МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
Главтехуправление Главэнергоремонт

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ТУРБОУСТАНОВКИ К-200-130 ЛМЗ

Союзтехэнерго
Москва 1978

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВЭНЕРГОРЕМО

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ ТУРБОУСТАНОВКИ К-200-130 ЛМЗ

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

Составители инженеры М.Г. ТАРАЩУК, И.А. ЛАЗУТИН, Э.И. КУЛЬКОВ, И.А. КОРОТОВЦЕВ, Н.М. КОЦЕЛЬ (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, ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского, а также ЛМЗ.

© СПО Союзтехэнерго, 1978.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Общая часть	5
2. Назначение экспресс-испытаний	6
3. Цели и причины проведения экспресс-испытаний элементов турбины	6
4. Приборы, применяемые при экспресс-испытаниях	9
5. Схема измерений при экспресс-испытаниях	9
6. Снятие характеристик системы парораспределения	9
6.I. Рабочая программа	I4
6.2. Обработка опытных данных	I6
6.3. Анализ результатов	I8
6.4. Примеры результирующих кривых	22
7. Проверка работы турбины с максимальной электрической нагрузкой	22
7.I. Рабочая программа	22
7.2. Обработка опытных данных	24
7.3. Анализ результатов	25
8. Оценка состояния проточной части	29
8.I. Рабочая программа испытаний	29
8.2. Методика обработки полученных результатов	32
8.3. Типовые ошибки при испытаниях	37
8.4. Анализ полученных результатов	38
8.5. Проверка готовности схемы турбоустановки к проведению экспресс-испытаний проточной части	4I
8.6. Обработка опытных данных	4I
8.7. Примеры результирующих кривых	4I
8.8. Поправки к мощности турбины на отклонение начальных параметров пара от номинальных	4I
8.9. Дополнительные поправочные коэффициенты	44
8.I0. Определение КПД цилиндров высокого и среднего давления	45
9. Проверка работы системы регенерации, подогревателей сетевой воды и конденсатора	53
9.I. Рабочая программа	53

9.2. Обработка опытных данных 55
9.3. Анализ результатов испытаний 55
10. Снятие статической характеристики системы регулирования турбины 59
10.1. Рабочая программа опытов 59
10.2. Обработка полученных результатов 61
10.3. Анализ результатов 63
11. Проверка совместной плотности автоматических затворов и совместной плотности регулирующих клапанов ЧВД и ЧСД 64
11.1. Рабочая программа 64
11.2. Обработка полученных результатов 66
11.3. Анализ результатов 66

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 парораспределения, регенерации и регулирования.

Проверку состояния собственно турбины рекомендуется проводить в следующем порядке:

1) снятие характеристики системы парораспределения;
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.I. 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 замеров 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 введения 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.I. Экспресс-испытания выполняются в случаях, указанных в табл.I.

3.2. При проведении экспресс-испытаний обязательно соблюдение требований ПТЭ, ПТБ, инструкций, противоаварийных циркуляров

Таблица I

Цели и причины проведения экспресс-испытаний

Когда проводятся испытания	Цель испытаний	Время проведения испытаний	Объем испытаний	Примечание
При планировании объемов ремонтов на следующий год	I. Определение экономической целесообразности и объема предстоящего ремонта. 2. Получение сравнительных данных для экономического 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	I. Получение данных для последующей оценки качества ремонта. 2. Выяснение дефектов оборудования для уточнения объема ремонта	За 10-20 дн до начала ремонта	В полном объеме	
После выполнения ремонта	I. 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	

Окончание таблицы I

Когда проводятся испытания	Цель испытаний	Время проведения испытаний	Объем испытаний	Примечание
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	

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 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 приведен перечень применяемых приборов, указаны места измерений, измеряемая среда или параметры.

5. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЯХ

5.1. При проведении экспресс-испытаний места измерения 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 пароораспределения (неправильная настройка, дросселирование в клапанах и др.), то 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.раздел 8.10).

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 стопорными клапанами	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-160	2	
За стопорными клапанами				0-160	I	
За регулирующими клапанами				0-160	4	
В камере регулирующей ступени ЦВД				0-160	I	
В камере I отбора				0-40	I	
В камере II отбора				0-25	I	
В линии холодного промперегрева				0-25	I	
В линии горячего промперегрева, до отсечных клапанов				0-25	2	
В линии горячего промперегрева за отсечными клапанами					2	
В камере III отбора				0-16	I	
В камере IУ отбора				0-10	I	
В камере У отбора				0-6	I	

В камере УI отбора В камере УII отбора Вакуум в конденсаторе	0,5–0,6		*U*-образный ртутный манометр		I I 4	
На уплотнения	0,5–0,6		Контрольный манометр	0–2,5	I	
Перед ПНД № I Перед ПС Перед ПНД № 2	0,5–0,6		*U*-образный ртутный манометр		I I I	
Перед ПНД № 3 Перед ПНД № 4 Перед ПВД № 5 Перед ПВД № 6 Перед ПВД № 7	0,5–0,6		Контрольный манометр	0–6 0–I6 0–25 0–40	I I I I I	
Температура						
Пар перед стопорным клапаном	0,05	Термопара ХА или ХК	Переносный потенциометр		2	Термометрические гильзы, бобышки, чехлы для термопар должны отвечать требованиям соответствующих стандартов. Вторичные приборы, термопары, термометры должны быть проверены
Пар в линии горячего промперегрева					2	
Пар в линии холодного промперегрева					4	
Пар за ЦСД					4	
Циркуляционная вода на входе в конденсатор		Лабораторный термометр		0–50°С	2	
Циркуляционная вода на выходе из конденсатора					2	
Основной конденсат перед конденсатными насосами					2	
Основной конденсат перед ПНД № I					I	

Продолжение таблицы 2

Места измерений, измеряемая среда	Класс точности	Первичный прибор	Вторичный прибор	Пределы шкалы	Количество приборов	Примечание
Основной конденсат за ПНД № I		Лабораторный термометр		0-50°С	I	
Основной конденсат перед					I	
Основной конденсат перед ПНД № 2	0,05	Термопара ХА или ХК	Переносный потенциометр		I	
Основной конденсат за ПНД № 2					I	
Основной конденсат перед ПНД № 3					I	
Основной конденсат за ПНД № 3					I	
Основной конденсат за ПНД № 4					I	
Дренаж ПНД № 4		Лабораторный термометр		50-I00°С	I	
Дренаж ПНД № 3					I	
Дренаж ПНД № 2		Термопара ХК	Переносный потенциометр		I	
Дренаж ПС					I	
Дренаж ПНД № I					I	
Питательная вода перед ПВД № 5,6,7					I	
Питательная вода за ПВД № 7					I	
Питательная вода за обводом ПВД	0,05				I	

Дренаж ПВД № 5	0,05	Термопара ХК	Переносный потенциометр		I	
Дренаж ПВД № 6 до охладителя					I	
Дренаж ПВД № 6 за охладителем					I	
Дренаж ПВД № 7					I	
Расход и другие параметры						
Свежий пар		Штатное расходомерное сопло	Штатный расходомер		2	
Питательная вода		Штатное расходомерное сопло	Штатный расходомер		I	
Электрическая мощность	0,2(0,5)	Штатные измерительные трансформаторы	Однофазные ваттметры		2	Ваттметры собираются по схеме двух ваттметров
Барометрическое давление	0,2	Ртутный барометр заводского изготовления			I	Допустимо измерение барометрического давления проверенным анероидом
Пар I отсоса из переднего уплотнения ЦВД		Расходомерная диафрагма	Дифманометр ДТ-50		I	

6.I. Рабочая программа

6.I.I. При проведении опытов должны быть выполнены следующие условия:

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) произведено ступенчатое (через каждые примерно 30 т/ч) изменение нагрузки (нагружение или разгружение) в пределах I20-2I0 МВт;

г) выбрано такое количество опытов, чтобы были зафиксированы режимы в начале и конце открытия каждого клапана и две-три точки между этими крайними положениями клапанов;

д) произведено на каждой"ступеньке" нагрузки 8-I0 записей показаний приборов через 2-3 мин;

е) допустимое отклонение параметров пара должно быть 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	Максимально допустимое отклонение от среднего значения параметра
Давление свежего пара	± 6,5 кгс/см^2	± 2,5 кгс/см^2
Давление отработавшего пара	-	± 2 мм рт.ст.
Температура свежего пара и пара промперегрева	± 8°С	± 6°С

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

- расхода свежего пара;
- хода сервомотора, угла поворота кулачкового вала ЦВД;
- подъема регулирующих клапанов ЦВД;
- положения синхронизатора;

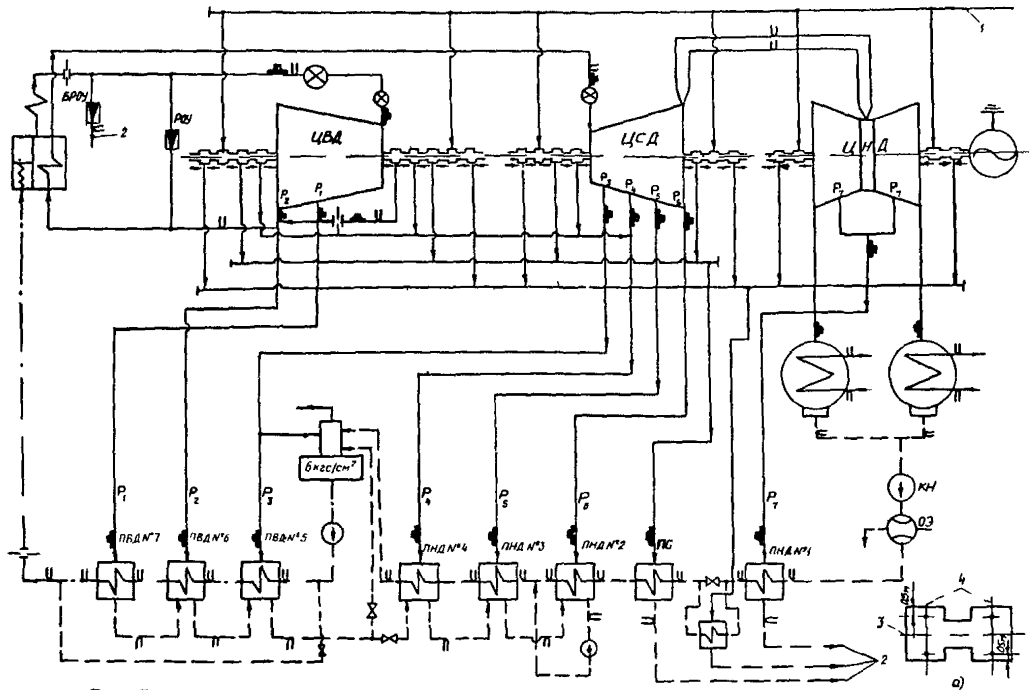


Рис.I. Схема измерений при экспресс-испытаниях турбоустановки К-200-130 ЛМЗ:
a – расположение точек измерения давления $p_к$ в конденсаторе; I – из деаэратора; 2 – в конденсатор; 3 – ось турбины; 4 – оси конденсатора; $p_1, p_2 \ldots p_7$ – давление пара соответственно в I-УП отборах

– место измерения давления, – место измерения температуры, – место измерения расхода среды

- давления пара перед стопорным клапаном и за ними, за регулирующими клапанами, в камере регулирующей ступени;

- температуры баббита колодок упорного подшипника (по штатному прибору, проверенному перед опытом);

- барометрического давления;

- давления пара в контрольной ступени;

- 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 измерения;

- 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 от расчетного значения для сужающего устройства;

в) к показаниям эксплуатационных потенциометров температур 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

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

где $T_0^{р}$, $p_0^{р}$ – температура (^{0}К) и давление, 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 $$\kappa(p_0) = p_0^{н} \sqrt{\frac{T_0^{р}}{T_0^{н} p_0^{р}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{p_0^{оп}}} = a \frac{1}{\sqrt{p_0^{оп}}}$$

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

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

6.3. Анализ результатов

6.3.1. По результатам опытов строятся зависимости:

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

$$p_{рст}^{пр} = f(D_0^{пр}) \; ; \quad p_{кл}^{пр} = f(D_0^{пр}) \, ,$$

б) расхода пара на турбину от положения сервомотора:

$$D_0^{пр} = f(H_{чвд}) \; ;$$

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

$$h_{кл} = f(\varphi) \; ; \; h_{кл} = f(H_{чвд}).$$

6.3.2. По характеристикам $p_{кл}^{пр} = f(D_0^{пр})$; $p_{рст}^{пр} = f(D_0^{пр})$ 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 на-

стройка системы пораспределения. Если характеристика $h_{кл}=f(\varphi)$ не отличается от заводской, то дефект – люфт между штоком и клапаном. Возможны случаи сокращения проходного сечения вследствие выхо седла клапана из расточки.

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 пораспределения во время испытаний.

При анализе правильности настройки системы пораспределения необходимо также учитывать, что пологое протекание линии давления за клапаном может происходить при износе сопл соответствующего сегмента, а более крутое – при завальцовке их.

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

6.3.5. Диаграмма пораспределения $p_{кл}=f(D_0)$ должна удовлетворять требованиям заводской диаграммы. Сорыв 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 от давления в камере регулирующей ступени ЦВД

$$t_{баб}^{ср}=(p_{р.ст}^{пр})\ ;\quad S=f(p_{р\,ст}^{пр})$$

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

Таблица 4

Результаты опытов по снятию характеристик системы парораспределения
(на примере Молдавской ГРЭС)

Показатель	Обозначение	Размерность	Режим работы турбины							Примечание
			I-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	
Давление пара перед стопорными клапанами:										
левым:										
усредненное опытное значение	$P_0^л$	кгс/см^2	I32,5	I32,9	I3I,4	I33,0	I32,8	I3I,5	I3I,4	
с учетом поправок	$P_0^л$	кгс/см^2	I33,4	I33,6	I32,I	I33,7	I33,3	I32,0	I32,0	
правым:										
усредненное опытное значение	$P_0^{пI}$	кгс/см^2	I33,9	I32,I	I32,4	I32,2	I32,0	I30,4	I3I,5	
с учетом поправок	$P_0^п$	кгс/см^2	I34,6	I32,8	I33,I	I32,7	I32,5	I3I,0	I3I,8	
среднее значение с учетом поправок	$P_0^{оп}$	кгс/см^2	I34,0	I33,2	I32,6	I33,2	I32,9	I3I,5	I3I,9	
Давление пара за стопорными клапанами:										
левым:										
усредненное опытное значение	$P_{за}^{лI}$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	
с учетом поправок	$P_{за}^л$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	
правым:										
усредненное опытное значение	$P_{за}^л$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	
с учетом поправок	$P_{за}^п$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	
среднее значение с учетом поправок	$P_{за}$	кгс/см^2	-	-	-	-	-	-	-	
Давление за регулирующими клапанами										
№ I:										
усредненное опытное значение	$P'_{Iкл}$	кгс/см^2	50,9	72,4	I02,4	II2,4	II7,9	I20,6	I22,9	
с учетом поправок	$P_{Iкл}$	кгс/см^2	5I,5	73,0	I03,0	II3,0	II8,5	I2I,2	I23,5	
№ 2:										
усредненное опытное значение	$P'_{IIкл}$	кгс/см^2	54,0	82,5	I05,5	I08,5	II0,5	II4,5	I24,0	
с учетом поправок	$P_{IIкл}$	кгс/см^2	54,5	83,0	I06,0	I09,0	III,0	II5,0	I24,5	
№ 3:										
усредненное опытное значение	$P'_{IIIкл}$	кгс/см^2	34,3	49,3	63,8	69,8	86,8	I0I,3	I25,3	
с учетом поправок	$P_{IIIкл}$	кгс/см^2	35,0	50,0	64,5	70,5	87,5	I02,0	II6,0	
№ 4:										
усредненное опытное значение	$P'_{IVкл}$	кгс/см^2	34,4	49,4	63,9	70,9	80,4	85,9	95,4	
с учетом поправок	$P_{IVкл}$	кгс/см^2	35,0	50,0	64,5	7I,5	8I,0	86,5	96,0	
Давление в камере регулирующей ступени ЦВД:										
усредненное опытное значение	$P_{р\,ст}^{ЧВД}$	кгс/см^2	37,0	5I,3	65,8	72,0	8I,0	87,9	96,I	
с учетом поправок	$P_{р.ст}^{ЧВД}$	кгс/см^2	37,5	5I,8	66,3	72,5	8I,5	88,4	96,6	

Ввести поправки на установку манометра, тарировку, барометрическое давление

Давление в контрольной ступени ЧНД:										
усредненное опытное значение	$P'_{к.ст}$	кгс/см^2	–	–	–	–	–	–	–	
с учетом поправок	$P_{к.ст}$	кгс/см^2	–	–	–	–	–	–	–	
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.	736,0	736,0	736,2	736,2	736,I	736,I	736,I	
Приведенное давление за регулирующими клапанами:										
№ I	$P^{пр}_{IкЛ}$	кгс/см^2	60,0	7I,2	I0I,0	II0,28	II5,9	II9,8	I2I,7	$P_i^{пр}=P_i^{оп}\frac{P_0^{ф}}{P_0^{оп}}$
№ 2	$P^{пр}_{IIкЛ}$	кгс/см^2	52,9	8I,0	I03,9	I06,4	I08,6	II3,7	I22,7	
№ 3	$P^{пр}_{IIIкЛ}$	кгс/см^2	34,5	48,8	83,2	68,8	85,6	I00,8	I24,2	
№ 4	$P^{пр}_{IVкЛ}$	кгс/см^2	34,0	48,8	63,2	69,8	79,2	85,5	94,6	
Приведенное давление пара в камере регулирующей ступени	$P^{пр}_{р.ст}$	кгс/см^2	36,4	50,55	65,0	70,75	79,7I	87,4	94,2	
Поправочный коэффициент к расходу свежего пара на отклонение параметров свежего пара	$\kappa(P_0)$	–	0,982	0,9872	0,989I	0,9872	0,9889	0,9923	0,99I5	$\kappa(P_0)=a/\sqrt{P_0^{оп}}$
Расход свежего пара:										
усредненное опытное значение	D'_0	т/ч	234,2	324,I	4I4,5	450,8	505,6	554,3	595,I	
с учетом поправок	$D_0^{зам}$	т/ч	234,2	324,I	4I4,5	450,8	505,6	554,3	595,I	
приведенный	$D_0^{пр}$	т/ч	230,0	320,0	4I0,0	445,0	500,0	550,0	590,0	$D_0^{пр}=D_0^{зам}\kappa(P_0)$
Положение сервомотора ЧВД	$H_{чвд}$	мм	204	225	229	250	265	270	283	
Угол поворота кулачкового вала	$\varphi_{чвд}$	град	55	66	74	8I	90	92	I00	
Положение синхронизатора	$H_{синх}$	Деление								
Подъем регулирующих клапанов:										
№ I	h_I	мм	6,I	8,6	I2,0	I6,0	I9,8	20,9	2I,7	
№ 2	h_{II}	мм	I5,0	I8,8	23,0	30,0	36,6	37,6	4I,3	
№ 3	h_{III}	мм	–	–	–	0,5	4,8	8,6	I5,8	
№ 4	h_{IV}	мм	–	–	–	–	–	–	4,I	
Температура баббита колодок упорного подшипника	$t^{ср}_{баб}$	°С								
Осевой сдвиг РВД	S	мм								

6.4. Примеры результирующих кривых

На рис.2 и 3 приведены примеры построения диаграмм парораспределения.

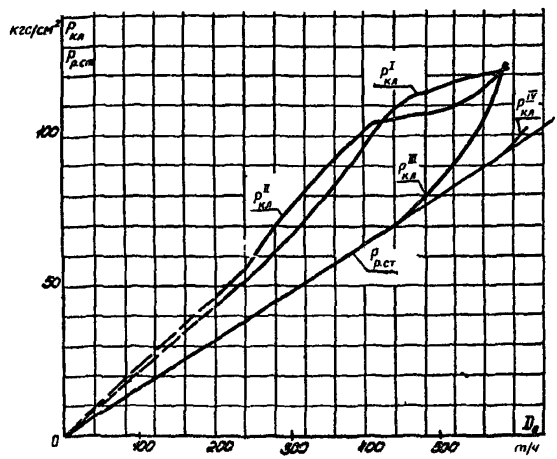


Рис.2. Диаграмма парораспределения (на примере Молдавской ГРЭС):

D_0 – расход свежего пара; $p_{кл}$ – давление в клапанах

7. ПРОВЕРКА РАБОТЫ ТУРБИНЫ С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

7.1. Рабочая программа

7.1.1. Условия проведения опытов:

– схема работы турбины – с полностью включенной регенерацией, подача пара к станционным потребителям не производится;

– на турбине устанавливается максимально возможная электрическая нагрузка, нагружение прекращается при достижении предель-

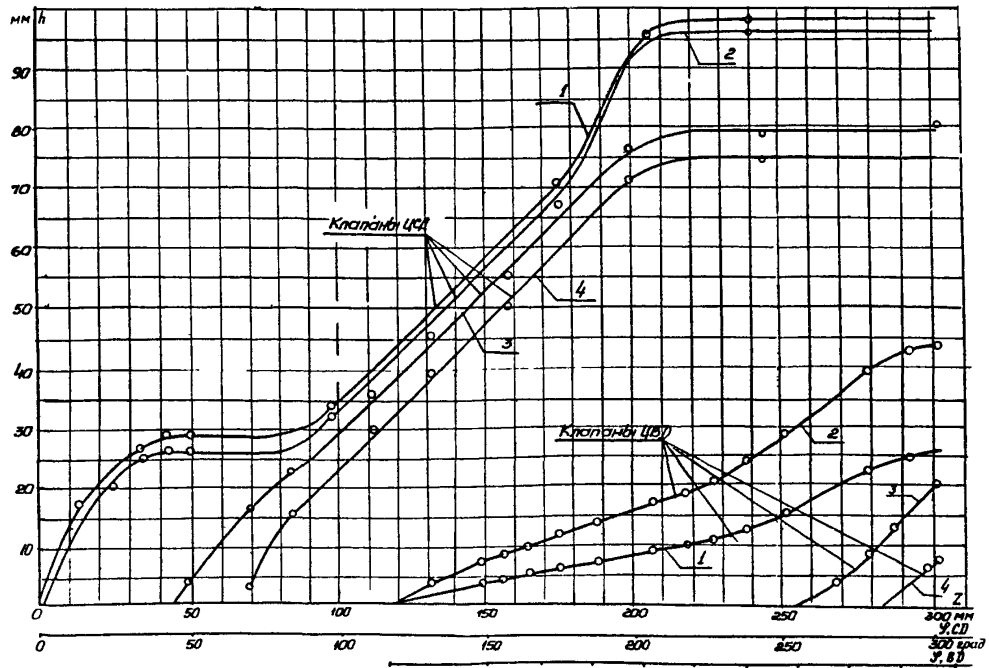


Рис.3. Зависимость хода клапанов (h) ЦВД и ЦСД от хода сервомотора и угла поворота кулачкового валика (холодная турбина) на примере Молдавской ГРЭС:

I, 2, 3, 4 – соответственно клапаны № I, № 2, № 3, № 4

ного значения одной из контрольных величин (давление пара в регулирующей ступени турбины не превышает максимально допустимых значений для отборов на ПНД № I - 0,26 кгс/см^2; на ПНД № 2 - I,29 кгс/см^2; не превышается максимально допустимая нагрузка котла и генератора; температура колодок упорного подшипника не выше 90°С);

- производится 8-I0 записей показаний приборов через 2-3 мин;
- допустимые отклонения параметров пара должны соответствовать данным, приведенным в табл.3;
- опыт может сопровождаться обследованием потерь давления пара в главных паропроводах и трактах промежуточного промперегрева;
- пар на уплотнения подается от постороннего источника.

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

- электрической мощности генератора;
- расхода свежего пара;
- расхода питательной воды через ПВД;
- хода сервомотора ЧВД;
- положения синхронизатора;
- давления перед и за стопорными клапанами, за регулирующими клапанами, в камере регулирующей ступени, до и после промперегрева, в контрольной ступени;
- температуры перед стопорными клапанами, до и после промперегрева;
- осевого сдвига и относительного положения роторов;
- температуры колодок упорного подшипника, нагрева масла в опорных подшипниках;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;
- температуры питательной воды за ПВД.

7.2. Обработка опытных данных

7.2.I. Производится подсчет средних измеренных значений, введение поправок к показаниям приборов (как и в серии опытов по снятию характеристик системы парораспределения).

Затем приводятся данные испытания к номинальным (сопоставимым) условиям (как и в серии опытов по оценке состояния проточной части).

7.2.2. Если приведенное значение давления в контрольной ступени получено выше допустимого, то необходимо определить максимально возможную мощность турбины при допустимом давлении в контрольной ступени, используя линейную зависимость давления в ступени от мощности.

7.2.3. Порядок обработки результатов опыта при максимальной нагрузке представлен в табл.5.

7.3. Анализ результатов

7.3.1. Проверка работы турбины при максимальной электрической нагрузке 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 (блока) имеет большое значение для энергосистемы, так как позволяет определить кратковременную 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).

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. Температура баббита колодок упорного подшипника и значение осевого сдвига позволяют оценить надежность упорного подшипника и, кроме того, используются при анализе состояния проточной части.

Таблица 5

Сводные данные результатов опытов с максимальной электрической нагрузкой

Показатель	Обозначение	Размерность	До капитального ремонта			После капитального ремонта			Примечание
			Режимы						
			I-й	2-й	3-й	I-й	2-й	3-й	
Давление пара перед стопорными клапанами:									Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление
левым:									
усредненное опытное значение	$p_o^{л'}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_o^{л}$	кгс/см^2							
правым:									
усредненное опытное значение	$p_o^{п'}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_o^{п}$	кгс/см^2							
среднее с учетом поправок	$p_o^{оп}$	кгс/см^2							
Давление пара за стопорными клапанами:									
левым									
усредненное опытное значение	$p_{за}^{л'}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{за}^{л}$	кгс/см^2							
правым:									
усредненное опытное значение	$p_{за}^{п'}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{за}^{п}$	кгс/см^2							
среднее с учетом поправок	$p_{за}$	кгс/см^2							
Давление в регулирующей ступени ЦВД:									
усредненное опытное значение	$p_{ст}^{ЧВД}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{ст}^{ЧВД}$	кгс/см^2							
Давление в контрольной ступени ЦНД:									
усредненное опытное значение:	$p'_{контр}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{контр}$	кгс/см^2							
Давление холодного промперегрева:									
усредненное опытное значение	$p'_{ппх}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{ппх}$	кгс/см^2							
Давление горячего промперегрева:									
усредненное опытное значение	$p'_{ппг}$	кгс/см^2							
с учетом поправок	$p_{ппг}$	кгс/см^2							
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.							

Температура пара перед стопорными клапанами:										
левым	$t_{0л}$	°С								
правым	$t_{0п}$	°С								
средняя	$t_{0ср}$	°С								
Температура пара после промперегрева	$t_{пгг}$	°С								
Температура пара до промперегрева	$t_{ппх}$	°С								
Температура питательной воды за ПВД	$t_{вых}^{ПВД}$	°С								
Вакуум в конденсаторе:										
справа сзади:										
замеренный вакуум	V'	мм рт.ст.								
с поправкой на $t_{рт}$ в столбик воды	V	мм рт.ст.								$V = V' - 0{,}0001815 \cdot t_{рт} V \pm \frac{\Delta H_{воды}}{13{,}6}$
давление	$p_к^I$	кгс/см^2								
справа спереди:										
замеренный вакуум	V'	мм рт.ст.								
с поправкой на $t_{рт}$ в столбик воды	V	мм рт.ст.								
давление	$p_к^{II}$	кгс/см^2								
слева сзади:										
замеренный вакуум	V'	мм рт.ст.								
с поправкой на $t_{рт}$ в столбик воды	V	мм. рт.ст.								$p_к = \frac{B - V}{735{,}5}$
давление	$p_к^{III}$	кгс/см^2								
слева спереди:										
замеренный вакуум	V'	мм рт.ст.								
с поправкой на $t_{рт}$ в столбик воды	V	мм рт.ст.								
давление	$p_к^{IV}$	кгс/см^2								
среднее давление	$p_к$	кгс/см^2								
Поправочный коэффициент к расходу свежего пара на отклонение параметров свежего пара	A	-								Рис.9
Расход свежего пара:										
усредненное опытное значение	$D_0^{зам}$	т/ч								$D_0^{оп} = D_0^{зам} \sqrt{\frac{p_0^{оп} T_0^{р}}{T_0^{оп} p_0^{р}}}$;
с учетом поправок	$D_0^{оп}$	т/ч								
приведенный	$D_0^{пр}$	т/ч								$D_0^{пр} = D_0^{оп} \cdot A$

Окончание таблицы 5

Казатель	Обозначение	Размерность	До капитального ремонта			После капитального ремонта			Примечание
			Режимы						
			I-й	2-й	3-й	I-й	2-й	3-й	
Приведенное давление в регулирующей ступени ЧВД	$P_{ст}^{чвд\ пр}$	кгс/см^2							$P_i^{пр}=P_i^{оп}A$
Приведенное давление в контрольной ступени ЧНД	$P_{кст}^{пр}$	кгс/см^2							
Мощность генератора									$N_э=\eta_i K_u C Z$, где K_i – [illegible] циент транс- [illegible] ска, K_u – ко- [illegible] ансформато- [illegible] C – [illegible]
показания прибора		Деление							
замеренная	$N_э$	кВт							
Расход питательной воды через ПВД	$D_{пв}^{пвд}$	[illegible]							
Фиктивная температура свежего пара	$t_0^{ф}$	°С							По i S диаграмме
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение t_0 от номинальной	β_{t_0}	%							Рис.6,а
Поправочный коэффициент мощности на отклонение p_0 от номинального	β_{p_0}	%							Рис.6,б
Поправочный коэффициент мощности на отклонение падения давления в тракте промперегрева	$\beta_{\Delta p_{пп}}$	%							Рис.8
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение температуры пара промперегрева	$\beta_{t_{пп}}$	%							Рис.7
Поправка к мощности на давление в конденсаторе	$\Delta N_{p_к}$	кВт							По универсальной кривой
Электрическая мощность при номинальных условиях	$N_э^{пр}$	кВт							$N_э=A(N_э^{оп}+\Delta N_{p_к})(1+\frac{\Sigma B}{100})$
Осевой сдвиг роторов.									
РВД	$S_{рвд}$	мм							
РСД	$S_{рсд}$	мм							
....									
Относительное положение роторов									
РВД	$\Delta l_{рвд}$	мм							
РСД	$\Delta l_{рсд}$	мм							
РНД	$\Delta l_{рнд}$	мм							
Нагрев масла в опорных подшипниках									
подшипник № I	$t_{п_1}$	°С							
подшипник № 2	$t_{п_2}$	°С							
подшипник № 3	$t_{п_3}$	°С							
подшипник № 4	$t_{п_4}$	°С							
Температура колодок упорного подшипника:									
рабочие колодки									
максимальная	$t'_{уп}$	°С							
минимальная	$t''_{уп}$	°С							
средняя	$t_{уп}$	°С							
нерабочие колодки									
максимальная	$t'_{уп}$	°С							
минимальная	$t_{уп}$	°С							
средняя	$t_{уп}$	°С							
Положение синхронизатора	$Z_{синх}$	Деление							

8. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

8.I. Рабочая программа испытаний

8.I.I. При проведении опытов в работе находятся два котла (для дубль-блоков).

8.I.2. На турбине устанавливается нагрузка около 90 МВт.

8.I.3. Собрать схему, при которой расход пара на турбину равен расходу основного конденсата:

а) отключить ПВД № 5,6,7 по пару, питательной воде, дренажу и отсосу воздуха;

б) отключить ПНД № 3, 4 по пару, дренажу и отсосу воздуха, ПНД № I и 2 остаются включенными по нормальной схеме;

в) отключить пар на испарители и другие нужды электростанции,

г) отключить РУ 30/6, БРОУ I,2;

д) закрыть пар на деаэратор 6 кгс/см^2 из отборов турбины, открыть подачу пара на деаэратор от постороннего источника;

е) подать пар на уплотнения и эжектор от постороннего источника;

ж) подача химически обессоленной воды и постороннего конденсата в конденсатор не производится;

з) давления конденсата в камерах подачи и отсоса от уплотнений ПЭН установить минимально допустимыми;

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

к) проверить отключение регенеративных подогревателей по снижению температуры воды за ними.

Проверить плотность закрытых дренажей. Температура питательной воды за ПВД должна быть равна температуре в деаэраторе с учетом нагрева в питательном насосе.

8.I.4. Опыты по оценке состояния проточной части проводятся при неподвижном положении регулирующих клапанов ЧВД, для чего ввести ограничитель мощности (необходимо вращать маховик ограничителя мощности до начала прикрытия регулирующих клапанов), после чего небольшим воздействием на синхронизатор в сторону "Прибавить" достигается неподвижность регулирующих клапанов. Регулятор давления "До себя" должен быть отключен.

8.I.5. Запись показаний приборов производится после стабилизации режима с периодичностью 3-4 мин; запись мощности генератора - через I мин. Продолжительность опыта - 30 мин.

8.I.6. Допустимое отклонение параметров во время опытов в соответствии с табл.3.

8.I.7. После окончания опыта продуть паропроводы отборов и снова закрыть дренажи.

8.I.8. Опыты повторить еще при трех нагрузках (примерно 1[illegible] I40 и I70 МВт).

8.I.9. В перерывах между опытами накапливать уровень в деаэраторе 6 кгс/см^2 подачей на конденсатор химически обессоленной воды или конденсата из БЗК.

8.I.I0. Расход пара через последнюю ступень турбины не должен превышать 426 т/ч, давление в камерах отборов не должно быть более: на ПНД № I - 0,26 кгс/см^2, ПНД № 2 - I,29 кгс/см^2, в ресивере - I,29 кгс/см^2.

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

8.I.I2. Производится запись значений следующих параметров:

- электрической мощности генератора;
- давления пара перед стопорными клапанами, в камере регулирующей ступени ЦВД, давления пара в камере I отбора, в линии холодного промперегрева, перед стопорными клапанами ЦСД, в камерах Ш,IУ,У,УI,УП отборов;
- вакуума в конденсаторе;
- барометрического давления;
- температуры свежего пара;
- температуры пара после промперегрева;
- расхода конденсата через сальниковый подогреватель;
- температуры конденсата на входе в ПНД № I,2 и выходе из них;
- температуры на входе в сальниковый подогреватель и выходе из него;
- расхода пара, отсасываемого из переднего уплотнения ЦВД;
- давления и температуры пара перед расходомерной шайбой на трубопроводе отсоса из уплотнений.

Таблица 6

Проверка готовности схемы турбоустановки
к проведению экспресс-испытаний проточной части

Наименование проверочных операций контрольных величин	Отметка о состоянии
I. Наличие уровней конденсата в конденсаторе и ПНД № I,2	
2. Температуры конденсата (проверка надежности отключения регенерации):	
за ПНД № 3	
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 плотности БРОУ, РОУ (по температуре)	
5. Проверка установки минимально возможного давления конденсата на уплотнениях ПЭН	
6. Давление пара в коллекторе подачи пара на уплотнения: ЦВД ЦНД	
7. Проверка отключения впрыска в промперегрев	
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 $p_к$	

Окончание таблицы 6

Наименование проверочных операций или контрольных величин	Отметка о состоянии
Давление за регулирующими клапанами: $p_{I\ кл}$ $p_{II\ кл}$ $p_{III\ кл}$ $p_{IV\ кл}$ Значение барометрического давления в начале и конце опытов	
9. Наработка времени от последнего капитального ремонта и предыдущих экспресс-испытаний до настоящих испытаний	
10. Число пусков за периоды, указанные в п.9	
II. Замечания к подготовке и проведению данных испытаний	

8.2. Методика обработки полученных результатов

8.2.I. После приведения показаний приборов к фактическим значениям (с учетом высоты установки, погрешности и т.д. см. табл.4 и 5) величины приводятся к номинальным условиям.

За номинальные параметры приняты: $t_0^н = 540^oC$, $t_{пп}^н = 540^oC$ $p_0^н = 130$ кгс/см^2, $p_к^н = 0{,}035$ кгс/см^2.

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

8.2.2. Все давления в проточной части до тракта промперегрева приводятся также к одинаковой зависимости $p_2^н = f(p_{контр})$.

Это необходимо для того, чтобы давления в ЦВД можно было сравнивать в условиях опытов с различными потерями в тракте промперегрева или разной степенью заноса солями ЦСД.

8.2.3. Для упрощения расчетов и с учетом линейного характера зависимостей $p_i = f(p_{контр})$ и $N_э^{пр} = f(p_{контр})$ поправки на ряд давлений (p_2, $p_{пп}$, p_3, p_4) не вносятся.

Как видно из табл.7, для построения графиков используются фактически измеренные значения этих давлений.

Поправки вносятся:

- к давлению в регулирующей ступени $p_{рст}$ и в первом отборе p_1: на температуру пара промперегрева K_t и на начальные параметры

- к давлению P_5: на температуру пара промперегрева K'_{t_3};

- к давлениям P_6 и P_7: на температуру пара промперегрева K'_{t_1}, K'_{t_2} и на включение ПНД № I и 2- K_{p_1}, K_{p_2};

- к мощности: на начальные параметры пара β_{t_0}, β_{p_0}, $\beta_{t_{пп}}$, потерю давления в тракте промперегрева $\beta_{\Delta P_{пп}}$, температуру пара промперегрева K_t, $cos\varphi(\beta_{cos\varphi})$, конечное давление $\Delta N_{p_к}$ и сохранение в работе части ПНД K_{N_i}. Если имеется, вносится тарировочная поправка на мощность ΔN_t.

8.2.4. При предварительной оценке правильности опытов допустимо поправки на $P_{p.cm}$ и P_i вносить без учета коэффициента A, а K'_t вообще не учитывать.

Предварительную оценку основных результатов испытаний целесообразно сделать непосредственно во время первой серии опытов, рассчитывая отношения давлений согласно табл.8.

8.2.5. До построения графиков с целью повышения точности результатов и отбрасывания явно ошибочных значений можно рекомендовать рассчитывать 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 $P_i/P_{контр}$ существенно отличается от среднего значения, это свидетельствует об ошибочности данного измерения. 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 значений в других опытах данной турбины. Это свидетельствует об ошибке в измерении давления в контрольной ступени, вследствие этого за контрольное давление должно быть принято давление в близлежащем отборе.

8.2.6. При составлении отношений $N_э^{пр}/P_{контр}$ необходимо иметь в виду, что линия $N_э^{пр}=f(P_{контр})$ выходит не из начала координат, так как в зоне малых мощностей зависимость мощности от давления криволинейная.

8.2.7. Все данные опытов обрабатываются и строятся в зависимости от давления в контрольной ступени, т.е. $N_э^{пр}=f(P_{контр})$; $P_i=f(P_{контр})$.

Кроме того, зависимость $N_э^{пр}=f(P_{контр})$ строится еще для двух давлений - $P'_{контр}=P_4$; $P''_{контр}=P_5$, которые подбираются с целью подтверждения правильности выбора контрольного давления.

Таблица 7

Обработка опытных данных

№ п.п.	Наименование	Измерение, формула, рисунок	Обозначения	Размерность	Дата испытания		
	Оценка состояния проточной части						
I	Номер опыта	–	–				
②*	Давление в контрольной ступени (ПВД № 5)	Измерение	$p_3^{оп}$	кгс/см^2			
③	Начальное давление	–"–	$p_0^{оп}$	кгс/см^2			
④	Начальная температура	–"–	$t_0^{оп}$	°С			
	Давление:						
⑤	в регулирующей ступени	–"–	$p_{рст}^{оп}$	кгс/см^2			
⑥	в I отборе (ПВД № 7)	–"–	$p_1^{оп}$	кгс/см^2			
⑦	во II отборе (ПВД № 6)	–"–	$p_2^{оп}$	кгс/см^2			
⑧	в IУ отборе (ПНД № 4)	–"–	$p_4^{оп}$	кгс/см^2			
⑨	в У отборе (ПНД № 3)	–"–	$p_5^{оп}$	кгс/см^2			
⑩	в УI отборе (ПНД № 2)	–"–	$p_6^{оп}$	кгс/см^2			
⑪	в УП отборе (ПНД № I)	–"–	$p_7^{оп}$	кгс/см^2			
⑫	за турбиной	–"–	$p_к^{оп}$	кгс/см^2			
⑬	Расход свежего пара / расход конденсата	–"–	D_0/W	т/ч / т/ч			
⑭	Давление перед отсечными клапанами ЦСД	–"–	$p_{ппг}$	кгс/см^2			
	ПНД № I:						
⑮	температура на выходе	–"–	$t_{вых}$	°С			
⑯	температура на входе	–"–	$t_{вх}$	°С			
	ПНД № 2:						
⑰	температура на выходе	–"–	$t_{вых}$	°С			
⑱	температура на входе	–"–	$t_{вх}$	°С			
⑲	Температура пара промперегрева	–"–	$t_{пп}^{оп}$	°С			
20	Поправочный коэффициент на $t_{пп}^{оп}$	Рис.I0	K_t	–			
2I	Приведенное давление за ЦВД	Рис.II	$p_2^{н}$	кгс/см^2			
22	Коэффициент	Рис.9	A	–			
23	Отношение давлений	$p_2^{н}/p_2^{оп}A$	ε_A	–			
24		$p_2^{оп}/p_{рст}^{оп}$	ε_t	–			
25	Коэффициент $K_2=f(\varepsilon_A,\varepsilon_t)$	Рис.I2	K_2	–			
26	Приведенное давление в регулирующей ступени	$p_{рст}^{оп}K_2/K_t$	$p_{рст}^{пр}$	кгс/см^2			
27	Отношение давлений	$p_2^{оп}/p_1^{оп}$	ε_t	–			
28	Коэффициент $K_2=f(\varepsilon_A,\varepsilon_t)$	Рис.I2	K_2	–			
29	Приведенное давление в I отборе	$p_1^{оп}\cdot K_2/K_t$	$p_1^{пр}$	кгс/см^2			
	Дополнительный поправочный коэффициент на $t_{пп}$ для давлений:						
30	p_5	Рис.I8	K'_{t_5}	–			
3I	p_6	Рис.I8	K'_{t_6}	–			
32	p_7	Рис.I8	K_{t1}	–			

33	Приведенное давление в У отборе	$p_5^{оп} K'_{t_3}$	$p_5^{пр}$	кгс/см^2			
34	Разность температур на ПНД № 2	$t_{вых} - t_{вх}$	Δt_2	°С			
35	Поправочный коэффициент на Δt_2 для ПНД № 2	Рис.I6	K_{p_2}	–			
36	Приведенное давление в УI отборе	$p_6^{оп} K'_{t_2} K_{p_2}$	$p_6^{пр}$	кгс/см^2			
37	Разность температур на ПНД № I	$t_{вых} - t_{вх}$	Δt_1	°С			
38	Поправочный коэффициент на Δt_1 для ПНД № I	Рис.I6	K_{p_1}	–			
39	Приведенное давление в УП отборе	$p_7^{оп} K'_{t_1} K_{p_1} K_{p_2}$	$p_7^{пр}$	кгс/см^2			
40	Электрическая мощность	Измерение	$N^{оп}$	кВт			
	Поправочный коэффициент к $N^{оп}$ на:						
4I	p_o	Рис.6,*б*	β_{p_o}	%			
42	t_o	Рис.6,*а*	β_{t_o}	%			
43	$t_{пв}$	Рис.7	$\beta_{t_{пв}}$	%			
44	$\Delta p_{пп}$	Рис.8	$\beta_{\Delta p_{пп}}$	%			
45	$\cos\varphi$	Рис.I4	$\beta_{\cos\varphi}$	%			
46	$t_{пп}$	Рис.I0	$-K_t$	%			
47	включение ПНД № I	Рис.I7	K_{N_1}	%			
48	включение ПНД № 2	Рис.I7	K_{N_2}	%			
49	. . . . .						
50	Сумма коэффициентов пп. 4I–49		$\Sigma\beta + \Sigma K$	%			
5I	Поправка на конечное давление	Рис.I5	$\Delta N_{p_к}$	кВт			
52		$N^{оп} \pm \Delta N_{p_к}$	N'	кВт			
53	Мощность, соответствующая $\Sigma\beta + \Sigma K$	$N'(\Sigma\beta + \Sigma K)/100$	ΣN	кВт			
54	Приведенная электрическая мощность	см.п. 52–53	$N_э^{пр}$	кВт			
55	Тарировочная поправка к измеренной мощности	–	ΔN_t	кВт			
56	Приведенная электрическая мощность с учетом п.55	$N_э = N'_э \pm \Delta N_t$	$N_э^{пр}$	кВт			
	Оценка состояния концевых уплотнений						
	Отсос пара из камеры:						
①	перепад на дифманометре	Измерение	$H_{упл}$	мм рт.ст.			
②	давление среды	То же	$P_{упл}$	кгс/см^2			
③	температура среды	–"–	$t_{упл}$	°С			
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	–"–	$t_{упл}$	°С			
8	расход пара из уплотнения	–"–	$G_{отс}$	т/ч			
⑨	Расход конденсата через ПС	измерение	W	т/ч			
⑩	Температура пара на входе в ПС	То же	$t_{вх}$	°С			
⑪	Температура пара на выходе из ПС	–"–	$t_{вых}$	°С			
I2	Расход пара на уплотнения на ПС	$G_{сп} = \frac{W(t_{вых} - t_{вх})}{t}$	$G_{сп}$	т/ч			

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

При анализе результатов испытаний учитываются данные всех графиков.

Примечание. Если за $P_{контр}$ принимается другое давление, а не P_3, то отношения давлений строятся в зависимости от нового давления, принимаемого в качестве контрольного.

Для возможности сопоставлений данные предыдущих испытаний перестраиваются на новое давление $P_{контр}$.

Таблица 8

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

Номер блока								Средние значения
Дата испытания								
$P_{рст}^{пр} / P_3^{пр}$								6,6
$P_1^{пр} / P_3^{пр}$								2,95
$P_2^{пр} / P_3^{пр}$								2,04
$P_4^{пр} / P_3^{пр}$								0,55
$P_5^{пр} / P_3^{пр}$								0,23
$P_6^{пр} / P_3^{пр}$								0,12
$P_7^{пр} / P_3^{пр}$								0,05
$P_2^{пр} / P_{ппг}^{пр}$								1,15
$N_э^{пр} / P_3^{пр}$								17,2

Примечания: 1. Средние значения рассчитаны усреднением результатов экспресс-испытаний на Молдавской ГРЭС.
2. За контрольное, как правило, принимается давление P_3.

8.3. Типовые ошибки при испытаниях

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

Как правило, в работе могут оставаться два (или один) ПНД - первые по ходу конденсата.

Деаэратор должен работать от постороннего источника в обязательном порядке.

8.3.2. Сохраняется в работе впрыск охлаждающей воды в линию промперегрева.

Как правило, предельные режимы (среди прочих) при опытах должны определяться условием допустимой температуры пара после промперегрева без добавки охлаждающей воды. Если же это невозможно на режимах, на которых производится впрыск охлаждающей воды, сам впрыск должен быть по возможности минимальным, и значение его обязательно должно фиксироваться наряду с остальными величинами.

При наличии впрыска необходимо ввести поправки к мощности и давлениям после промперегрева в соответствии с приведенными ниже рис. I9 и 20.

8.3.3. Испытания проводятся при работе турбины с подвижными органами парораспределения, без ограничителя мощности на каждой ступеньке 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-то причинам невозможно, длительность и количество измерений в каждом опыте должны быть увеличены в I,5 раза. При этом регулятор давления "До себя" во время проведения опытов должен быть обязательно отключен.

8.3.4. 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.

8.3.5. При испытаниях не записываются значения температур перед и за ПНД, оставленными в работе, а также значения расхода пара и питательной воды. Отсутствие этих данных делает невозможным правильную обработку материалов.

8.3.6. 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, $P_{ст}$, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5

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

8.3.7. 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 по каждой турбине с помощью продувки импульсных линий.

8.4. Анализ полученных результатов

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

8.4.1. 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 $\delta = \pm 0{,}4\%$. 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 испытаний турбин данного типа рекомендуется в качестве контрольного принять давление пара P_5 (давление на ПВД № 5). В первой же се-

рии опытов непосредственно по данным измерений с учетом поправки на высоту и погрешность прибора должны быть составлены отношения

$$P^{пр}_{ппг} / P_{контр}\ ;\quad P^{пр}_{4} / P_{контр}\ ;\quad P^{пр}_{i} / P_{контр}\ ;\quad N^{пр}_{э} / P_{контр}$$

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 ГРЭС, приведенными в табл.8. В этом случае отклонение может достигать 5-6%.

Если фактические значения для 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 тщательно проверить правильность измерения контрольного давления. Если причина несовпадения в давлениях не будет обнаружена и устранена, за $P_{контр}$ принимается давление P_4 или P_5, которое окончательно проверяется после обработки всех данных и построения зависимости $P_i = f(P_{контр})$.

8.4.3. Зависимость $N^{пр}_{э} = f(P_{контр})$ является основной для количественного определения изменения экономичности турбины. Среднее значение из нескольких (для одного испытания, но в разных местах кривой) и дает значение изменения полученной мощности по сравнению с предыдущими испытаниями. Так, на кривых рис.4 это составляет примерно + 2%.

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 линии давления в ЦВД или ЦСД идут ниже (более полого) чем в предыдущих испытаниях, это свидетельствует об увеличении зазоров.

Подтверждающим обстоятельством 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;

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 собственно все испытания проточной части) должны быть повторены как непредставительные.

8.4.6. Окончательный анализ изменения состояния проточной части производится сравнением данных двух испытаний или более по зависимости $N_э^{пр} = f(P_{контр})$ 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 изменения мощности и давления по ступеням имеют одинаковый знак при изменении зазоров как в диафрагменных, так и в надбандажных уплотнениях, а значение осевого усилия увеличивается при увеличении зазоров в диафрагменных уплотнениях и уменьшается при увеличении зазоров в надбандажных уплотнениях.

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

8.5.1. Перед проведением экспресс-испытаний проточной части турбины необходимо осуществить проверку готовности схемы турбоустановки в соответствии с табл.6, где указываются проверочные операции и контрольные величины.

8.6. Обработка опытных данных

8.6.1. Обработка опытных данных по оценке состояния проточной части турбины осуществляется в соответствии с табл.7.

8.7. Примеры результирующих кривых

8.7.1. Зависимость мощности турбины от давления в контрольной ступени - $N_э^{пр} = f(p_з)$ (на примере Молдавской ГРЭС) приведена на рис.4.

8.7.2. Зависимость давления в отборах от давления в контрольной ступени - $p_i = f(p_з)$ (на примере Молдавской ГРЭС) приведена на рис.5.

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

8.8.1. Поправки к мощности на отклонение температуры (α) и давления (δ) свежего пара от номинальных приведены на рис.6.

8.8.2. Поправка к мощности на отклонение температуры пара промперегрева от номинальной приведена на рис.7.

8.8.3. Поправка к мощности на изменение потери давления в тракте промперегрева приведена на рис.8.

8.8.4. Поправочный коэффициент на изменение начального давления и температуры пара - $A = f(p_o^{оп}, t_o^{оп})$ - приведен на рис.9.

8.8.5. Поправочный коэффициент на изменение температуры пара промперегрева $K_t = \sqrt{\frac{T_{пр}^{н}}{T_{пр}^{оп}}}$ приведен на рис.10.

8.8.6. Зависимость приведенного давления за ЦВД от давления в контрольной ступени приведена на рис.11.

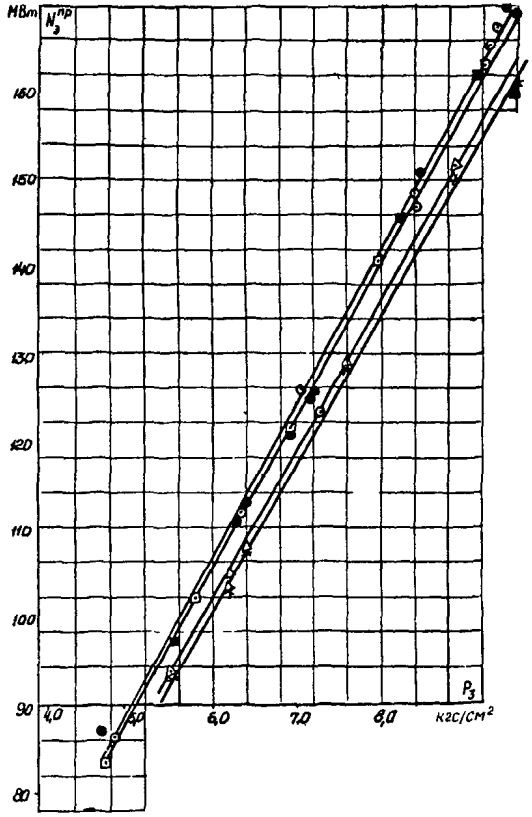


Рис.4. Зависимость мощности турбины от давления в контрольной ступени $N_э^{пр} = f(P_3)$ (на примере Молдавской ГРЭС):

Δ – испытание до капитального ремонта, март 1971 г.; $\times$ – испытание до капитального ремонта, март 1972 г.; $\odot$ – испытание после капитального ремонта, июнь 1972 г.; $\bullet$ – испытание после капитального ремонта, август 1972 г.; $\boxdot$ – текущие испытания, январь 1973 г.; $\blacksquare$ – текущие испытания, февраль 1974 г.

8.8.7. Поправочный коэффициент для пересчета давлений по формуле Флюгеля приведен на рис. 12.

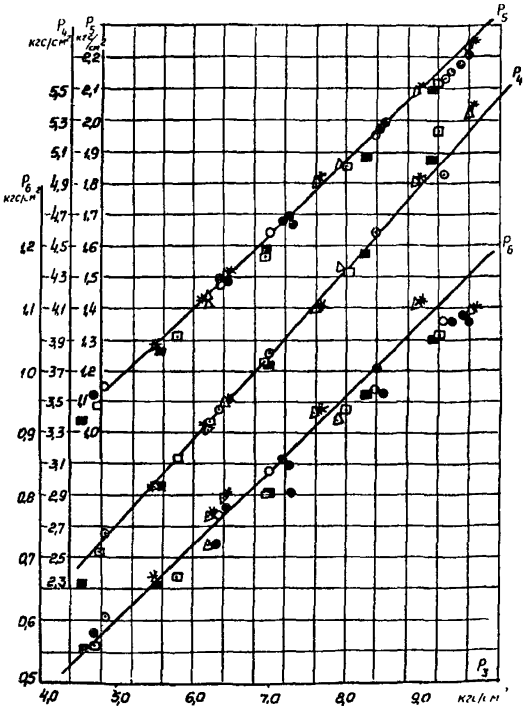


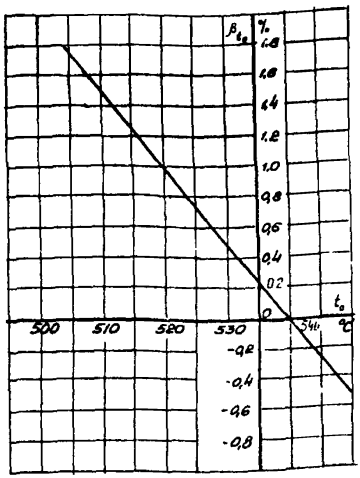
Рис.5. Зависимость давлений в отборах от давления в контрольной ступени $P_i = f(P_3)$ (на примере Молдавской ГРЭС)

Условные обозначения см. рис. 4

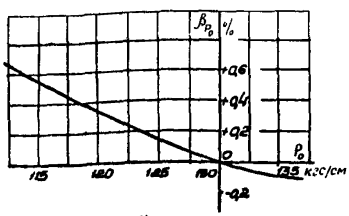
8.8.8. Поправка для приведения показаний ртутного манометра и барометра с латунной шкалой к 0°С и поправка к давлениям в отборах на изменение КПД ЦСД приведены на рис.13.

8.8.9. Поправка к мощности на отклонение $\cos\varphi$ от номинального приведена на рис.14.

8.8.10. Поправка к мощности на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе приведена на рис.15.



а)



б)

Рис.6. Поправки к мощности на отклонение параметров свежего пара от номинальных (по данным ВТИ им.Ф.Э. Дзержинского):
а – на отклонение температуры; *б* – на отклонение начального давления

8.9. Дополнительные поправочные коэффициенты

8.9.1. Зависимость $K_{p_i} = f(\Delta t)$ приведена на рис.16.

8.9.2. Зависимость $K'_{N_i} = f(\Delta t, p_з)$ приведена на рис.17.

8.9.3. Зависимость $K'_t = f(p_i, \Delta t_{пп})$ приведена на рис.18.

8.9.4. Дополнительные поправочные коэффициенты к давлениям пара в отборах и к мощности турбины в зависимости от расхода на впрыск в линию промперегрева (дополнение к п.8.6) приведены соответственно на рис.19 и 20.

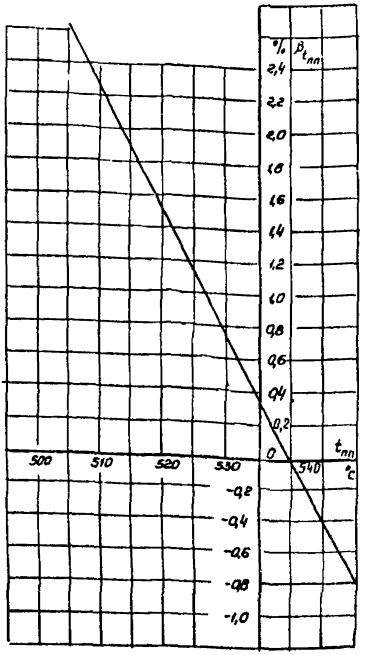


Рис.7. Поправка к мощности на отклонение температуры пара промперегрева от номинальной (по данным ВТИ им.Ф.Э.Дзержинского)

Примечания: 1. Приведенные давления в отборах $P_3 - P_7$ – из табл.7; в случае $D_{впр} \neq 0$ приводятся к номинальному режиму без впрыска по формуле $P_i^{пр} = \frac{P_i}{K_{P_i впр}}$; приведенная мощность – по формуле $N_э^{пр} = \frac{N'_э \pm \Delta N_t}{K_{N_{впр}}}$

2. Зависимости $P_i = f(P_{контр})$, $N = f(P_{контр})$ строятся по приведенным значениям $P_i^{пр}$, $N_э^{пр}$.

8.10. Определение КПД цилиндров высокого и среднего давления

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

При проведении этой серии опытов следует предусмотреть на турбине дополнительные точки измерений, обеспечив дублирование измерения температур после ЦВД и ЦСД.

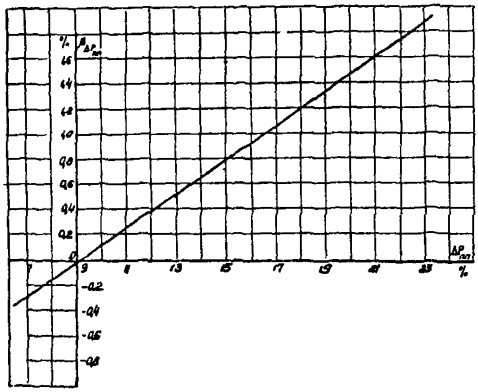


Рис.8. Поправка к мощности на изменение потери давления в тракте промперегрева (по данным ВТИ им.Ф.Э. Дзержинского)

П р и м е ч а н и е. Потеря давления в процентах отнесена к давлению перед клапанами ЦСД.

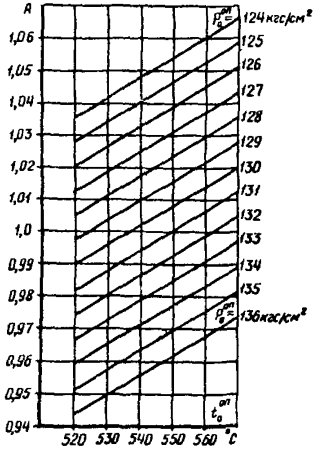


Рис.9. Поправочный коэффициент на изменение начального давления и температуры пара:

$$A = f(p_0^{оп}, t_0^{оп});$$

$$A = \frac{p_0^{н}}{p_0^{оп}} \sqrt{\frac{T_0^{оп}}{T_0^{н}}},$$

где T – абсолютная температура, °К

Рис.IO. Поправочный коэффициент на изменение температуры пара промперегрева:

$$K_t = \sqrt{\frac{T_{пп}^{н}}{T_{пп}^{оп}}},$$

где T – абсолютная температура, ^{0}K

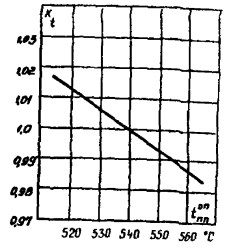
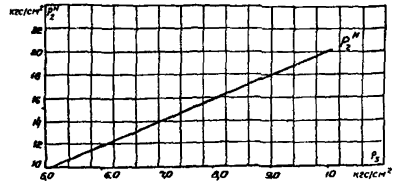


Рис.II. Зависимость приведенного давления за ЦВД от давления в контрольной ступени



Для получения достоверного значения КПД цилиндра необходимо обеспечить измерения температур с точностью ± I,5°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 ЧВД обеспечивается некоторым снижением давления свежего пара перед турбиной.

Определение КПД ЦСД производится при полностью включенной системе регенерации.

При проведении опытов допускается отклонение параметров пара, приведенное в табл.3.

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

- расхода свежего пара;
- положения регулирующих клапанов ЧВД;
- давления и температуры перед стопорными клапанами ЦВД и ЦСД;
- давления и температуры пара за ЦВД и ЦСД.

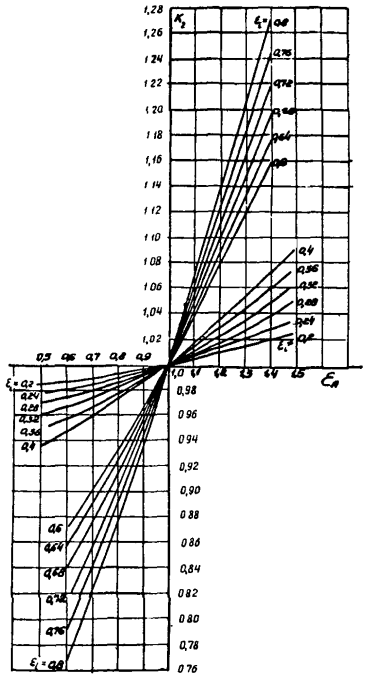


Рис. 12. Поправочный коэффициент для пересчета давлений по формуле Флюгеля:

$$K_2 = f(\varepsilon_A, \varepsilon_i); \quad \varepsilon_A = \frac{P_2^{н}}{P_2^{оп} \cdot A}, \quad \varepsilon_i = \frac{P_2^{оп}}{P_i^{оп}}; \quad P_i = P_i^{оп} \cdot K_2$$

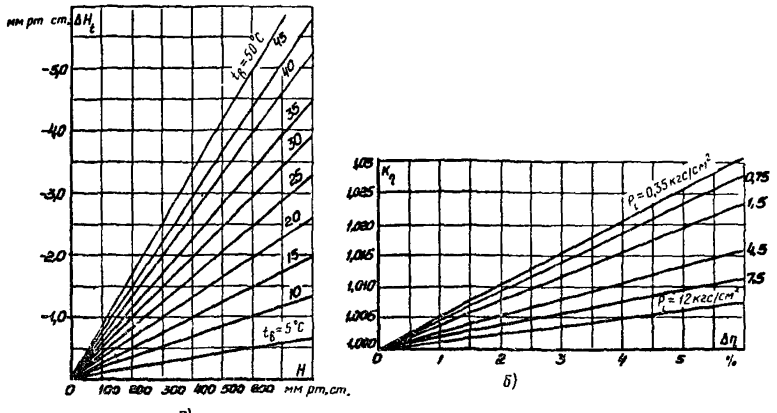


Рис.13. Вспомогательные поправочные коэффициенты:

a – поправка для приведения показаний ртутного термометра и барометра с латунной шкалой к 0°С (для прибора со стальной шкалой поправку умножить на 1,03); $H_a = H - \Delta H_t$; $t_в$ – температура окружающего воздуха; δ – поправка к давлениям в отборах на изменение КПД ЦСД; P_t – давление в отборе; $\Delta\eta$ – снижение КПД ЦСД

8.10.3. Обработка опытных данных. Анализ результатов производится после подсчета средних опытных значений и введения поправок.

Внутренний относительный КПД определяется по следующим формулам:

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

$$\eta_{oi}^{ЧСД} = \frac{h_i^{ЧСД}}{h_o^{ЧСД}} = \frac{i_1^{ЧСД} - i_2^{ЧСД}}{i_1^{ЧСД} - i_{2t}^{ЧСД}}, \qquad (5)$$

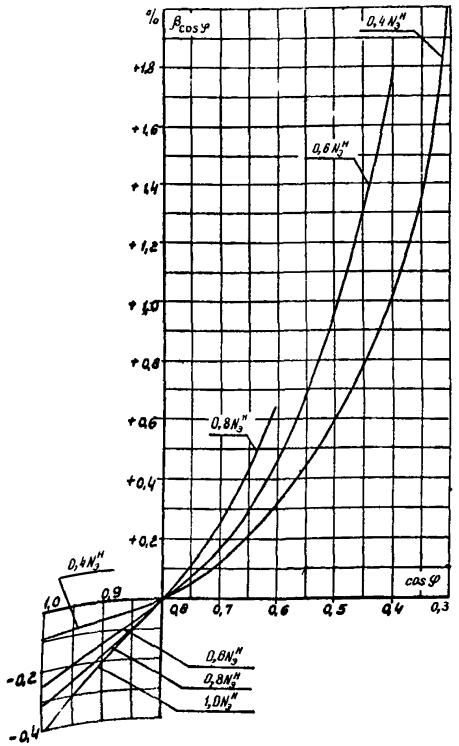


Рис. 14. Поправка к мощности на отклонение *cos φ* от номинального

где $h_i^{ЧВД}$, $h_0^{ЧВД}$ – использованный и адиабатический теплоперепад ЧВД;

i_0 – энтальпия свежего пара;

$i_{2ЧВД}$, $i_{2t}^{ЧВД}$ – энтальпия пара после ЧВД по измеренным параметрам и соответственно адиабатическому расширению;

$h_i^{ЧСД}$, $h_0^{ЧСД}$ – использованный и адиабатический теплоперепад ЧСД;

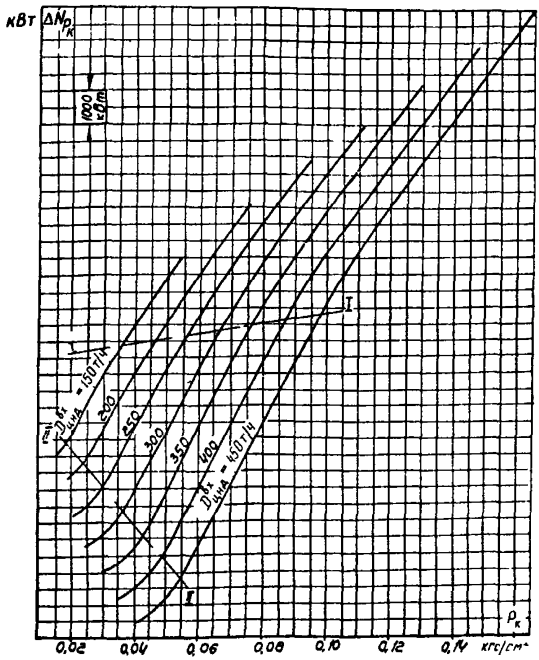


Рис.I5. Поправка к мощности на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе:

$D^{вх}_{цнд}$ – расход пара на входе в ЦНД, который для условий экспресс-испытаний принимается равным начальному расходу пара D_0; $\Delta N_{p_к}$ – изменение мощности на клеммах генератора

Примечание. Средняя поправка к мощности на прямолинейных участках, ограниченных прямыми I–I – II–II, на ± 0,0I кгс/см² составляет ± I900 кВт (на два потока пара)

$i_1^{чсд}$ – энтальпия пара перед отсечными клапанами ЧСД;

$i_2^{чсд}$, $i_{2t}^{чсд}$ – энтальпия пара после ЧСД по измеренным параметрам и соответственно адиабатическому расширению.

Энтальпия пара определяется по "Таблицам теплофизических свойств воды и водяного пара ("Стандарт", I969).

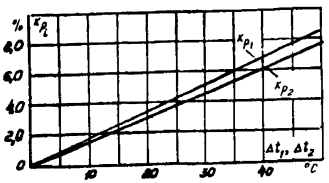


Рис.I6. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям при сохранении в работе ПНД № I и ПНД № 2:

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

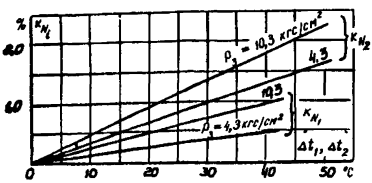


Рис.I7. Дополнительный поправочный коэффициент к мощности при сохранении в работе ПНД № I и ПНД № 2:

$$K_{N_i} = f(\Delta t, P_3)$$

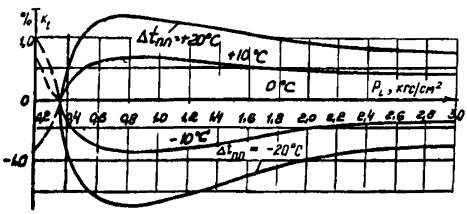


Рис.I8. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям пара в отборах от температуры в линии горячего промперегрева:

$$K'_t = f(P_i, \Delta t_{пп})$$

Разность между номинальным и опытным значением температур пара в линии горячего промперегрева $\Delta t_{пп} = t^{н}_{пп} - t^{оп}_{пп}$

8.I0.4. При больших изменениях КПД ЧСД (более 2%) на давления в ЧСД вводится поправка (см.рис.I3,б).

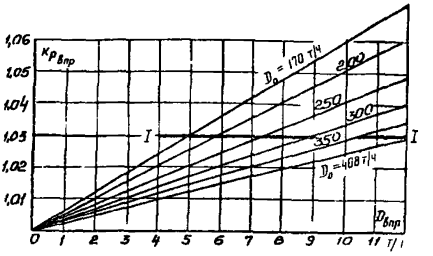


Рис. I9. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям пара в отборах в зависимости от расхода пара на впрыск в линию горячего промперегрева:

$$K_{\rho_{впр}} = f(D_{впр}, D_0);$$

I÷I - линия предельных значений впрыска, выше которых точность обработки данных существенно снижается; D_0 - соответствует значению начального расхода пара

Примечание. С учетом впрыска давления $\rho_3 - \rho_7$ приводятся к режимам без впрыска по формуле $\rho_i^{пр} = \frac{\rho_i}{K_{\rho_{впр}}}$

9. ПРОВЕРКА РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ, ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ И КОНДЕНСАТОРА

9.I. Рабочая программа

9.I.I. Условия проведения опытов[1]:

- турбина работает по нормальной схеме с полностью включенной регенерацией;

- опыты проводятся при нагрузках 60-70 и I00% номинальной

[1] Подогреватели сетевой воды и регенеративные подогреватели могут испытываться одновременно и раздельно.

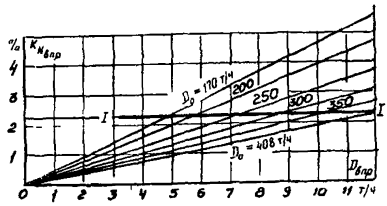


Рис.20. Дополнительный поправочный коэффициент к мощности в зависимости от расхода пара на впрыск в линию горячего промперегрева:

$$K_{N_{Bпр}} = f(D_{Bпр}, D_0);$$

I-I - линия предельных значений впрыска, выше которой точность обработки данных существенно снижается; D_0 соответствует значению начального расхода пара

- подпитка блока в конденсатор в течение каждого опыта постоянна;

- особенно тщательно контролируется наличие уровней конденсата во всех подогревателях, а также отсутствие протечек помимо них;

- допустимые отклонения параметров пара - в соответствии с табл.3;

- запись показаний приборов производится через 5 мин; длительность каждого опыта 30 мин;

- допустимое отклонение электрической нагрузки от установленной в течение опыта ± 2%;

- давление в деаэраторе равно номинальному.

9.I.2. Производится запись значений следующих параметров:

- расхода свежего пара;

- расхода питательной воды через ПВД;

- температуры воды на входе и выходе (до и после обвода) и дренажа на выходе из каждого подогревателя;

- давления пара в камерах отборов (у турбин) и в подогревателях;

- вакуума в конденсаторе;

- барометрического давления;
- температуры конденсата после конденсатора, циркуляционной воды на входе и выходе из конденсатора, до и после охладителя пара из уплотнений;
- присоса воздуха в вакуумную систему;
- давления в деаэраторе 6 кгс/см^2.

9.2. Обработка опытных данных

9.2.I. На основании опытных данных производится подсчет средних измеренных значений. 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 давлений в трубопроводах от турбины до подогревателей. Температурный напор конденсатора подсчитывается как разность температуры насыщения при измеренном давлении в конденсаторе и температуры циркуляционной воды на выходе.

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.I. Эффективность работы системы регенерации следует оценивать сравнением температуры на выходе из каждого регенеративного подогревателя с ее номинальным значением, установленным для каждого подогревателя типовыми характеристиками или в результате тепловых испытаний при наиболее рациональном режиме его эксплуатации.

9.3.2. Для сравнения 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 соответст-

Таблица 9

Результаты опытов по обследованию системы регенерации, конденсатора и подогревателей сетевой воды (на примере Молдавской ГРЭС)

№ п.п.	Показатель	Обозначения	Размерность	До капитального ремонта		После капитального ремонта		Примечание
				N =70%	N =100%	N =70%	N =100%	
1	Расход свежего пара	D_0	т/ч			-	-	
2	Расход питательной воды	$D_{п.в}$	т/ч			-	-	
3	Электрическая мощность: показания прибора	Z	Деление			-	-	$N_э^{эл} = K_I K_U C Z$ где K_I – коэффициент трансформатора тока; K_U – коэффициент трансформатора напряжения; C – цена деления прибора
4	замеренная	$N_э$	кВт			-	-	
5	Барометрическое давление	B	мм рт.ст.			759	750	
	Вакуум в конденсаторе:							
	справа сзади:							
6	измеренный вакуум	V'	мм рт.ст.			-	-	$V = V' - 0{,}000185 \times t_{pm} V' \pm \frac{\Delta H \text{ воды}}{13{,}6}$;
7	с поправкой на t_{pm} и столбик воды	V	мм рт.ст.			-	-	
8	давление	$p'_к$	кгс/см^2			-	-	
	справа спереди:							
9	измеренный вакуум	V'	мм рт.ст.			701	686	
10	с поправкой на t_{pm} и столбик воды	V	мм рт.ст.			703	688	
11	давление	$p^{II}_к$	кгс/см^2			0,0761	0,0842	
	слева сзади:							$p_к = \frac{B-V}{735{,}5}$
12	измеренный вакуум	V'	мм рт.ст.			-	-	
13	с поправкой на t_{pm} и столбик воды	V	мм рт.ст.			-	-	
14	давление	$p^{III}_к$	кгс/см			-	-	

I5	слева спереди замеренный перепад	v'	мм рт.ст			699	687	
I6	с поправкой на $t_{рт}$ и столбик воды	v	мм рт.ст			701	689	
I7	давление	$p_к^{ср}$	кгс/см^2			0,0788	0,0829	
I8	Среднее давление	$p_к^{ср}$	кгс/см^2			0,0774	0,0835	
I9	Температура конденсата после конденсатора	$t_к$	°С			39,6	44	
20	Температура насыщения в конденсаторе	$t_{нас}$	°С			40,6	42,3	
2I	Переохлаждение конденсата	Δt	°С			I,0	-	
22	Температура циркуляционной воды: на входе	$t'_{ц\,в}$	°С			24	27,5	
23	на выходе	$t_{ц\,в}$	°С			33,2	37	
24	Температурный напор конденсатора	δt	°С			6,4	7,0	$\delta t = t_{нас} - t''_{ц\,в}$
25	Скорость падения вакуума при отключенном эжекторе	$C_{вак}$	мм/мин			-	-	
	Для каждого регенеративного подогревателя (или подогревателя сетевой воды)							
I	Давление пара в камере отбора: усредненное опытное значение	$p'_{i\,отв}$	кгс/см^2			28,56	38	Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление $\frac{p_{i\,отб} - p_{iп}}{p_{iп}} = \Delta p$
2	с учетом поправок	$p_{i\,отв}$	кгс/см^2			29,26	38,6	
3	Давление в подогревателе: усредненное опытное значение	$p'_{iп}$	кгс/см^2			27,69	36,48	
4	с учетом поправок	$p_{iп}$	кгс/см^2			28,39	37,08	
5	Потеря давления в паропроводе отбора	Δp	%			2,3	4,0	
6	Температура насыщения в подогревателе	$t_{нас}$	°С			230	244,5	
7	Температура дренажа на выходе из подогревателя	$t_{i\,др}$	°С			-	-	
8	Температура воды: на входе	t'_i	°С			206	2I7	
9	на выходе	t''_i	°С			228,2	240	
I0	после обвода	$t_{обв}$	°С			227,5	24I	
II	Температурный напор	δt	°С			2,5	3,6	$\delta t = t_{нас} - t''_i$
	Для каждого выносного охладителя дренажа							
I	Температура воды: на входе	t'	°С			-	-	
2	на выходе	t''	°С			-	-	
3	Температура дренажа на входе	$t_{др}$	°С			-	-	
4	Разность температур дренажа на входе и воды на выходе	$\Delta t'$	°С			-	-	$\Delta t = t_{др} -$ ←12

вующем 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 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;

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 давлений в камерах отборов от расхода пара на турбину и зависимость температур за подогревателями от расхода пара на турбину);

г) точки или 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.раздел 9.I) не являются основанием для изменения норм $t_{п\,в}$. Нормы могут быть изменены только после проведения более детальных испытаний в широком диапазоне нагрузок с учетом возможного загрязнения трубной системы регенеративных подогревателей.

9.3.4. Главными показателями нормальной работы подогревателей сетевой воды являются поддержание минимального температурного напора и обеспечение допустимого падения давления в паропроводах, идущих 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 0,5) и температура воды за подогревателем. Эти данные наносятся на график $t_{вых} = f(P_{отб})$; если опытная точка температуры за подогревателем оказывается ниже линии номинального нагрева, требуется наладка подогревателя.

9.3.6. Эффективность работы конденсатора оценивается сравнением температурного напора и переохлаждения конденсата с нормативными значениями, а также поддержанием норм вакуума.

Нормативные данные по конденсатору, а также методике контроля за правильной эксплуатацией конденсатора и анализа технико-экономических показателей представлены 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. Разгрузить блок. По мере разгружения один корпус котла перевести на растопочную нагрузку, затем остановить. Закрыть ГПЗ-2 от этого корпуса.

Разгрузить второй корпус до растопочной нагрузки. Параметры пара номинальные.

10.1.2. Перевести защиты котла на сигнал, вывести из работы защиты блока и турбины по отключению генератора.

10.1.3. Разгрузить турбину до нуля, отключить генератор от сети.

Примечание. Изложенное в пп. 10.1.1-10.1.3 может быт видоизменено по условиям эксплуатации, однако должно быть достигнуто состояние холостого хода турбины при номинальном давлении свежего пара.

10.1.4. Открыть пусковой байпас, главную паровую задвижку закрыть.

10.1.5. Возбудить генератор для возможности измерять частоту вращения по частотомеру. Напряжение возбуждения устанавливается близким к номинальному.

10.1.6. Установить синхронизатором частоту вращения 3080-3100 об/мин.

10.1.7. Приготовиться к записи значений следующих параметров:

а) хода сервомотора ЧВД по миллиметровой шкале с точностью ± 1 мм;

б) частоты вращения по лабораторному частотомеру класса 0,2 с ценой деления 0,1 Гц.

10.1.8. Прикрывая байпас ГПЗ, уменьшать расход пара на турбину до тех пор, пока частота вращения не станет медленно понижаться. Сервомотор ЧВД при этом начнет медленно открываться. Медленного протекания этого процесса следует добиваться плавностью регулировки подачи пара.

10.1.9. С момента "страгивания" (начала перемещения) сервомотора наблюдатель у частотомера подает звуковые (световые) сигналы к фиксированию положения сервомотора и частоты тока при прохождении стрелки частотомера через целые деления (максимально через два деления).

10.1.10. При достижении полного открытия сервомотора начать увеличение расхода пара на турбину с тем, чтобы повторить фиксацию параметров на обратном ходу для получения значения нечувствительности регулирования.

Примечание. При уменьшении частоты вращения не допускать ее снижения сверх необходимой для полного открытия сервомотора во избежание опасного снижения напорного давления масла. Пусковой маслонасос системы регулирования в этой связи должен быть подготовлен к пуску.

10.1.11. При номинальном давлении пара перед турбиной на холостом ходу (3000 об/мин) записать положение сервомотора ЧВД и положение синхронизатора.

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

Опыты под нагрузкой

10.1.13. Нагрузочная характеристика может быть получена из серии в 10-12 опытов, порядок проведения которых изложен в пп.10.1.14-10.1.17.

I0.I.I4. При нормальной тепловой схеме и номинальных параметрах пара изменять нагрузку турбины в пределах от номинальной до минимально возможной по условиям режима блока. Каждая новая нагрузка устанавливается такой, чтобы получить во всем диапазоне I0-I2 точек. В каждом опыте производятся по три записи через 3-5 мин.

I0.I.I5. Допускаются следующие отклонения параметров пара:

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

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

в) отклонение вакуума ± 2 мм рт.ст.;

г) отклонение температуры свежего пара и пара промперегрева ± 6°С.

I0.I.I6. Записываются следующие параметры:

а) электрическая нагрузка по штатному проверенному прибору;

б) положение сервомотора по миллиметровой шкале;

в) давления пара перед турбиной, в линиях холодного и горячего промперегрева;

г) температура пара перед турбиной и в линии горячего промперегрева;

д) вакуум в конденсаторе по ртутному прибору;

е) барометрическое давление.

I0.I.I7. Рекомендуется изменять нагрузку турбины только в одном направлении - нагружения или разгружения.

I0.2. Обработка полученных результатов

I0.2.I. Зависимость хода сервомотора от частоты вращения строится по результатам опытов на холостом ходу без введения каких-либо поправок. После построения получаются две кривые, отражающие движение сервомотора при снижении и повышении частоты вращения.

I0.2.2. Нагрузочная характеристика, т.е. зависимость между приведенной электрической нагрузкой $N_э^{пр}$ и положением сервомотора, строится на отдельном графике по результатам опытов под нагрузкой. При этом к опытным значениям мощности вводятся поправки, учитывающие отклонение параметров пара от номинальных во время выполнения опытов:

$$N_э^{пр} = N_э^{оп}\left[\frac{p_o^н}{p_o^{оп}}\sqrt{\frac{T_o^{оп}}{T_o^н}}\left(1+\frac{\beta_{t_o}}{100}\right)\left(1+\frac{\beta_{t_{ппг}}}{100}\right)\left(1+\frac{\beta_{\Delta p_{пп}}}{10\theta}\right)\right] \pm \Delta N_{p_к}, \quad (6)$$

где $N_э^{оп}$ – опытная электрическая мощность;

$p_o^н$, $p_o^{оп}$ – номинальное и опытное значения давления свежего пара;

$T_o^н$, $T_o^{оп}(T=t+273)$ – номинальная и опытная температуры свежего пара;

β_{t_o} – поправка на отклонение температуры свежего пара от номинальной (приведена на графике рис.6,*а*);

$\beta_{t_{ппг}}$ – поправка на отклонение температуры пара промперегрева от номинальной (приведена на графике рис.7);

$\beta_{\Delta p_{пп}}$ – поправка на отклонение значения потери давления в тракте промперегрева от номинального (приведена на графике рис.8);

$\Delta N_{p_к}$ – поправка на отклонение значения вакуума от номинального (приведена на графике рис.15); для нахождения этой поправки расход пара в конденсатор 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 ее нагрузки. Так как зависимость хода сервомотора от частоты вращения состоит из двух кривых, то одной мощности из второго графика будут соответствовать две скорости вращения из первого графика и обе они переносятся на третий график.

10.3. Анализ результатов

10.3.1. 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:

$$\delta = \frac{n_{xx} - n_{ном}}{3000} 100 \qquad (7)$$

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

Первые два сравнения позволят сделать вывод о нормальном или ненормальном состоянии системы. Третье сравнение позволит сделать вывод об изменениях, которые произошли в системе регулирования. При отклонениях от норм анализ исходных графиков и их сравнение с предыдущими дадут предоставление 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 плавного ее протекания, следует продлить этот участок прямой линией в обе стороны до пересечения линии с вертикалями, проведенными из нулевой и номинальной мощностей на графике. В точках пересечения с вертикалями определить значения 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 значения местной неравномерности приведены допуски в ПТЭ. Если при сравнении окажется, что отдельные участки выходят за пре-

делы допуска, состояние системы регулирования следует считать неудовлетворительным; тогда следует проанализировать исходные графики и указать на возможные причины неполадок.

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{3000} 100 \qquad (8)$$

Сравнение максимального значения нечувствительности на характеристике со 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 СОВМЕСТНОЙ ПЛОТНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ И СОВМЕСТНОЙ ПЛОТНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ЧВД и ЧСД

11.1. Рабочая программа

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

11.1.1. Разгрузить энергоблок. По мере разгружения один корпус котла перевести на растопочную нагрузку, затем остановить. Закрыть ГПЗ-2 от этого корпуса.

Разгрузить второй корпус до растопочной нагрузки. Параметры пара номинальные.

11.1.2. Перевести защиты котла на сигнал, вывести из работы защиты блока и турбины по отключению генератора и по закрытию стопорных клапанов турбины.

11.1.3. Выполнить приготовления к проверке плотности автоматических затворов (время на приготовления лимитировано беспаровым режимом работы проточной части и не должно превышать 3 мин):

а) отключить турбину кнопкой золотников автомата безопасности. Генератор оставить включенным в сеть. Открыть БРОУ-I и БРОУ-2;

б) взвести золотники автомата безопасности и открыть синхронизатором стопорные клапаны, не открывая регулирующих;

в) расхаживающими устройствами закрыть полностью стопорные клапаны ЧВД и ЧСД. Открыть синхронизатором регулирующие клапаны;

г) проверить, поддерживают ли БРОУ давление пара перед турбиной I30 кгс/см^2, перед ЧСД 8 кгс/см^2;

д) включить пусковой маслонасос.

II.I.4. Приготовиться к записям плотности автоматических затворов и отключить генератор от сети. Записать кривую выбега ротора до I500 об/мин.

II.I.5. Выполнить приготовления к проверке плотности регулирующих клапанов:

а) восстановить нормальную частоту вращения ротора, для чего сначала закрыть регулирующие клапаны, затем открыть стопорные клапаны расхаживающими устройствами, затем синхронизатором повысить частоту вращения;

б) проверить, поддерживают ли БРОУ необходимые давления пара.

II.I.6. Приготовиться к записям плотности регулирующих клапанов, быстро закрыть синхронизатором регулирующие клапаны ЧВД и ЧСД. По мере снижения частоты вращения следить, чтобы не произошло открытия сервомотора, но также и закрытия стопорных клапанов, для этого синхронизатор следует установить примерно на 9-I0 мм по лимбу.

Записать кривую выбега ротора до I500 об/мин.

II.I.7. При испытании допустимы отклонения параметров пара: давления перед турбиной ± 5 кгс/см^2; давления перед ЧСД ± I кгс/см^2 вакуума ± 5 мм рт.ст.

II.I.8. Записываются следующие параметры:

- перед опытом и после него - давление пара перед стопорными клапанами ЧВД; давление пара перед стопорными клапанами ЧСД; вакуум в конденсаторе; барометрическое давление;

- во время опыта - частота вращения ротора (по штатному тахометру) и время по секундомеру при прохождении стрелки тахометра через каждые I00 об/мин. Время отсчитывается от момента закрытия проверяемых клапанов.

II.2. Обработка полученных результатов

II.2.I. Кривые выбега ротора от 3000 до I500 об/мин строятся на одном графике в координатах "об/мин" - "Время" без каких-либо дополнительных поправок.

II.3. Анализ результатов

II.3.I. На кривые выбега, характеризующие плотность стопорных и регулирующих клапанов, накладывается кривая "чистого" выбега - кривая выбега при полностью закрытых органах парораспределения (регулирующих и стопорных клапанах и ГПЗ). Сравнение времени выбега до I500 об/мин при закрытии проверяемого органа с временем "чистого" выбега служит критерием оценки плотности. Плотность считается удовлетворительной, если разность составляет не более 20% времени выбега до I500 об/мин для "чистой" кривой.

II.3.2. Кривая "чистого" выбега снимается после капитального ремонта и служит образцом для указанных сравнений. Особенностью ее является 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.

Ответственный редактор В.А.Кудрявцева
Технический редактор Е.И.Сапожникова
Корректоры: Т.А.Квасова
О.Н.Корчагина

Подписано к печати 29/XII 1977 г. Формат 60x84 1/6
П.л. 4,2 Уч.-изд.л. 3,7 Тираж 000 экз
Заказ № 11/78 Издат. № 241/76 Цена 5коп.

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

gost.e-ecolog.ru