нагрузки при максимальном значении давления в контрольной ступени (на примере Минской ТЭЦ-3):

P_7 - давление в VII отборе

Устанавливается предельное положение синхронизатора, выше которого изменения нагрузки не происходит. Положение синхронизатора при эксплуатации не должно превышать предельного значения во избежание недопустимого повышения частоты вращения при сбросе электрической нагрузки.

7.3.3. Если максимальный отбор не соответствует расчетному, необходимо сравнить показания положений сервомоторов с аналогичными данными диаграммы положений системы регулирования. При этом, если положение сервомоторов соответствует расчетному, следует искать причину несоответствия в пораспределении ЧВД или регулирующих органов отборов. Если же положение сервомоторов не достигло значений сравнительной диаграммы, необходимо испытывать систему регулирования с целью определения достаточности располагаемого хода регулятора давления (в объем экспресс-испытаний не входит).

7.3.4. Температура баббита колодок упорных подшипников и значение осевого сдвига ротора позволяют оценить надежность упорного подшипника, а также используются при анализе изменения состояния проточной части.

8. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

8.1. Рабочая программа испытаний

8.1.1. Установить на турбине нагрузку 40 МВт, поворотная диафрагма теплофикационного отбора при этом должна быть полностью открыта.

8.I.2. Собрать следующую схему работы:

а) регулируемые отборы и регулятор давления отключить, подачу пара на деаэратор, калориферы, подогреватели сетевой воды и другие собственные нужды закрыть;

б) ПВД № 5,6,7 и ПНД № I,2,3,4 отключить по пару, дренажу и отсосу воздуха; ПВД также отключить по питательной воде, верхний и нижний подогреватели сетевой воды - по сетевой воде; проток химически очищенной воды через нижний подогреватель сетевой воды минимально допустимый;

в) принять меры для уменьшения тепловой нагрузки деаэраторов, на которые поступает холодный конденсат испытываемой турбины (схема и режим работы деаэраторов уточняются для каждой электростанции; например, может оказаться необходимым включение подогревателей химически обессоленной воды перед деаэраторами и др.);

г) закрыть рециркуляцию основного конденсата;

д) закрыть дренажи цилиндров, перепускных труб, паропроводов отборов между турбиной и закрытой арматурой на паропроводах отборов;

е) задвижка на трубопроводе основного конденсата помимо охладителя пара ПС должна быть полностью закрыта; давление пара, подаваемого на уплотнения, $P_{упл} = I,02 \pm 0,005$ кгс/см^2; разрежение в ХЭ (см.рис.I) I00 $\pm$I0 мм рт.ст.; подача химически обессоленной воды в конденсатор закрыта;

ж) проверить отключение регенеративных подогревателей по снижению температуры за ними; температура основного конденсата после ПНД № 4 должна быть равна температуре конденсата до ПНД № I, отключение ПВД контролируется по падению давления в паровом пространстве;

з) проверить плотность закрытых дренажей.

8.I.3. Для стабилизации электрической нагрузки ввести ограничитель мощности при установленной нагрузке турбины.

8.I.4. Запись показаний приборов производится после стабилизации режима с периодичностью 3-4 мин, запись мощности через I мин, общая продолжительность опыта 30 мин.

8.I.5. Допускается отклонение параметров пара в соответствии с данными табл. 3.

8.I.6. После окончания опытов продуть паропроводы отборов и снова закрыть дренажи.

8.I.7. Повторить опыты при нагрузках 50, 60 и 70 МВт. Значение максимальной нагрузки, при которой проводится опыт, оп-

ределяется устойчивой работой деаэраторов 6 кгс/см^2, на которые поступает холодный конденсат турбины, и максимально допустимым расходом пара на конденсатор; давление в камерах отборов не должно превышать: на ПНД № I - 0,5 кгс/см^2; на ПНД № 2 - I,5 кгс/см^2.

8.I.8. После окончания опытов восстановить нормальную схему работы турбины.

8.I.9. Производится запись значений следующих параметров:

- электрической мощности генератора;
- давления пара перед стопорным клапаном, в камере регулирующей ступени, в камерах регенеративных и регулируемых отборов, давления пара в коллекторе подачи пара на уплотнения;
- разрежения в сальниковом подогревателе;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;
- температуры пара перед стопорным клапаном;
- температуры пара на входе в ПС и выходе из него;
- расхода основного конденсата через ПС;
- расхода пара отсоса из переднего уплотнения ЧВД;
- давления и температуры пара перед расходомерной шайбой на трубопроводе отсоса из уплотнений.

8.I.I0. До проведения опытов ответственный исполнитель подготовляет данные для заполнения табл.6.

8.2. Методика обработки полученных результатов

8.2.I. После приведения показаний приборов к фактическим значениям (с учетом высоты установки, погрешности и т.д.) все величины приводятся к номинальным условиям.

За номинальные параметры приняты: t_0 = 540°С; p_0 = I30 кгс/см^2; $p_к$ = 0,035 кгс/см^2.

Порядок обработки опытных данных и последовательность операций по приведению к номинальным условиям указаны в табл.7.

8.2.2. С целью упрощения расчетов и с учетом линейного характера зависимостей $p_i = f(p_{контр})$ и $N_э^{пр} = f(p_{контр})$ поправки на опытное значение давлений не вносятся.

Как видно из табл.7, для графиков используются фактически измеренные значения давления в этих точках.

Вносятся поправки: на начальные параметры (β_{t_0}, β_{p_0}), $\cos\varphi$ ($\beta\cos\varphi$), конечное давление ($\Delta N_{p_к}$). Если имеется, вносится тарировочная поправка к мощности (ΔN_t).

Таблица 6

Проверка готовности схемы турбоустановки к проведению экспресс-испытаний проточной части

Проверочная операция или контрольная величина	Отметка о состоянии
I. Наличие уровня конденсата в конденсаторе и ПНД № I и 2	
2. Температура конденсата (проверка надежности отключения регенерации): за ПНД № I,2 за ПНД № 4 на входе в ПВД на выходе из ПВД	
3. Проверка (на ощупь) плотности дренажей турбины и отборов, перечислить неплотные дренажи	
4. Проверка значения минимального расхода химически очищенной воды через нижний подогреватель сетевой воды	
5. Проверка установки минимально возможного давления конденсата на уплотнениях ПЭН (или переключение от постороннего источника)	
6. Давление пара в коллекторе подачи пара на уплотнения	
7. Проверка отключения пара на деаэраторы	
8. Перечень используемых манометров с указанием их заводского номера и класса. Давление по отборам: P_0 $P_{р.ст}$ P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 $P_к$	
9. Давление за регулирующими клапанами: $P_{I кл}$ $P_{II кл}$ $P_{III кл}$ $P_{IV кл}$	
IO. Значение барометрического давления в начале и конце опытов	
II. Наработка времени от последнего капитального ремонта и предыдущих экспресс-испытаний до настоящих испытаний	
I2. Число пусков за периоды, указанные в п.II	
I3. Замечания к подготовке и проведению данных испытаний	

Таблица 7

Обработка опытных данных

№ п.п.	Наименование	Измерение, формула, рисунок	Обозначение	Размерность	Дата испытания		
	Оценка состояния проточной части						
1	Номер опыта	–	–	–			
2*	Давление в контрольной ступени	Измерение	$P_7^{оп}$	кгс/см^2			
3	Начальное давление	–"–	$P_0^{оп}$	кгс/см^2			
4	Начальная температура	–"–	$t_0^{оп}$	^{0}C			
	Давление:						
5	в регулирующей ступени	–"–	$P_{р.ст\ цвд}^{оп}$	кгс/см^2			
6	в первом отборе (ПВД № 7)	–"–	$P_1^{оп}$	кгс/см^2			
7	во втором отборе (ПВД № 6)	–"–	$P_2^{оп}$	кгс/см^2			
8	в третьем отборе (ПВД № 5)	–"–	$P_3^{оп}$	кгс/см^2			
9	в конденсаторе	–"–	$P_К^{оп}$	кгс/см^2			
10	в четвертом отборе (ПНД № 4)	–"–	$P_4^{оп}$	кгс/см^2			
11	в пятом отборе (ПНД № 3)	–"–	$P_5^{оп}$	кгс/см^2			
12	в шестом отборе (ПНД № 2)	–"–	$P_6^{оп}$	кгс/см^2			
13	в седьмом отборе (ПНД № 1)	–"–	$P_7^{оп}$	кгс/см^2			
14	Расход свежего пара	–"–	G_0	т/ч			
15	Расход конденсата	–"–	W_0	т/ч			
	ПНД № 1:						
16	температура на выходе	–"–	$t_{вых}$	^{0}C			
17	температура на входе	–"–	$t_{вх}$	^{0}C			

	ПНД № 2:						
(18)	температура на выходе	-"-	$t_{вых}$	°С			
(19)	температура на входе	-"-	$t_{вх}$	°С			
(20)	Разность температур на ПНД № 2	$t_{вых} - t_{вх}$	Δt_2	°С			
21	Поправочный коэффициент на Δt_2 для ПНД № 2	Рис.10	κ_{p_2}	-			
22	Приведенное давление в VII отборе	$p_7^{оп} \kappa_{p_2}$	$p_7^{пр}$	кгс/см^2			
23	Разность температур на ПНД № I	$t_{вых} - t_{вх}$	Δt_1	°С			
24	Поправочный коэффициент на Δt_1 для ПНД № I	Рис.10	κ_{p_1}	-			
25	Приведенное давление в VI отборе	$p_6^{оп} \kappa_{p_1} \kappa_{p_2}$	$p_6^{пр}$	кгс/см^2			
(26)	Электрическая мощность	Измерение	$N^{оп}$	кВт			
	Поправочный коэффициент к $N^{оп}$ на:						
27	p_0	Рис.6	βp_0	%			
28	t_0	Рис.7	βt_0	%			
29	$\cos\varphi$	—	$\beta \cos\varphi$	%			
30	включение ПНД № I	Рис.II	κ_{N_1}	%			
31	включение ПНД № 2	Рис.II	κ_{N_2}	%			
32	Сумма коэффициентов	См.пп. 27-31	$\Sigma\beta + \Sigma\kappa$	%			
33	Поправка на конечное давление	Рис.8	$\Delta N_{p_к}$	кВт			
34		$N^{оп} \pm \Delta N_{p_к}$	N'	кВт			
35	Мощность, соответствующая $\Sigma\beta + \Sigma\kappa$	$N'(\Sigma\beta + \Sigma\kappa_N)/100$	ΣN	кВт			
36	Приведенная электрическая мощность	См.пп. 34, 35	$N_э^{'пр}$	кВт			
37	Тарировочная поправка к измеренной мощности	-	ΔN_t	кВт			
38	Приведенная электрическая мощность с учетом п.37	$N_э^{'пр} \pm \Delta N_t$	$N_э^{пр}$	кВт			

Окончание таблицы 7

№ п.п.	Наименование	Измерение, формула, рисунок	Обозначение	Размерность	Дата испытания		
	Оценка состояния концевых уплотнений						
	Отсос пара из камеры:						
①	перепад на дифманометре	Измерение	$H_{упл}$	мм рт.ст.			
②	давление среды	-"-	$P_{упл}$	кгс/см^2			
③	температура среды	-"-	$t_{упл}$	^oC			
④	расход пара из уплотнения	-	$G_{отс}$	т/ч			
	Отсос пара из камеры:						
⑤	перепад на дифманометре	Измерение	$H_{упл}$	мм рт.ст.			
⑥	давление среды	-"-	$P_{упл}$	кгс/см^2			
⑦	температура среды	-"-	$t_{упл}$	^oC			
⑧	расход пара из уплотнения	-	$G_{отс}$	т/ч			
9	Расход конденсата через сальниковый подогреватель (ПС)	Измерение	W	т/ч			
⑩	Температура пара на входе в ПС	-	$t_{вх}$	^oC			
⑪	Температура пара на выходе из ПС	-	$t_{вых}$	^oC			
12	Расход пара из уплотнения на ПС	$G_{пс} = \frac{W(t_{вых} - t_{вх})}{r}$	$G_{пс}$	т/ч			

*Порядковый номер величин, полученных непосредственно во время опыта, отмечен знаком ○.

Таблица 8

Отношения давлений ($P_i/P_{контр}$) и мощности ($N_э^{пр}/P_{контр}$) (обработка опытных данных)

Номер турбины								Средние значения
Дата испытания								
$P_{р.ст}^{пр}/P_7^{пр}$								II3,0
$P_1^{пр}/P_7^{пр}$								48,8
$P_2^{пр}/P_7^{пр}$								32,8
$P_3^{пр}/P_7^{пр}$								I7,9
$P_4^{пр}/P_7^{пр}$								9,04
$P_5^{пр}/P_7^{пр}$								4,67
$P_6^{пр}/P_7^{пр}$								3,00
$N_э^{пр}/P_7^{пр}$								I75,7

Примечания: I. За контрольное принимается давление P_7.

2. Средние значения получены по данным экспресс-испытаний на Минской ТЭЦ-3.

Предварительную оценку по основным результатам испытаний целесообразно сделать непосредственно во время первой серии опытов, рассчитывая отношение давлений согласно табл.8.

8.2.3. До построения графиков с целью повышения точности результатов и отбрасывания явно ошибочных значений, можно рекомендовать рассчитать отношения давлений согласно табл.8. Практика показывает, что в пределах одного опыта эти отношения весьма близки одно к другому.

Если же какое-то одно значение $P_i/P_{контр}$ выпадает из общего распределения, это свидетельствует об ошибочности данного из-

мерения, и результаты по этой точке не должны использоваться при обработке данных.

Возможен вариант, когда все отношения давлений (или абсолютное их большинство) примерно на один и тот же процент отличаются от аналогичных в других опытах данной турбины. Это свидетельствует об ошибке в измерении давления в контрольной ступени, вследствие чего за контрольное давление должно быть принято давление в ближайшем отборе.

8.2.4. При сопоставлении отношений $N_э^{пр}/p_{контр}$ необходимо иметь в виду то, что линия $N_э^{пр}=f(p_{контр})$ выходит не из начала координат, так как в зоне малых мощностей зависимость мощности от давления становится криволинейной.

8.2.5. Все данные опытов обрабатываются и строятся в зависимости от давления в контрольной ступени:

$$N_э^{пр}=f(p_{контр}) \quad \text{и} \quad p_i=f(p_{контр}).$$

За контрольное давление принимается $p_{контр}=p_7$.

Кроме того, зависимость $N_э^{пр}=f(p_{контр})$ строится еще для двух давлений $p'_{контр}=p_5$; $p''_{контр}=p_3$, которые выбираются с целью подтверждения правильности выбора контрольного давления.

При анализе результатов испытаний учитываются все графики.

Примечание. Если за контрольное давление принимается другое, а не p_7, то отношение давлений строится в зависимости от нового давления, принимаемого в качестве контрольного. Для возможности сопоставления данные предыдущих испытаний перестраиваются на новое давление $p_{контр}$.

8.3. Типовые ошибки при испытаниях

8.3.1. Испытания проточной части проводятся с полностью включенной регенерацией, что недопустимо.

Деаэратор должен работать от постороннего источника в обязательном порядке.

8.3.2. Испытания проводятся при работе турбины с подвижными органами парораспределения, без ограничителя мощности на каждой ступени нагрузки, что снижает точность результатов из-за повышенного разброса опытных точек. Поэтому задействование ограничителя мощности необходимо.

В отдельных случаях впредь до установки ограничителя мощности, когда ограничение подвижности органов парораспределения

по каким-либо причинам невозможно, продолжительность и количество измерений в каждом опыте должны быть увеличены в I,5 раза.

8.3.3. Измерение мощности производится по счетчику. Учитывая более низкий класс точности счетчика, такое измерение можно использовать как вспомогательное. Основное измерение мощности следует производить методом двух ваттметров (по схеме Аарона) по проверенным приборам класса 0,2 (в виде исключения-класса 0,5). При проверке должен составляться протокол поправок, учитываемый при обработке данных.

8.3.4. Измерения давлений производятся по штатным приборам. В этом случае испытания теряют смысл. Измерения давлений должны производиться контрольными (или образцовыми) приборами класса 0,5-0,6.

При отсутствии полного комплекта таких приборов следует наиболее высококлассные приборы установить на давлениях

$$p_0,\ p_{р.ст},\ p_3,\ p_5,\ p_7.$$

Для остальных точек штатные приборы должны быть тщательно проверены со снятием шкалы поправок в рабочем диапазоне измеряемых величин.

8.3.5. Некоторые манометры в области низких давлений и вакуума устанавливаются неправильно, что приводит к образованию воздушных мешков (за счет гибов и т.д.) и искажает результаты.

Правильность показаний таких приборов должна быть проверена на каждой турбине при помощи продувки импульсных линий.

8.4. Анализ полученных результатов

Настоящий подраздел Инструкции содержит только некоторые рекомендации и выводы типового характера, которые можно сделать на основе полученных результатов.

8.4.I. В случае, если испытания проведены тщательно и с соблюдением всех требований, изложенных в данной Инструкции, объем и достоверность полученных результатов весьма велики (точность конечного результата - квадратичная погрешность $\sigma = \pm 0{,}4\%$). Большое значение при анализе результатов имеет общее число выполненных испытаний за предыдущий период (в том числе и по данному блоку), а также опыт, накопленный персоналом, проводящим испытания.

8.4.2. Прежде всего следует окончательно определить, какое из давлений будет принято за контрольное. На основе опыта испы-

таний турбин данного типа рекомендуется в качестве контрольного принять давление пара P_7 (давление пара на ПНД № I). В первой же серии опытов непосредственно по данным измерений с учетом поправки на высоту и погрешность прибора должны быть составлены отношения:

$$P^{оп}_{р.ст}/P_{контр};\ P^{оп}_{3}/P_{контр};\ P^{оп}_{5}/P_{контр};\ N^{пр}_{э}/P_{контр}.$$

Полученные значения сравниваются с результатами предыдущих испытаний. Как правило, эти отношения остаются неизменными либо меняются в незначительных пределах (до I-2%).

Если предыдущие испытания не проводились, результаты нужно сравнить со средними данными испытаний на других ТЭЦ. В этом случае отклонение может достигать 5-6%.

Если фактические значения трех из указанных выше отношений превышают приведенные в табл.8 средние значения и при этом одинаковы по знаку (например, все отношения давлений, составленные по измерениям данного испытания, меньше, чем в предыдущих испытаниях, на 3%), то это свидетельствует о неправильности измерения давления в контрольной точке. В этом случае необходимо повторно проверить правильность измерения контрольного давления. Если причина несовпадения в давлениях не будет обнаружена и устранена, за $P_{контр}$ принимается другое давление (см. п.8.2.5), которое окончательно проверяется после обработки всех данных и построения зависимостей $P_i = f(P_{контр})$.

8.4.3. Зависимость $N^{пр}_{э} = f(P_{контр})$ является основной для количественного определения изменения экономичности турбины. Среднее значение из нескольких значений (для одного испытания, но в разных местах кривой) и даст величину изменения полученной мощности по сравнению с данными предыдущих испытаний. Так, на кривых рис.4 это составляет примерно +4%.

8.4.4. Для оценки возможных изменений в проточной части используются зависимости $P_i = f(P_{контр})$.

При этом:

а) совпадение этих зависимостей при разных испытаниях свидетельствует об отсутствии существенного изменения состояния проточной части;

б) если давления в ЧВД или ЧСД идут ниже (более полого), чем в предыдущих испытаниях, это свидетельствует об увеличении зазоров.

Подтверждающим может служить тот факт, что чем выше само давление, тем его относительное падение должно быть больше;

в) повышение давления по ступеням (линии давлений идут выше и круче) свидетельствует о заносе проточной части солями;

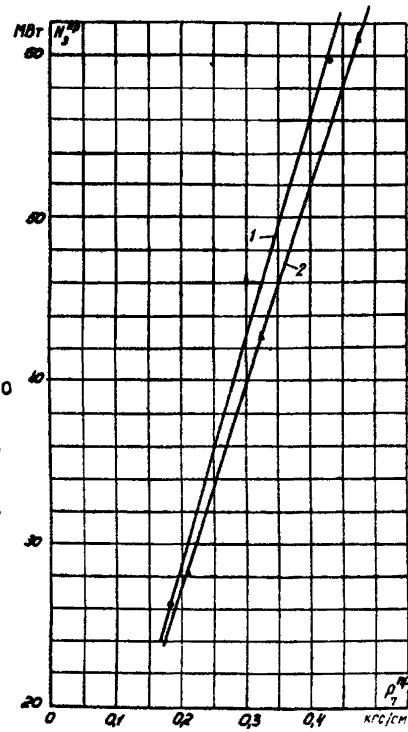

Рис.4. Зависимость мощности турбины от давления в контрольной ступени (на примере Минской ТЭЦ-3):
1 - после капитального ремонта;
2 - до капитального ремонта

г) изменение давления только в каком-то одном месте при правильности этого измерения свидетельствует о местном изменении в проточной части (например, забивании сопл посторонними включениями) или изменении схемы (например, переносе точки сброса пара из уплотнений).

8.4.5. Изменения давлений по ступеням в процессе эксплуатации могут носить различный характер. Изменение мощности в процессе эксплуатации может быть только в сторону уменьшения (кроме случая измерения мощности перед промывкой проточной части турбины и после нее, когда проточная часть существенно - более чем на 5% - занесена солями).

В остальных случаях измерение мощности (и все испытания проточной части) должно быть повторено как непредставительное.

8.4.6. Окончательный анализ изменения состояния проточной части производится сравнением данных двух испытаний или более по зависимостям $N_э^{пр}=f(P_{контр})$ и $P_i=f(P_{контр})$ и подтверждением изменения значения максимальной мощности при постоянном (максимальном) давлении в контрольных ступенях (см.разд.7). При необходимости конкретизации повреждения цилиндров турбины возможно проведение опытов по определению КПД отсеков (см.разд.8.10). Значение осевого усилия,определяемого по температуре колодок упорного подшипника (см.п.6.3.6), помогает совместно с характеристикой $N_э^{пр}=f(P_{контр})$ выяснить причину изменения состояния проточной части турбины.

Суть этого совместного анализа заключается в том, что при изменении мощности и давления по ступеням их значения имеют одинаковый знак при изменении диафрагменных и надбандажных уплотнений, а значение осевого усилия увеличивается при увеличении зазора в диафрагменных уплотнениях и уменьшается при увеличении зазора в надбандажных уплотнениях.

8.5. Проверка готовности схемы турбоустановки к проведению экспресс-испытаний проточной части

8.5.1. Перед экспресс-испытаниями проточной части необходимо произвести проверку готовности схемы турбоустановки в соответствии с табл.6.

8.6. Обработка опытных данных

8.6.1. Обработка опытных данных осуществляется в соответствии с табл.7.

8.7. Примеры результирующих кривых

8.7.1. Зависимость мощности турбины от давления в контрольной ступени $N_э^{пр}=f(P_7)$ на примере Минской ТЭЦ-3 приведена на рис.4.

8.7.2. Зависимость давлений в отборах от давления в контрольной ступени $P_i=f(P_7)$ на примере Минской ТЭЦ-3 приведена на рис.5.

8.8. Поправки к мощности турбины на отклонение параметров свежего пара от номинальных

8.8.I. Поправки к мощности на отклонение давления и температуры свежего пара от номинальных для конденсационной выработки при режиме с включенными регуляторами давления приведены соответственно на рис.6 и 7.

8.8.2. Поправка к мощности на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе приведена на рис.8.

8.8.3. Вспомогательный поправочный коэффициент для приведения показаний ртутного манометра и барометра с латунной шкалой к $0^{\circ}C$ дан на рис.9.

8.9. Дополнительные поправочные коэффициенты

8.9.I. Зависимость $K_{P_i} = f(\Delta t)$ приведена на рис.IO.

8.9.2. Зависимость $K_{N_i} = f(\Delta t, P_7)$ приведена на рис.II.

8.IO. Определение КПД ЦВД

С целью конкретизации причин изменения экономичности турбины рекомендуется проводить специальные опыты по определению КПД ЦВД.

При проведении этой серии опытов следует предусмотреть на турбине дополнительные точки измерений, обеспечив дублированное измерение температур после ЦВД.

Для получения достоверного результата КПД цилиндра необходимо обеспечить измерение температур с точностью $\pm I,5^{\circ}C$.

8.IO.I. Рабочая программа:

- определение КПД ЦВД производится при полном открытии всех или нескольких групп регулирующих клапанов;
- система регенерации включена полностью;
- полное открытие всех регулирующих клапанов ЦВД обеспечивается некоторым снижением давления свежего пара перед турбиной;
- при проведении опытов допускается отклонение параметров пара в соответствии с данными табл. 3.

8.IO.2. Производится запись значений следующих параметров:

- расхода свежего пара;
- положения регулирующих клапанов ЧВД;

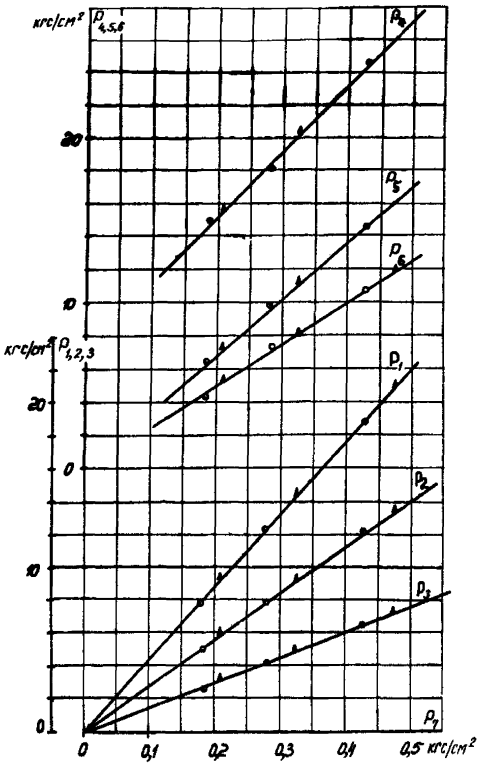

Рис.5. Зависимость давлений в отборах от давления в контрольной ступени – в VII отборе (на примере Минской ТЭЦ-3):

△ – после капитального ремонта

⊙ – до капитального ремонта

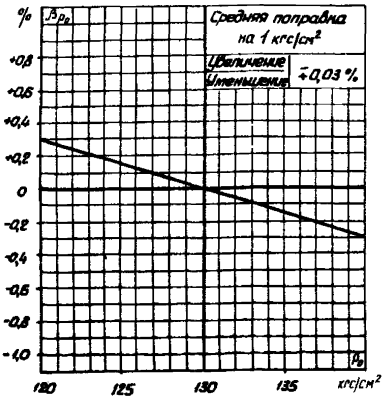

Рис.6. Поправки к мощности на отклонение давления свежего пара от номинального для конденсационной выработки при режиме с включенными регуляторами давления

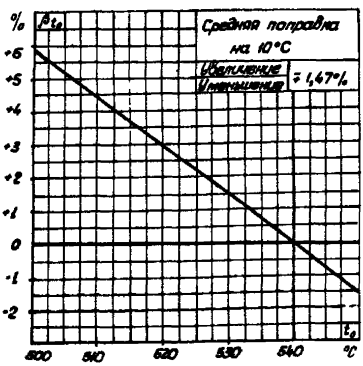

Рис.7. Поправки к мощности на отклонение температуры свежего пара от номинальной для конденсационной выработки с включенными регуляторами давления

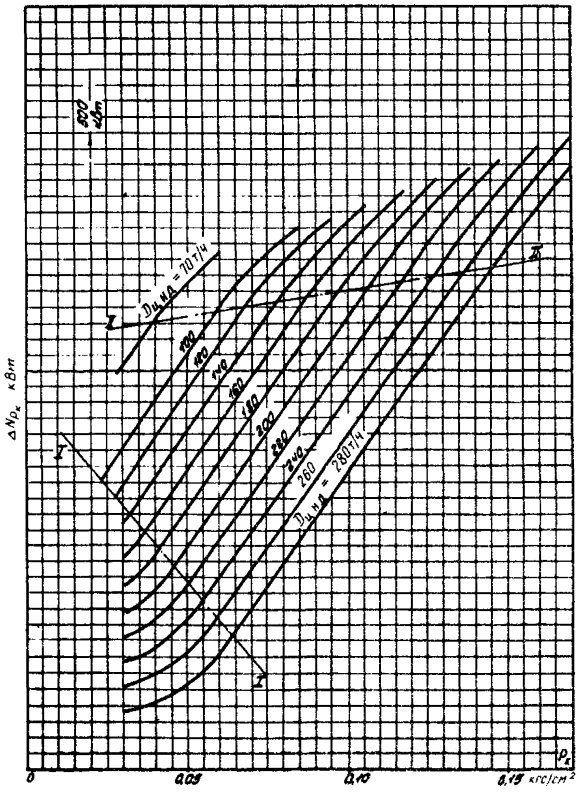

Рис.8. Поправки к мощности на отклонение давления отработавшего в конденсаторе пара:

$\Delta N_{p_к}$ – изменение мощности на выводах генератора

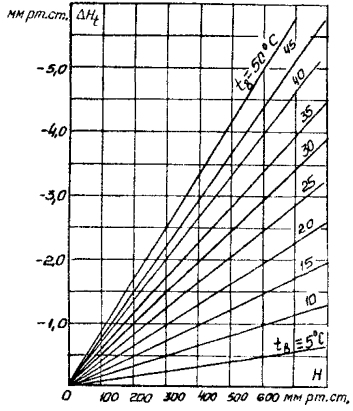

Рис.9. Вспомогательный поправочный коэффициент для приведения показаний ртутного манометра и барометра с латунной шкалой к 0°С (для прибора со стальной шкалой поправку умножить на I,03):

$H_0 = H - \Delta H_t$;

$t_в$ – температура окружающего воздуха

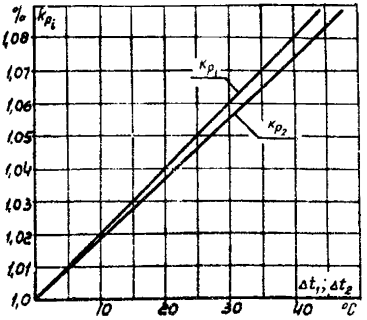

Рис.IO. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям при сохранении в работе ЦНД № I и 2:

$$K_{P_i} = f(\Delta t)$$

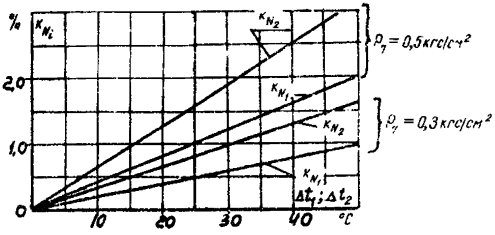

Рис.II. Дополнительный поправочный коэффициент к мощности при сохранении в работе ЦНД № I и 2:

$$K_{N_i} = f(\Delta t, P_7)$$

– давления и температуры перед стопорным клапаном;

– давления и температуры пара за ЦВД.

8.IO.3. Обработка опытных данных. Анализ результатов производится после подсчета средних опытных значений и введения поправок.

Внутренний относительный КПД определяется по следующей формуле:

$$\eta_{oi}^{\text{ЧВД}} = \frac{h_i^{\text{ЧВД}}}{h_o^{\text{ЧВД}}} = \frac{i_o - i_2^{\text{ЧВД}}}{i_o - i_{2t}^{\text{ЧВД}}}, \qquad (4)$$

где $h_i^{\text{ЧВД}}, h_o^{\text{ЧВД}}$ – использованный и адиабатический теплоперепады ЧВД;

i_o – энтальпия свежего пара;

$i_2^{\text{ЧВД}}, i_{2t}^{\text{ЧВД}}$ – энтальпия пара после ЧВД по замеренным параметрам и соответственно адиабатическому расширению.

Энтальпия пара определяется по "Таблицам теплофизических свойств воды и водяного пара" ("Стандарт", 1969).

9. ОБСЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ, КОНДЕНСАТОРА И ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

9.I. Рабочая программа

9.I.I. Условия проведения опытов (всего проводится три опыта - два опыта при отключенных регулируемых отборах с нагрузкой 70-90 МВт при полностью включенной регенерации ; один опыт при включенном регулируемом отборе с максимальным расходом свежего пара на турбину для обследования работы ПВД и основных подогревателей сетевой воды; запись показателей, характеризующих работу ПНД и конденсатора, в этом опыте не производится):

- расход питательной воды через ПВД во время опытов устанавливается перераспределением потоков через горячие стояки и должен быть примерно равен расходу свежего пара:

$$D_{пв} = (I \div I,I)\, D_0 \ ;$$

- обязательным условием при проведении опытов является наличие уровней во всех подогревателях, отсутствие протечек помимо подогревателей;

- расход сетевой воды должен быть равен расходу ее в предыдущих испытаниях;

- допустимые отклонения параметров пара от номинальных: по давлению $\pm 6{,}5$ кгс/см^2, по температуре $\pm 8^{\circ}$С, давление в деаэраторе 6 кгс/см^2 равно номинальному, давление в теплофикационном отборе $\pm 0{,}05$ кгс/см^2;

- допустимые колебания (отклонения) электрической нагрузки в течение опыта $\pm 2\%$ установленной;

- запись показаний приборов через 5 мин, длительность каждого опыта 30 мин.

9.I.2. При проведении опытов производится запись значений следующих параметров:

- расхода свежего пара;

- расхода питательной воды через ПВД;

- расхода сетевой воды;

- температуры конденсата и питательной воды на входе в подогреватель и выходе из него (до и после обвода) и дренажа на выходе из каждого регенеративного подогревателя, подогревателя сетевой воды и охладителя;

- температуры сетевой воды на входе в каждый подогреватель сетевой воды и выходе из него;
- давления пара в камерах отборов (у турбины), в регенеративных подогревателях и в подогревателях сетевой воды;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;
- температуры конденсата после конденсатора, циркуляционной воды на входе в конденсатор и выходе из него;
- скорости падения вакуума при отключенном эжекторе.

9.2. Обработка опытных данных

9.2.1. На основании опытных данных производится подсчет средних значений измеренных величин. Требуется ввести поправки к показаниям манометров на высоту установки прибора (относительно точки забора импульса), по протоколу тарировки цеха АТИ электростанции, на барометрическое давление.

9.2.2. Производится подсчет температурных напоров регенеративных подогревателей, подогревателей сетевой воды и конденсатора, переохлаждения конденсата в конденсаторе, потерь давления в трубопроводах, идущих от турбины до подогревателей. Температурный напор конденсатора подсчитывается как разность температуры насыщения при измеренном давлении в конденсаторе и температуры циркуляционной воды на выходе из него.

9.2.3. Порядок обработки результатов опытов по обследованию системы регенерации, конденсатора и подогревателей сетевой воды представлен в табл.9.

9.3. Анализ результатов испытаний

9.3.1. Эффективность работы системы регенерации следует оценивать сравнением температуры на выходе из каждого регенеративного подогревателя с номинальным ее значением, установленным для каждого подогревателя типовыми характеристиками, или с результатами теплового испытания при наиболее рациональном режиме его эксплуатации.

Таблица 9

Сводные данные результатов опытов по обследованию системы регенерации, конденсатора и подогревателей сетевой воды (на примере Минской ТЭЦ-3)

Показатель	Обозначение	Размерность	До капитального ремонта			После капитального ремонта			Примечание
			N=70%	N=100%	Режим с отборами	N=70%	N=100%	Режим с отборами	
Расход свежего пара	D_0	т/ч	245,44	368,51					
Расход питательной воды	$D_{п.в}$	т/ч	234,63	356,87					
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.	740,2	739,3					
Вакуум в конденсаторе:									
справа сзади:									
измеренный перепад	V'	мм рт.ст.	700	686,6					
с поправкой на $t_{рт}$ и столбик воды	V	мм рт.ст.	697,4	684					$V=V'-0,0001815\times$
давление	$p_к^{I}$	кгс/см^2	0,059	0,0752					$\times t_{рт} V' \pm \frac{\Delta H_{воды}}{13,6}$
слева сзади:									
измеренный перепад	V'	мм рт.ст.	700	686,6					
с поправкой на $t_{рт}$ и столбик воды	V	мм рт.ст.	697,4	684					$p_к=\frac{B-V}{735,5}$
давление	$p_к^{II}$	кгс/см^2	0,059	0,0752					
справа спереди:									
измеренный перепад	V'	мм рт.ст.	700	686,6					
с поправкой на $t_{рт}$ и столбик воды	V	мм рт.ст.	697,4	684					
давление	$p_к^{III}$	кгс/см^2	0,059	0,0752					
слева спереди:									
измеренный перепад	V'	мм рт.ст.	700	686,6					
с поправкой на $t_{рт}$ и столбик воды	V	мм рт.ст.	697,4	684					
давление	$p_к^{IV}$	кгс/см^2	0,059	0,0752					
давление среднее	$p_к^{ср}$	кгс/см^2	0,059	0,0752					
Температура конденсата после конденсатора	$t_к$	^{0}C	34,6	39,4					
Температура насыщения в конденсаторе	$t_{нас}$	^{0}C	35,6	40					
Переохлаждение конденсата	Δt	^{0}C	+1,0	0,6					
Температура циркуляционной воды на:									
входе	$t'_{ц.в}$	^{0}C	17,8	22,0					
выходе	$t''_{ц.в}$	^{0}C	24,6	28,9					

Окончание таблицы 9

Показатель	Обозначение	Размерность	До капитального ремонта			После капитального ремонта			Примечание
			N=70%	N=100%	Режим с отборами	N=70%	N=100%	Режим с отборами	
Температурный напор конденсатора	δt	°С	II,0	II,I					$\delta t = t_{нас} - t''_{ц.в}$
Скорость падения вакуума при отключенном эжекторе	$C_{вак}$	мм/мин	-	-					

Для каждого регенеративного подогревателя (подогревателя сетевой воды)

Давление пара в камере отбора: усредненное опытное значение	$P'_{i\,отб}$	кгс/см^2	II,6I	I7,39					Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление $\frac{P_{i\,отб} - P_{in}}{P_{in}} = \Delta P$
с учетом поправок	$P_{i\,отб}$	кгс/см^2	I3,II	I8,89					
Давление в подогревателе: усредненное опытное значение	P'_{in}	кгс/см^2	II,77	I7,54					
с учетом поправок	P_{in}	кгс/см^2	I2,87	I8,64					
Потеря давления в паропроводе отбора	ΔP	%	I,86	I,34					
Температура насыщения в подогревателе	$t_{нас}$	°С	I90,2	207,9					
Температура дренажа на выходе из подогревателя	$t_{i\,др}$	°С	I9I,9	200,2					
Температура воды: на входе	t'_i	°С	I63,2	I73,7					
на выходе	t''_i	°С	I92,9	209,9					
после сопла	$t_{отв}$	°С	I92,4	208,5					
Температурный напор	δt	°С	-2,7	-2,0					$\delta t = t_{нас} - t''_i$

9.3.2. Для сравнения показателей работы регенеративных подогревателей и подогревателей сетевой воды с данными последующих испытаний или данными типовой характеристики строится график зависимости температуры на выходе из каждого подогревателя от давления в соответствующем отборе (измеренного непосредственно у турбины): $t_{в_{вых}} = f(p_{отб})$.

На этом графике наносятся:

а) линия температуры насыщения в зависимости от давления в отборе;

б) линия температуры насыщения при давлении в подогревателе в зависимости от давления в отборе, если потери в паропроводе, идущем от турбины до подогревателя, составляют 0,07 $p_{отб}$; при сравнении фактической температуры за подогревателем с этой зависимостью автоматически учитывается допустимое снижение нагрева из-за наличия допустимых потерь давления в паропроводе отбора;

в) линии номинальных нагревов за каждым подогревателем в зависимости от давления в камерах отборов на основании типовых характеристик или по результатам балансовых испытаний турбин (для построения этих зависимостей используются графики: зависимость давления в камерах отборов от расхода пара на турбину и зависимость температур за подогревателями от расхода пара на турбину);

г) точки на линии фактических температур за подогревателями по результатам экспресс-испытаний.

При отсутствии данных по номинальным температурам за каждым подогревателем производится сравнение фактических температур с температурами насыщения при давлениях в отборах, а также с данными предыдущих испытаний и испытаний аналогичных турбин.

9.3.3. Данные опытов по исследованию регенерации в предлагаемом объеме (см.разд. 9.1) не являются основанием для изменения норм $t_{п.в}$; нормы могут быть изменены только после проведения более детального испытания в широком диапазоне нагрузок с учетом возможного загрязнения трубной системы подогревателей.

9.3.4. Главными показателями работы подогревателей сетевой воды являются поддержание минимального температурного напора и обеспечение допустимого падения давления в паропроводах к ним. Для подогревателей сетевой воды также строится график $t_{в_{вых}} = f(p_{отб})$.

9.3.5. Так как экономичная работа турбины зависит от наладки системы регенерации, следует проводить обследование регенеративных подогревателей, подогревателей сетевой воды ежеквартально по упрощенной программе. При этом измеряются для каждого подогревателя (при любой нагрузке турбины) только давление в камере отбора (манометром класса 0,6) и температура воды за подогревателем. Эти данные откладываются на графике $t_{вых} = f(P_{отб})$; если опытная точка температуры за подогревателем оказывается ниже линии номинального нагрева, требуется наладка подогревателя (рис.12).

9.3.6. Эффективность работы конденсатора оценивается сравнением температурного напора и переохлаждения конденсата с нормативными и выдерживанием норм вакуума.

Нормативные данные по конденсатору представлены в "Типовой нормативной характеристике турбоагрегата Т-100-130 ТМЗ" (СЦНТИ ОРГРЭС, 1971).

Методика контроля за правильной эксплуатацией конденсатора и анализа технико-экономических показателей представлена в "Нормативных характеристиках конденсационных установок паровых турбин типа "К" (СЦНТИ ОРГРЭС, 1974).

10. СНЯТИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ

10.1. Рабочая программа опытов

Опыты на холостом ходу

10.1.1. Турбина выводится на холостой ход.

10.1.2. Пусковой байпас открывается полностью, а главные паровые задвижки надежно закрываются.

10.1.3. Для записи частоты вращения генератор возбуждается, напряжение возбуждения должно быть близко к номинальному.

10.1.4. Установить синхронизатором частоту вращения 3100 об/мин.

10.1.5. Приготовиться к записи значений следующих параметров:

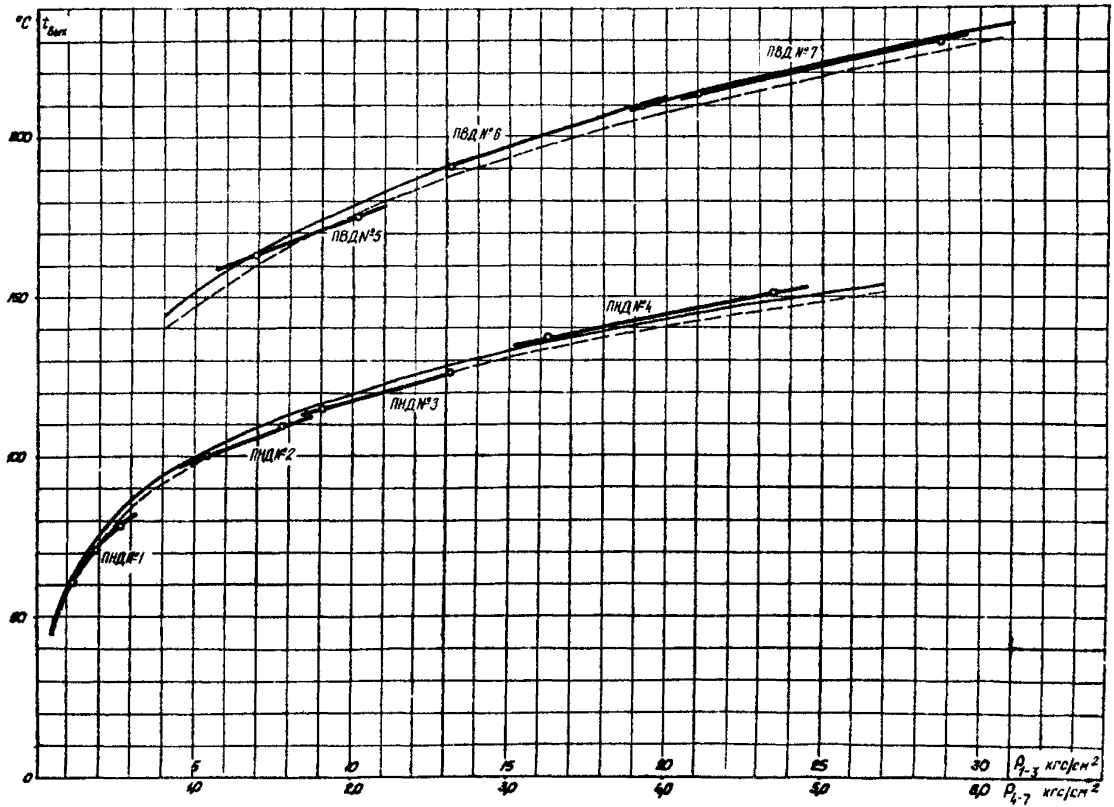

Рис.12. Зависимость температуры воды за подогревателями от давления в камерах отборов (на примере Минской ТЭЦ-3):

$t_{вых}$-температура конденсата или питательной воды на выходе из подогревателя; ——— $t_{нас} = f(P_{отб})$; — — — — $t_{нас} = f(0{,}93\,P_{отб})$; ——•—— - опытные данные

а) хода сервомотора ЧВД по миллиметровой шкале с точностью ±I мм;

б) частоты вращения по лабораторному частотомеру класса 0,2 с ценой деления 0,I Гц.

10.1.6. Прикрывая байпас и уменьшая расход пара на турбину, начать медленно снижать частоту вращения, в результате чего клапаны ЧВД начнут открываться.

10.1.7. При достижении открытия сервомотора ЧВД 200 мм (значение максимального открытия ЧВД на конденсационном режиме) частоту вращения турбины следует изменять в сторону повышения путем открытия байпаса.

10.1.8. При уменьшении частоты вращения не допускать ее снижения сверх значения, необходимого для открытия сервомотора ЧВД, во избежание снижения напорного давления и подсадки стопорного клапана. Пусковой маслонасос системы регулирования в этой связи должен быть подготовлен к пуску.

10.1.9. При полностью открытом байпасе на холостом ходу (3000 об/мин) и номинальных параметрах свежего пара записать положение сервомотора ЧВД, а также положение синхронизатора и давление масла за импеллером.

10.1.10. Проверить совпадение количества записей у обоих наблюдателей и при несовпадении повторить опыты.

Опыты под нагрузкой

10.1.11. Нагрузочная характеристика может быть получена из серии 7-10 опытов при чисто конденсационном режиме, порядок проведения которых изложен ниже (см. пп.10.1.12 - 10.1.13).

10.1.12. При чисто конденсационном режиме, нормальной тепловой схеме и номинальных параметрах пара изменяется нагрузка турбины в пределах от номинальной до минимально возможной по условиям работы ПВД. Каждая новая нагрузка устанавливается такой, чтобы получить 7-10 точек. В каждом режиме производится по три записи через 3-5 мин.

10.1.13. Допускаются следующие отклонения параметров пара:

а) максимально допустимое отклонение среднего значения давления пара от номинального ±6,5 кгс/см^2;

б) максимально допустимое отклонение давления от среднего значения свежего пара ±2,5 кгс/см^2;

в) отклонение вакуума ± 2 мм рт.ст.;

г) отклонение температуры свежего пара $\pm 6^{\circ}$С.

10.2. Обработка полученных результатов

10.2.1. Зависимость хода сервомотора от частоты вращения строится по результатам опытов на холостом ходу турбины без введения каких-либо поправок. После построения получаются две кривые, отражающие движение сервомотора при снижении и повышении частоты вращения (рис.13).

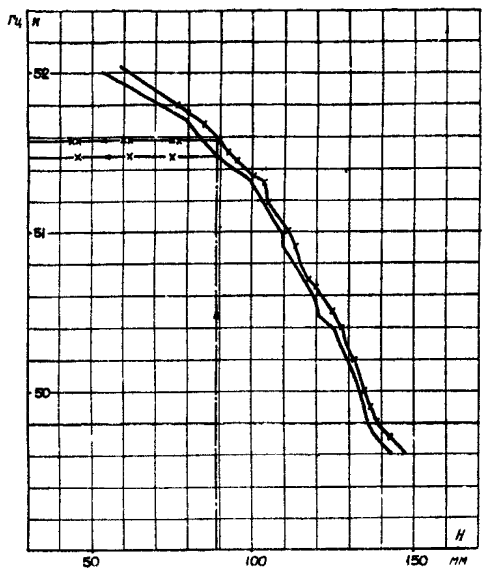

Рис.13. Статическая характеристика регулирования скорости (на примере турбины № 8 Минской ТЭЦ-3):
H – положение сервомотора

10.2.2. Нагрузочная характеристика, т.е. зависимость между приведенной электрической нагрузкой $N_э^{пр}$ и положением сервомотора, строится на отдельном графике по результатам опытов под нагрузкой (рис.14). При этом к опытным значениям мощности вводятся поправки, учитывающие отклонение параметров пара от номинальных во время выполнения опытов:

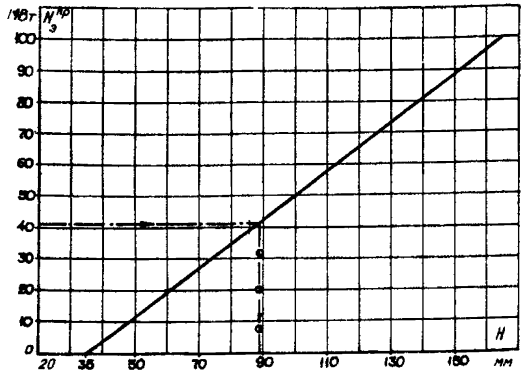

Рис.14.Характеристика нагружения турбины (на примере турбины № 8 Минской ТЭЦ-3):
H – положение сервомотора

$$N_э^{пр} = N_э^{оп}\left[\frac{p_0^н}{p_0^{оп}}\sqrt{\frac{T_0^{оп}}{T_0^н}} - 0{,}0015\left(T_0^{оп} - T_0^н\right)\right] \pm \Delta N_{p_к}, \qquad (5)$$

где $N_э^{оп}$ – опытная электрическая мощность;
$p_0^н$, $T_0^н$ – номинальные параметры пара;
$p_0^{оп}$, $T_0^{оп}$ – опытные параметры пара при испытаниях;
$\Delta N_{p_к}$ – поправка на отклонение вакуума от номинального, приведена на графике (см.рис.8). Расход пара в конденсатор для нахождения этой поправки принимается приближенно в каждом опыте по материалам балансовых испытаний или типовым характеристикам.

10.2.3. По двум графикам, построенным согласно пп.10.2.1 и 10.2.2., строится третий, результирующий график – собственно характеристика статической неравномерности регулирования скорости. Техника построения заключается в том, что, задавая произвольно значения положения сервомотора, находят соответствующие ему мощность и частоту вращения и наносят их на третий, результирующий график. Шаг задания значений должен обеспечить охват изломов на обеих исходных характеристиках. Первой точкой графика должно быть положение холостого хода турбины, последней – положение полной нагрузки. Так как зависимость хода сервомотора от

частоты вращения состоит из двух кривых, то одной мощности из второго графика будут соответствовать две частоты вращения из первого графика и обе они переносятся на третий график (рис.I5).

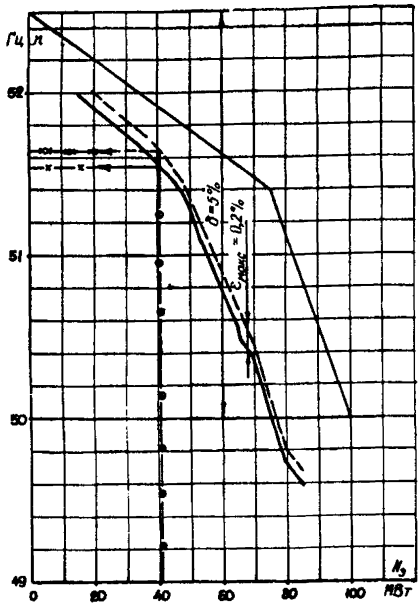

Рис.I5.Суммарная статическая характеристика турбины (на примере турбины № 8 Минской ТЭЦ-3)

Полученную результирующую кривую для определения истинной степени неравномерности следует перенести параллельно ее первоначальному положению относительно оси мощности, ориентируясь на то, что частоте вращения 3000 об/мин должна соответствовать нагрузка I00 МВт.

I0.3. Анализ результатов

I0.3.I. Из графика статической неравномерности определяются:

а) значение общей степени неравномерности при номинальной нагрузке;

б) минимальное и максимальное значения местной степени неравномерности;

в) максимальное значение нечувствительности регулирования.

10.3.2. Общая степень неравномерности при номинальной нагрузке (%) определяется разницей в частоте вращения между нулевой и номинальной нагрузками, отнесенной к 3000 об/мин:

$$\delta = \frac{n_{xx} - n_{ном}}{3000} \cdot 100. \qquad (6)$$

Вычислив это значение (которое ориентировочно должно быть 5%), следует сравнить его с значением неравномерности, объявленным заводом-изготовителем (по формуляру), с значением, оговоренным ПТЭ, а также с значением, имевшим место в предыдущем испытании.

Первые два сравнения свидетельствуют о нормальном или ненормальном состоянии системы; третье сравнение - об изменениях, которые произошли в системе регулирования.

При отклонении от норм анализ исходных графиков и их сравнение с предыдущими дадут представление о причине неудовлетворительного состояния системы регулирования.

10.3.3. Местная степень неравномерности определяется несколько сложнее. Если на результирующем графике имеется участок кривой, явно выпадающий из ее плавного протекания, следует продлить этот участок прямой линией в обе стороны до пересечения линии с вертикалями, проведенными из точек нулевой и номинальной мощности на графике. В точках пересечения с вертикалями определить значение частоты вращения. Их разность (%), отнесенная к 3000 об/мин (соответствует 50 Гц), составит значение местной неравномерности, т.е. то значение неравномерности, которое имело бы место, если бы вся кривая была такого наклона, как анализируемый участок.

Для значений местной неравномерности приведены допуски в ПТЭ. Если при сравнении окажется, что отдельные участки выходят за пределы допуска, состояние системы регулирования следует считать неудовлетворительным; тогда необходимо проанализировать исходные графики и указать на возможные причины неполадок. Следует учитывать то обстоятельство, что конструктивно предусмотрено наличие излома характеристики, который должен находиться в нормальном положении примерно при частоте вращения 3060 об/мин. Ветви характеристики от точки излома представляют собой две предусмотренные заводской конструкцией местные неравномерности, значения которых необходимо сравнивать не с критериями ПТЭ, а с данными завода-изго-

товителя по формуляру.

Смещение точки излома от нормального положения может привести к недопустимому изменению общей степени неравномерности, этим и определяется допустимость смещения излома.

10.3.4. Нечувствительность регулирования (%) определяется по разности частот вращения при одной и той же мощности и прямом и обратном ходе сервомотора:

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{3000} \cdot 100, \qquad (7)$$

Сравнение максимального значения нечувствительности на характеристике с значениями, заданными заводом-изготовителем и ПТЭ, укажет на допустимость безопасной эксплуатации турбины.

Протяженность участка повышенной нечувствительности и его местоположение позволят выявить источник дефекта при наладочных работах.

10.3.5. Рекомендуется при построении графиков не спрямлять линии, а проводить их соединением опытных точек.

11. ПРОВЕРКА ПЛОТНОСТИ СТОПОРНОГО И РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ЧВД

11.1. Рабочая программа

Плотность органов парораспределения должна проверяться на прогретой турбине паром номинальных параметров.

11.1.1. Разгрузить турбину, отключить от сети и вывести на холостой ход.

11.1.2. Устройством для расхаживания стопорного клапана как можно быстрее закрыть стопорный клапан. Включить пусковой маслонасос.

11.1.3. При испытании допустимы отклонения параметров пара: давления перед турбиной ± 5 кгс/см^2; вакуума в конденсаторе ± 5 мм рт.ст.

11.1.4. Снимается кривая выбега до 1500 об/мин, при этом записываются:

- частота вращения ротора по штатному тахометру;
- время по секундомеру при прохождении стрелки тахометра через каждые 100 об/мин. Время отсчета начать от момента закрытия стопорного клапана.

11.1.5. Выполнить приготовления к проверке плотности регулирующих клапанов ЧВД, для чего восстановить нормальную частоту вращения ротора: сначала закрыть регулирующие клапаны, затем открыть стопорный клапан расхаживающим устройством; в дальнейшем синхронизатором поднять частоту вращения до 3000 об/мин.

11.1.6. Подготовиться к оценке плотности клапанов ЧВД. Быстро синхронизатором закрыть регулирующие клапаны ЧВД.

По мере снижения частоты вращения следить за тем, чтобы не произошло открытия сервомотора ЧВД, для чего воздействовать на синхронизатор в сторону "Убавить".

Записать кривую выбега ротора до 1500 об/мин.

Условия проведения опытов и измеряемые величины те же, что и в пп.11.1.3 и 11.1.4.

11.2. Обработка полученных результатов

11.2.1. Кривые выбега ротора от 3000 до 1500 об/мин строятся на одном графике в координатах "об/мин" - "Время" без каких-либо дополнительных преобразований (рис.16).

11.3. Анализ результатов

11.3.1. На кривые выбега, характеризующие плотность стопорных и регулирующих клапанов, накладывается кривая "чистого" выбега (выбега при полностью закрытых органах парораспределения). Сравнение времени выбега до 1500 об/мин при закрытии проверяемого органа со временем "чистого" выбега служит критерием оценки плотности. Плотность считается удовлетворительной, если эта разность составляет не более 20% значения времени выбега до 1500 об/мин для кривой "чистого" выбега.

11.3.2. Кривая "чистого" выбега снимается после капитального ремонта и служит образцом для указанных сравнений. Особенностью ее служит то обстоятельство, что при выбеге гарантируется отсутствие поступления пара в турбину через клапаны, для чего при таком испытании обеспечивается отсутствие давления пара перед клапанами закрытием запорной арматуры и дренированием участка.

В дальнейшем эта кривая "чистого" выбега может служить эталоном для сравнительной оценки состояния турбины и плотности органов парораспределения.

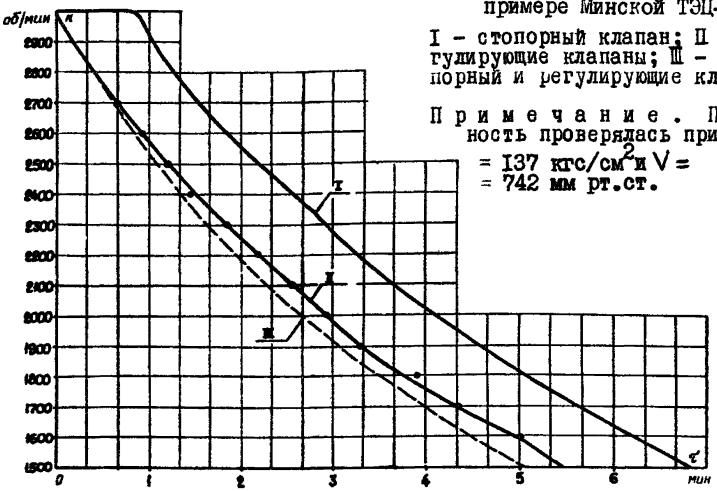

Рис.I6. Плотность органов парораспределения турбины (на примере Минской ТЭЦ-3):

I - стопорный клапан; II - регулирующие клапаны; III - стопорный и регулирующие клапаны

Примечание. Плотность проверялась при P_0 = = I37 кгс/см^2 и V = = 742 мм рт.ст.

I2. ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ПОВОРОТНОЙ ДИАФРАГМЫ ЧНД

I2.I. Рабочая программа

I2.I.I. Турбина выводится на холостой ход.

I2.I.2. Производится подготовка к записи значений следующих параметров:

а) давления пара в регулируемом отборе;

б) вакуума в конденсаторе.

I2.I.3. Допустимые отклонения параметров во время проведения опытов: давления свежего пара $\pm$6,5 кгс/см^2; температуры свежего пара $\pm 6^{\circ}$C; вакуума в конденсаторе $\pm$5 мм рт.ст.

I2.I.4. Медленно переключателем закрыть диафрагму, при этом паровой импульс к регулятору должен быть закрыт.

I2.I.5. В процессе проведения опытов контролировать относительное положение роторов, температуру выхлопной части. Не допускать повышения давления в регулируемом отборе до срабатывания предохранительных клапанов.

12.1.6. Рост повышения давления в отборе следует фиксировать во времени после закрытия регулируемого органа. Следует помнить, что в зависимости от емкости отборной камеры вместе с трубопроводом и при наличии охлаждающих поверхностей давление в отборе может повышаться в течение 5-8 мин.

12.1.7. После окончания этого опыта медленно переключателем открыть диафрагму.

12.2. Обработка и анализ результатов

12.2.1. Давление, устанавливающееся в камере отбора при закрытии диафрагмы, служит критерием оценки плотности. Норма плотности по общепринятой методике выбирается по максимально допустимому рабочему давлению пара в отборе. Если при проверке на холостом ходу давление меньше указанного значения, диафрагма считается неплотной.

12.2.2. Причинами неплотного закрытия диафрагмы могут быть коробление диафрагмы и неплотное прилегание подвижной и неподвижной ее частей, неправильное выдерживание осевых и радиальных зазоров при ремонте, неправильное относительное расположение сервомотора и подвижной части диафрагмы при сборке и, наконец, заводские дефекты относительного расположения окон в подвижной и неподвижной частях диафрагмы.

gost.e-ecolog.ru