

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОНICAЦИИ СССР

Главтехуправление

Главэнергоремонт

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



Союзтехэнерго

Москва 1978

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 Главэнергремонта

Составители инженеры М.Г. ТАРАШУК,
И.А. ЛАЗУТИН, Э.И. КУЛЬКОВ, И.А. КОРОТОВЦЕВ,
Н.М. КОШЕЛЬ (Белэнергоремналадка), Ю.А. АВЕРБАХ,
О.С. НАЙМАНОВ, Г.И. ЧЕРНЕНКОВА (ХФ ЦКБ Главэнергремонта).

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

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	9
5. Схема измерений при экспресс-испытаниях	9
6. Снятие характеристик системы парораспределения...	9
6.1. Рабочая программа	14
6.2. Обработка опытных данных	16
6.3. Анализ результатов	18
6.4. Примеры результирующих кривых	22
7. Проверка работы турбины с максимальной электрической нагрузкой	22
7.1. Рабочая программа	22
7.2. Обработка опытных данных	24
7.3. Анализ результатов	25
8. Оценка состояния проточной части	29
8.1. 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	41
8.6. Обработка опытных данных	41
8.7. Примеры результирующих кривых	41
8.8. Поправки к мощности турбины на отклонение начальных параметров пара от номинальных ...	41
8.9. Дополнительные поправочные коэффициенты	44
8.10. Определение КПД цилиндров высокого и среднего давления	45
9. Проверка работы системы регенерации, подогревателей сетевой воды и конденсатора	53
9.1. Рабочая программа	53

9.2. Обработка опытных данных	55
9.3. Анализ результатов испытаний	55
I0. Снятие статической характеристики системы регулирования турбины	59
I0.1. Рабочая программа опытов	59
I0.2. Обработка полученных результатов	61
I0.3. Анализ результатов	63
II. Проверка совместной плотности автоматических затворов и совместной плотности регулирующих клапанов ЧВД и ЧСД	64
II.1. Рабочая программа	64
II.2. Обработка полученных результатов	66
II.3. Анализ результатов	66

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

УТВЕРЖДАЮ:
Начальник
Главэнергремонта
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 Главэнергремонтом 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

2.1. 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 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

3.1. 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. 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 турбин в ремонт	<ol style="list-style-type: none"> 1. Получение данных для последующей оценки качества ремонта. 2. Выяснение дефектов оборудования для уточнения объема ремонта 	За 10-20 дней до начала ремонта	В полном объеме	
После выполнения ремонта	<ol style="list-style-type: none"> 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 дней 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	<ol style="list-style-type: none"> 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 парораспределения (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 точ- ности	Первичный прибор	Вторичный прибор	Пределы шкалы	Коли- чество прибо- ров	Примечание
Давление пара						
Перед стопорными кла- панами				0-160	2	
За стопорными клапа- нами				0-160	I	
За регулирующими кла- панами				0-160	4	
В камере регулирующей ступени ЦВД				0-160	I	
В камере I отбора	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-40	I	
В камере II отбора				0-25	I	
В линии холодного промперегрева				0-25	I	
В линии горячего пром- перегрева, до отсечных клапанов					2	
В линии горячего пром- перегрева за отсечными клапанами				0-25	2	
В камере III отбора				0-16	I	
В камере IV отбора				0-10	I	
В камере V отбора				0-6	I	

В камере УІ отбора	0,5-0,6		U-образный ртутный манометр	0-2,5	I
В камере УІІ отбора					4
Вакуум в конденсаторе					
На уплотнения	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-2,5	I
Перед ПНЛ № 1					I
Перед ЦС	0,5-0,6				I
Перед ПНД № 2					I
Перед ПНЛ № 3					I
Перед ПНЛ № 4					I
Перед ПВЛ № 5	0,5-0,6		Контрольный манометр	0-6	I
Перед ПВЛ № 6				0-16	I
Перед ПВД № 7				0-25	I
				0-40	I

Температура

Пар перед стопорным клапаном	0,05	Термопара ХА или ХК	Переносный потенциометр	0-50°C	2	Термометрические гильзы, бобышки, чехлы для термопар должны отвечать требованиям соответствующих стандартов.
Пар в линии горячего промперегрева					2	
Пар в линии холодного промперегрева					4	
Пар за ЦСД					4	
Циркуляционная вода на входе в конденсатор					2	
Циркуляционная вода на выходе из конденсатора					2	
Основной конденсат перед конденсатными насосами					2	
Основной конденсат перед ПНД № I			Лабораторный термометр		I	

Продолжение таблицы 2

Места измерений, измеряемая среда	Класс точ- ности	Первичный прибор	Вторичный прибор	Пределы шкалы	Коли- чество прибо- ров	Примечание
Основной конденсат за ПНД № 1					I	
Основной конденсат перед					I	
Основной конденсат пе- ред ПНД № 2					I	
Основной конденсат за ПНД № 2					I	
Основной конденсат пе- ред ПНД № 3					I	
Основной конденсат за ПНД № 3					I	
Основной конденсат за ПНД № 4					I	
Дренаж ПНД № 4					I	
Дренаж ПНД № 3					I	
Дренаж ПНД № 2					I	
Дренаж ПС					I	
Дренаж ПНД № 1					I	
Питательная вода перед ПВД № 5,6,7					I	
Питательная вода за ПВД № 7					I	
Питательная вода за обводом ПВД	0,05				I	
Лабораторный термометр				0-50°C		
Термопара ХА или ХК	0,05	Термопара ХА или ХК	Переносный потенциометр			
Лабораторный термометр				50-100°C		
Термопара ХК			Переносный потенциометр			

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 расходоме- рное сопло	Штатный расходомер	2	
Питательная вода		Штатное расходо- мерное сопло	Штатный расходомер	I	
Электрическая мощ- ность	0,2(0,5)	Штатные измери- тельные трансфор- маторы	Однофазные ваттметры	2	Ваттметры соби- раются по схеме двух ваттметров
Барометрическое давление	0,2	Ртутный барометр завод- ского изготовления		I	Допустимо изме- рение баромет- рического дав- ления проверен- ным анероидом
Пар I отсоса из переднего уплотне- ния ЦВД		Расходо- мерная ди- афрагма	Дифмано- метр ДТ-50	I	

6.1. Рабочая программа

6.1.1. 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 120–210 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 8–10 записей показаний приборов через 2–3 мин;
- е) допустимое отклонение параметров пара должно быть в пределах, приведенных в табл.3.

Т а б л и ц а 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 промпредгрева	± 8°C	± 6°C

6.1.2. При проведении опытов производится запись значений следующих параметров:

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

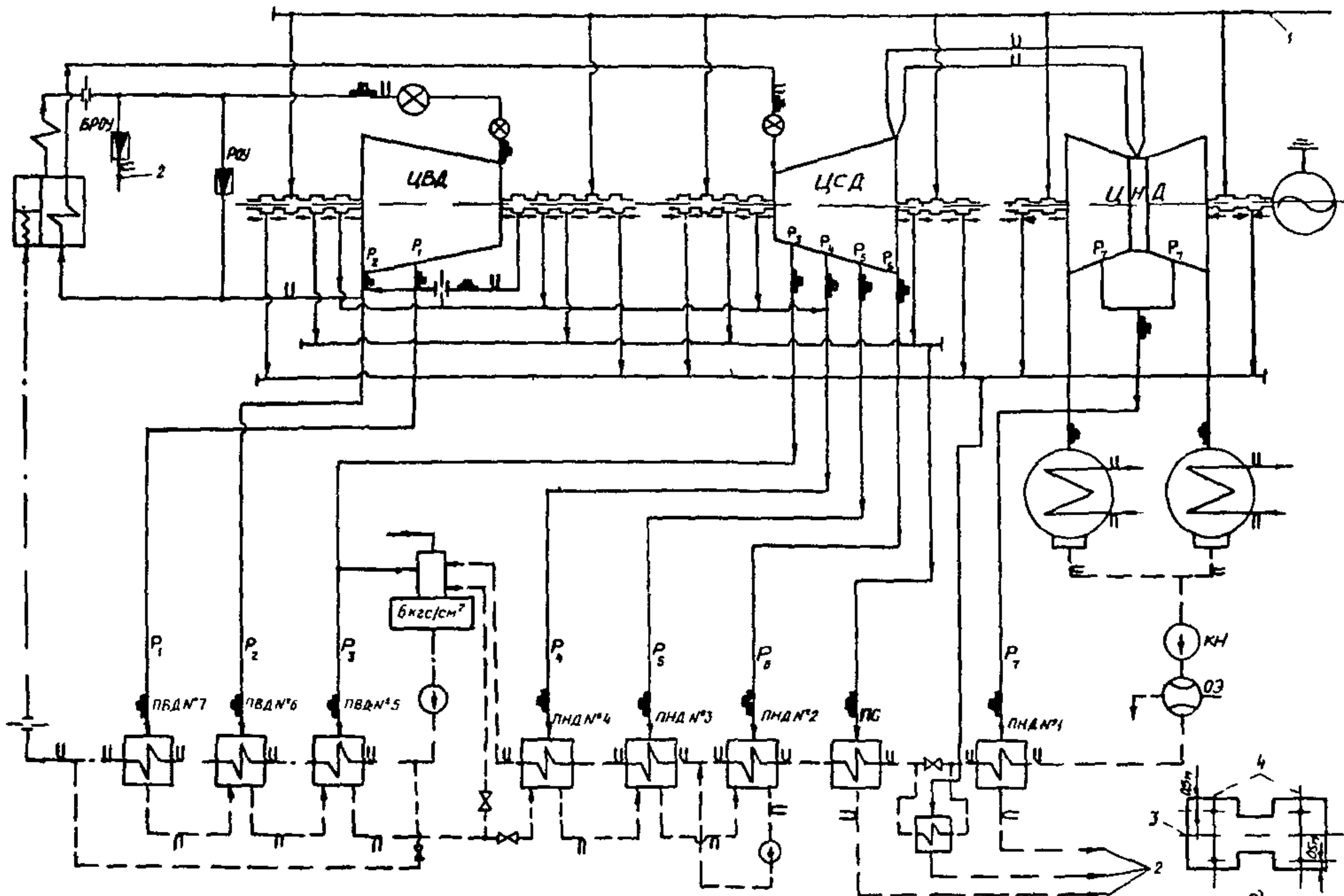


Рис. I. Схема измерений при экспресс-испытаниях турбоустановки К-200-И30 ЛМЗ:

a - расположение точек измерения давления P_K в конденсаторе; 1 - из деаэратора; 2 - в конденсатор; 3 - ось турбины; 4 - оси конденсатора; $P_1, P_2 \dots P_7$ - 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

6.2.1. 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 пеха 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 неизменных 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

$$\rho_i^{\text{пр}} = \rho_i^{\text{оп}} \cdot \frac{\rho_o^H}{\rho_o^{\text{оп}}} , \quad (1)$$

где $\rho_i^{\text{пр}}$, $\rho_i^{\text{оп}}$ – приведенное и опытное значения давлений;
 ρ_o^H , $\rho_o^{\text{оп}}$ – 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

$$D_o^{\text{оп}} = D_o^{\text{зам}} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{оп}}}{\gamma_p}} = D_o^{\text{зам}} \sqrt{\frac{\rho_o^{\text{оп}} T_o^P}{\rho_o^P T_o^{\text{оп}}}} , \quad (2)$$

где T_o^P , ρ_o^P – температура (^0K) 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

$$D_o^{\text{пр}} = D_o^{\text{оп}} A = D_o^{\text{оп}} \cdot \frac{\rho_o^H}{\rho_o^{\text{оп}}} \sqrt{\frac{T_o^{\text{оп}}}{T_o^H}} = D_o^{\text{зам}} \kappa(\rho) , \quad (3)$$

где $\kappa(\rho) = \rho_o^H \sqrt{\frac{T_o^P}{T_o^H \rho_o^P}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho_o^{\text{оп}}}} = a \frac{1}{\sqrt{\rho_o^{\text{оп}}}}$

$$\alpha = \rho_o^H \sqrt{\frac{T_o^\rho}{T_o^H \rho_o^\rho}} = \text{const.}$$

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:

$$\rho_{pcm}^{\prime\rho} = f(D_o^{\prime\rho}) ; \quad \rho_{kl}^{\prime\rho} = f(D_o^{\prime\rho}) ,$$

б) расхода пара на турбину от положения сервомотора:

$$D_o^{\prime\rho} = f(H_{ЧВД}) ;$$

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

$$h_{kl} = f(\varphi) ; \quad h_{kl} = f(H_{ЧВД}).$$

6.3.2. По характеристикам $\rho_{kl}^{\prime\rho} = f(D_o^{\prime\rho})$; $\rho_{pcm}^{\prime\rho} = f(D_o^{\prime\rho})$ 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 $h_{kl} = f(\varphi)$ отличается от заводской, то дефект - неправильная на-

стройка системы парораспределения. Если характеристика $h_{kl} = f(\varphi)$ не отличается от заводской, то дефект – люфт между штоком и клапаном. Возможны случаи сокращения проходного сечения вследствие выхода 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 парораспределения во время испытаний.

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

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

6.3.5. Диаграмма парораспределения $\rho_{kl} = f(D_o)$ должна удовлетворять требованиям заводской диаграммы. Сорыв клапана по характеристике $\rho_{kl} = f(D_o)$ 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

$$t_{bab}^{cp} = (\rho_{p,cm}^{np}) ; \quad S = f(\rho_{p,cm}^{np})$$

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

Т а б л и ц а 4

Результаты опытов по снятику хара-1 рустик системы парораспределения
(на примере Молдавской ГРЭС)

6.4. Примеры результирующих кривых

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

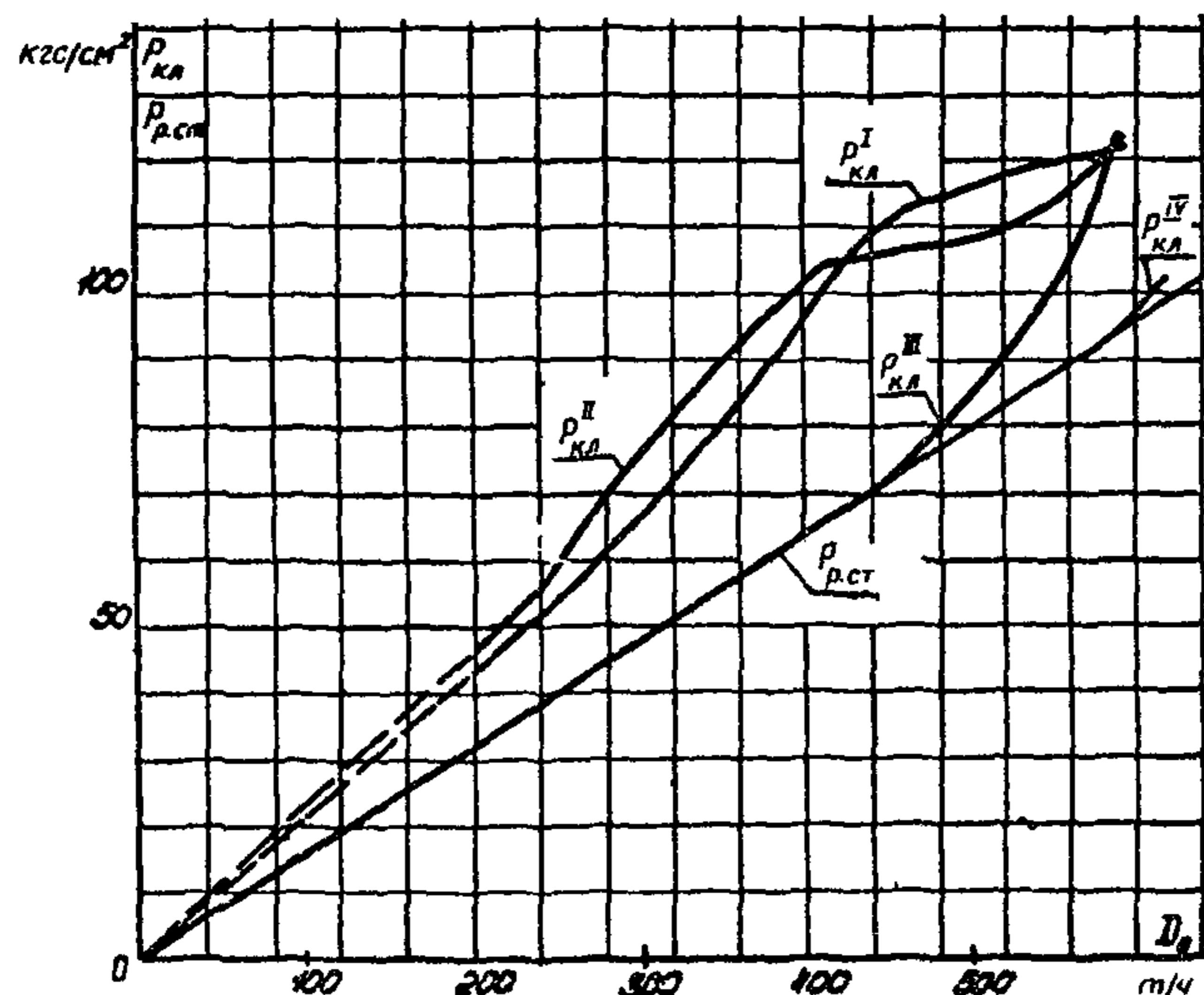


Рис.2. Диаграмма парораспределения (на примере Молдавской ГРЭС):

D_o – расход свежего пара; P_{kl} – 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 стационарным потребителям не производится;
- на турбине устанавливается максимально возможная электрическая нагрузка, нагружение прекращается при достижении предель-

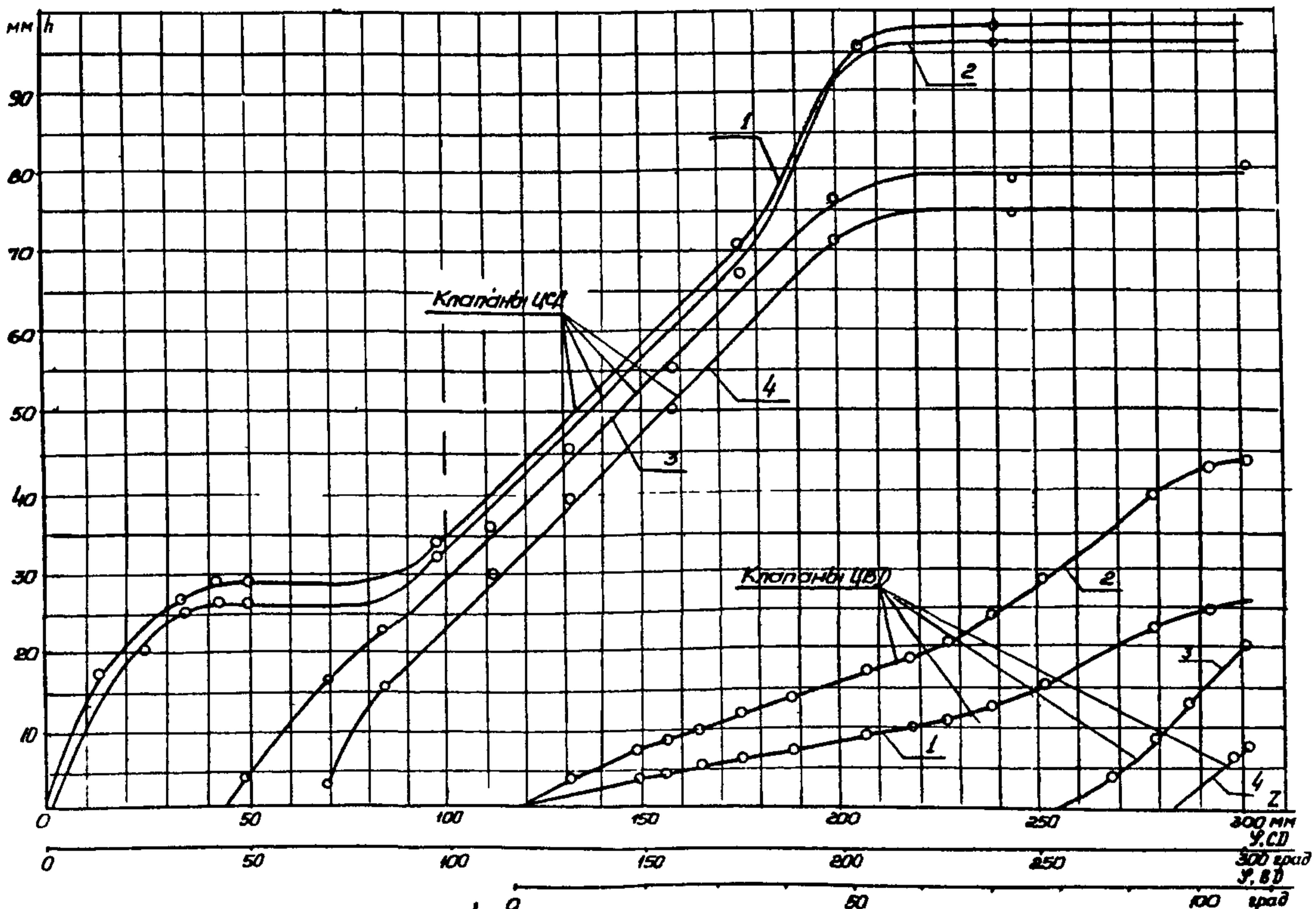


Рис.3. Зависимость хода клапанов (h) ЦВД и ЦСД от хода сервомотора и угла поворота кулачкового валика (холодная турбина) на примере Молдавской ГРЭС:

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 № 1 - 0,26 кгс/см²; на ПНД № 2 - 1,29 кгс/см²; не превышается максимально допустимая нагрузка котла и генератора; температура колодок упорного подшипника не выше 90°C);

- производится 8-10 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.

7.1.2. 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

7.2.1. 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 (составляемым) условиям (как и в серии опытов по оценке состояния проточной части).

7.2.2. Если приведенное значение давления в контуре альной 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 макс. альной 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 эскалации 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	I-й	2-й	3-й	
Давление пара перед стопорными клапанами:									
левым:									
установленное опытное значение	$p_{o,l}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	p_o'	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
правым:									
установленное опытное значение	$p_{o,p}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	p_{op}	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
среднее с учетом поправок	p_a	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Давление пара за стопорными клапанами:									
левым:									
установленное опытное значение	$p_{3,l}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	p_{3l}	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
правым:									
установленное опытное значение	$p_{3,p}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	p_{3a}	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Давление в регулирующей ступени ЦВД:									
установленное опытное значение	$p_{ст}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	$p_{ст}$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Давление в контрольной ступени ЦНД:									
установленное опытное значение:	$p_{контр}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	$p_{контр}$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Давление холодного промперегрева:									
установленное опытное значение	$p_{ппх}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	$p_{ппх}$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Давление горячего промперегрева:									
установленное опытное значение	$p_{ппг}'$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
с учетом поправок	$p_{ппг}$	$\text{кгс}/\text{см}^2$							
Барометрическое давление	B	мм рт.ст.							

Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление

Температура пара перед стопорными клапанами:	t_{on}''	°С					
левая	t_{on}	°С					
правая	t_{on}	°С					
средняя	t_{on}	°С					
Температура пара после промперегрева	$t_{пог}$	°С					
Температура пара до промперегрева	$t_{погx}$	°С					
Температура питательной воды за ПВД	$t_{вых}$	°С					
Вакуум в конденсаторе:							
справа сзади:							
замеренный вакуум с поправкой на t_{pm} и столбик воды давление	V' p_k^x	мм рт.ст. кгс/см ²					
справа спереди:	V' p_k^x	мм рт.ст. кгс/см ²					
замеренный вакуум с поправкой на t_{pm} и столбик воды давление	V' p_k^x	мм рт.ст. кгс/см ²					
слева сзади:							
замеренный вакуум с поправкой на t_{pm} и столбик воды давление	V' p_k^x	мм рт.ст. кгс/см ²					
слева спереди:							
замеренный вакуум с поправкой на t_{pm} и столбик воды давление	V' p_k^x	мм рт.ст. кгс/см ²					
среднее давление	p_k	кгс/см ²					
Поправочный коэффициент к расходу свежего пара на отклонение параметров свежего пара	A	-					
Расход свежего пара:							
усредненное опытное значение с учетом поправок	$D_o^{зам}$ $D_o^{опт}$	т/ч					
приведенный	D_o^{pp}	т/ч					

$$V = V' - 0,0001815 \cdot t_{pm} V_1 \\ \pm \frac{\Delta H_{воды}}{13,6}$$

$$p_k = \frac{B - V}{735,5}$$

Рис.9

$$D_o^{опт} = D_o^{зам} \sqrt{\frac{p_o^{опт} T_o^{опт}}{T_o^{зам} p_o^{зам}}}; \\ D_o^{pp} = D_o^{опт} \cdot A$$

Окончание таблицы 5

Наименование	Созначение	Размерность	До капитального ремонта		После капитального ремонта		Примечание
			Режимы				
			1-й	2-й	3-й	1-й	2-й
Приведенное давление в реулирующей ступени ЧРТ	$\rho_{\text{рст}}^{\text{ЧРТ}}$	кгс/см ²					
Приводимое давление в контрольной ступени РНД	$\rho_{\text{рст}}^{\text{РНД}}$	кгс/см ²					
Мощность генераторов показания приборе замеренной	N_g	Давление кВт					$N_g = n_2 K_d C_2$, где K_d - коэффициент трансформации, C_2 - коэффициент сопротивления, n_2 - частота вращения
Расход циркуляционной воды через РВД	$D_{\text{рвд}}$	л/с					По 1 зоне
Фиктивная температура сухого пара	$t_p^{\text{Ф}}$	°C					По 1 зоне
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение t_o от名义альной	β_{t_o}	%					Рис.6, а
Поправочный коэффициент мощности на отклонение p_o от名义ального	β_{p_o}	%					Рис.6, б
Поправочный коэффициент мощности на отклонение падения давления в тракте промперегрева	$\beta_{\Delta p_{\text{пп}}}$	%					Рис.8
Поправочный коэффициент к мощности на отклонение температуры пара промперегрева	$\beta_{t_{\text{пп}}}$	%					Рис.7
Поправка к мощности на давление в конденсаторе	ΔN_{p_k}	кВт					По универсальной кривой
Электрическая мощность при名义альных условиях	$N_3^{\text{НР}}$	кВт					$N_3 = A / (N_3^{\text{НР}} + \Delta N_{p_k}) (1 + \frac{\Delta p}{100})$
Осьевой сдвиг роторов.							
РВД	$S_{\text{РВД}}$	мм					
РСД	$S_{\text{РСД}}$	мм					
... .							
Относительное положение роторов							
РВД	$\Delta l_{\text{РВД}}$	мм					
РСД	$\Delta l_{\text{РСД}}$	мм					
РНД	$\Delta l_{\text{РНД}}$	мм					
Нагрев масла в опорных подшипниках							
подшипник № 1	t_{n_1}	°C					
подшипник № 2	t_{n_2}	°C					
подшипник № 3	t_{n_3}	°C					
подшипник № 4	t_{n_4}	°C					
Температура колодок упорного подшипника							
рабочие колодки	$t'_{\text{уп}}$	°C					
максимальная	$t''_{\text{уп}}$	°C					
минимальная	$t_{\text{уп}}$	°C					
средняя							
нерабочие колодки	$t'_{\text{нр}}$	°C					
максимальная	$t''_{\text{нр}}$	°C					
минимальная	$t_{\text{нр}}$	°C					
средняя	$t_{\text{ср}}$	°C					
Положение синхронизатора	$Z_{\text{син}}$	Делен.					

8. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

8.I. Рабочая программа испытаний

8.I.1. 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 № 1 и 2 остаются включенными по нормальной схеме;
- в) отключить пар на испарители и другие нужды электростанции,
- г) отключить РУ 30/6, БРОУ 1,2;
- д) закрыть пар на деаэратор 6 кгс/см² 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, перегуских 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.

8.1.5. Запись показаний приборов производится после стабилизации режима с периодичностью 3-4 мин; запись мощности генератора - через 1 мин. Продолжительность опыта - 30 мин.

8.1.6. Допустимое отклонение параметров во время опытов в соответствии с табл.3.

8.1.7. После окончания опыта продуть паропроводы отборов и снова закрыть дренажи.

8.1.8. Опыты повторить еще при трех нагрузках (примерно 110, 140 и 170 МВт).

8.1.9. В перерывах между опытами накапливать в конденсаторе 6 кгс/см² подачей на конденсатор химически очищенной воды или конденсата из БЗК.

8.1.10. Расход пара через последнюю ступень турбины не должен превышать 426 т/ч, давление в камерах отборов не должно быть более: на ПНД № 1 - 0,26 кгс/см², ПНД № 2 - 1,29 кгс/см², в ресивере - 1,29 кгс/см².

8.1.11. До проведения опытов ответственный исполнитель подготовляет данные для заполнения табл.6.

8.1.12. 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, ГУ, У, У1, 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 № 1,2 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.

Т а б л и ц а 6

Проверка готовности схемы турбоустановки
к проведению экспресс-испытаний проточной части

Наименование проверочных операций и рольных величин	Отметка о состоянии
I. Наличие уровней конденсата в конденсаторе и ПНД № 1,2	
2. Температуры конденсата (проверка надежности отключения регенерации):	
за ПНД № 2	
за ПНД № 4	
на входе в ГВД	
на выходе из ГВД	
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:	
ГВД	
ПНД	
7. Проверка отключения впрыска в промперегрев	
8. Перечень используемых манометров с указанием их заводского номера и класса. Давление по отборам:	
P_0	
$P_{p,ст}$	
P_I	
P_2	
P_3	
P_4	
P_5	
P_6	
P_7	
P_K	

Наименование проверочных операций или контрольных величин	Отметка о состоянии
Давление за регулирующими клапанами:	
$P_{I\text{ кл}}$	
$P_{II\text{ кл}}$	
$P_{III\text{ кл}}$	
$P_{IV\text{ кл}}$	
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

8.2.1. 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: $t_a'' = 540^{\circ}\text{C}$, $t_m'' = 540^{\circ}\text{C}$, $P_a'' = 130 \text{ кгс}/\text{см}^2$, $P_k'' = 0,035 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

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 $P_2'' = f(P_{\text{контр}})$.

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 $P_1 = f(P_{\text{контр}})$ и $N_9''' = f(P_{\text{контр}})$ поправки на ряд давлений (P_2 , $P_{\text{прг}}$, 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 $P_{P\text{ст}}$ и в первом отборе P : на температуру пара промперегрева κ_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 № 1 и 2- K_p, K_{p_2} ;
- к мощности: на начальные параметры пара $\beta_{t_o}, \beta_{P_o}, \beta_{t_{mn}}$, потерю давления в тракте промперегрева $\beta_{\Delta P_m}$, температуру пара промперегрева K_t , $\cos\varphi(\beta_{\cos\varphi})$, конечное давление ΔN_p 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 $P_{p,ct}$ 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_3^{np}/P контр необходимо иметь в виду, что линия $N_3^{np}=f(P_{\text{контр}})$ 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. $N_3^{np}=f(P_{\text{контр}})$; $P_i=f(P_{\text{контр}})$.

Кроме того, зависимость $N_3^{np}=f(P_{\text{контр}})$ строится еще для двух давлений - $P'_{\text{контр}}=P_4$; $P''_{\text{контр}}=P_5$, 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	$\rho_3^{оп}$	кгс/см ²	
3	Начальное давление	-"	$\rho_0^{оп}$	кгс/см ²	
4	Начальная температура	-"	$t_0^{оп}$	°С	
5	Давление:				
5	в регулирующей ступени	-"	$\rho_{ст}^{оп}$	кгс/см ²	
6	в I отборе (ПВД № 7)	-"	$\rho_1^{оп}$	вгс/см ²	
7	во II отборе (ПВД № 6)	-"	$\rho_2^{оп}$	кгс/см ²	
8	в ГУ отборе (ПНД № 4)	-"	$\rho_4^{оп}$	кгс/см ²	
9	в У отборе (ПНД № 3)	-"	$\rho_5^{оп}$	кгс/см ²	
10	в УI отборе (ПНД № 2)	-"	$\rho_6^{оп}$	кгс/см ²	
11	в УP отборе (ПНД № 1)	-"	$\rho_7^{оп}$	кгс/см ²	
12	за турбиной	-"	$\rho_k^{оп}$	кгс/см ²	
13	Расход свежего пара / расход конденсата	-"	D_p/W	т/ч / т/ч	
14	Давление перед отсечными клапанами ЦСД	-"	$P_{пл}$	кгс/см ²	
15	ПНД № 1:				
15	температура за выходе	-"	$t_{бых}$	°С	
16	температура за входе	-"	t_{bx}	°С	
17	ПНД № 2:				
17	температура на выходе	-"	$t_{бых}$	°С	
18	температура на входе	-"	t_{bx}	°С	
19	Температура пара промперегрева	-"	$t_{пп}^{оп}$	°С	
20	Поправочный коэффициент на $t_{пп}^{оп}$	Рис. 10	K_t	-	
21	Приведенное давление за ЦВД	Рис. II	P_e^H	кгс/см ²	
22	Коэффициент	Рис. 9	A	-	
23	Отношение давлений	$P_e^H / \rho_2^{оп} A$	ε_A	-	
24		$P_0^{оп} / \rho_2^{оп}$	ε_L	-	
25	Коэффициент $K_2 = f(\varepsilon_A, \varepsilon_L)$	Рис. 12	K_2	-	
26	Приведенное давление в регулирующей ступени	$\rho_{ст}^{оп} K_2 / K_t$	$P_{ст}^{пр}$	кгс/см ²	
27	Отношение давлений	$P_2^{оп} / \rho_2^{оп}$	ε_L	-	
28	Коэффициент $K_2 = f(\varepsilon_A, \varepsilon_L)$	Рис. 12	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 $t_{пп}^{оп}$ для давлений:				
30		Рис. 18	$K_{\varepsilon_A}^1$	-	
31		Рис. 18	$K_{\varepsilon_L}^1$	-	
32		Рис. 18	K_{t1}	-	

33	Приведенное давление в У отборе	$\rho_5^{op} K'_t_3$	ρ_5^{np}	кгс/см ²
34	Разность температур на ПНД № 2	$t_{вых} - t_{bx}$	Δt_2	°C
35	Поправочный коэффициент на Δt_2 для ПНД № 2	Рис.16	K_{ρ_2}	-
36	Приведенное давление в УІ отборе	$\rho_6^{op} K'_t_4 K_{\rho_2}$	ρ_6^{np}	кгс/см ²
37	Разность температур на ПНД № 1	$t_{вых} - t_{bx}$	Δt_1	°C
38	Поправочный коэффициент на Δt_1 для ПНД № 1	Рис.16	K_{ρ_1}	-
39	Приведенное давление в УІІ отборе	$\rho_7^{op} K'_t_5 K_{\rho_1} K_{\rho_2}$	ρ_7^{np}	кгс/см ²
40	Электрическая мощность	Измерение	$N_{оп}$	кВт
	Поправочный коэффициент к N^{op} на:			
41	ρ_o	Рис.6, б	β_{ρ_o}	%
42	t_o	Рис.6, а	β_{t_o}	%
43	t_m	Рис.7	β_{t_m}	%
44	Δp_m	Рис.8	$\beta_{\Delta p_m}$	%
45	$\cos \psi$	Рис.14	$\beta_{\cos \psi}$	%
46	ϵ_{pp}	Рис.10	$-\kappa_t$	%
47	включение ПНД № 1	Рис.17	K_{N_1}	%
48	включение ПНД № 2	Рис.17	K_{N_2}	%
49	• • • • •			
50	Сумма коэффициентов пп. 41-49		$\Sigma \beta + \Sigma K$	%
51	Поправка на конечное давление	Рис.15	ΔN_{p_K}	кВт
52		$N^{op} \pm \Delta N_{p_K}$	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_3^{np}	кВт
55	Тарировочная поправка к измеренной мощности	-	ΔN_t	кВт
56	Приведенная электрическая мощность с учетом п.55	$N_3 = N_3' \pm \Delta N_t$	N_3^{np}	кВт
	Оценка состояния концевых уплотнений			
(1)	Отсос пара из камеры:	Измерение	$H_{улл}$	мм рт.ст.
(2)	перепад на дифманометре	To же	$P_{улл}$	кгс/см ²
(3)	давление среды	-"-	$t_{улл}$	°C
(4)	температура среды	-"-	$G_{улл}$	т/ч
	расход пара из уплотнения	-"-		
(5)	Отсос пара из камеры:	Измерение	$H_{улл}$	мм рт.ст.
(6)	перепад на дифманометре	-"-	$P_{улл}$	кгс/см ²
(7)	давление среды	-"-	$t_{улл}$	°C
(8)	температура среды	-"-	$G_{улл}$	т/ч
	расход пара из уплотнения	-"-		
(9)	Расход конденсата через ПС	измерение	W	т/ч
(10)	Температура пара на входе в ПС	To же	t_{bx}	°C
(11)	Температура пара на выходе из ПС	-"-	$t_{вых}$	°C
I2	Расход пара из уплотнения на ПС	$G_{сп} = W(t_{вых} - t_{bx})$	$G_{сп}$	т/ч

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

При анализе результатов испытаний учитываются данные всех графиков.

Примечание. Если за $P_{\text{контр}}$ 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 $P_{\text{контр}}$.

Таблица 8
Отношения давлений ($P_i / P_{\text{контр}}$) и мощности ($N_3^{\text{пр}} / P_{\text{контр}}$)
(обработка опытных данных)

Номер блока								Средние значения
Дата испытания								
$P_{\text{ст}}^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								6,6
$P_1^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								2,95
$P_2^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								2,04
$P_4^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								0,55
$P_5^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								0,23
$P_6^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								0,12
$P_7^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								0,05
$P_2^{\text{пр}} / P_{\text{плг}}^{\text{пр}}$								1,15
$N_3^{\text{пр}} / P_3^{\text{пр}}$								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

8.3.1. 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. 19 и 20.

8.3.3. 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-то причинам невозможно, длительность и количество измерений в каждом опыте должны быть увеличены в 1,5 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 чоправок, 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_{rest} , 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_c (давление на ПВД № 5). В первом же се-

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

$$\rho_{\text{плг}}^{\text{пр}} / \rho_{\text{контр}} ; \rho_4^{\text{пр}} / \rho_{\text{контр}} ; \rho_5^{\text{пр}} / \rho_{\text{контр}} ; N_3^{\text{пр}} / \rho_{\text{контр}}$$

Полученные значения сравниваются с результатами предыдущих испытаний. Как правило, эти отношения остаются неизменными либо снимаются в незначительных пределах (до 1-2%).

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 несогласия в давлениях не будет обнаружена и устранена, за $\rho_{\text{контр}}$ принимается давление ρ_4 или ρ_5 , которое окончательно проверяется после обработки всех данных и построения зависимости $P_t = f(\rho_{\text{контр}})$.

8.4.3. Зависимость $N_3^{\text{пр}} = f(\rho_{\text{контр}})$ 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 $P_t = f(\rho_{\text{контр}})$. 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 (с более низким) 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 $N_3^{pp} = f(P_{контр})$ 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 $N_3^{pp} = f(P_{контр})$ 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 - $N_3^{np} = f(\rho_3)$ (на примере Молдавской ГРЭС) приведена на рис.4.

8.7.2. Зависимость давления в отборах от давления в контрольной ступени - $\rho_t = f(\rho_3)$ (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 - $A = f(\rho_o^{op}, t_o^{op})$ - приведен на рис.9.

8.8.5. Поправочный коэффициент на изменение температуры пара промперегрева $K_t = \sqrt{\frac{T_{op}''}{T_{op}}}$ приведен на рис.10.

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

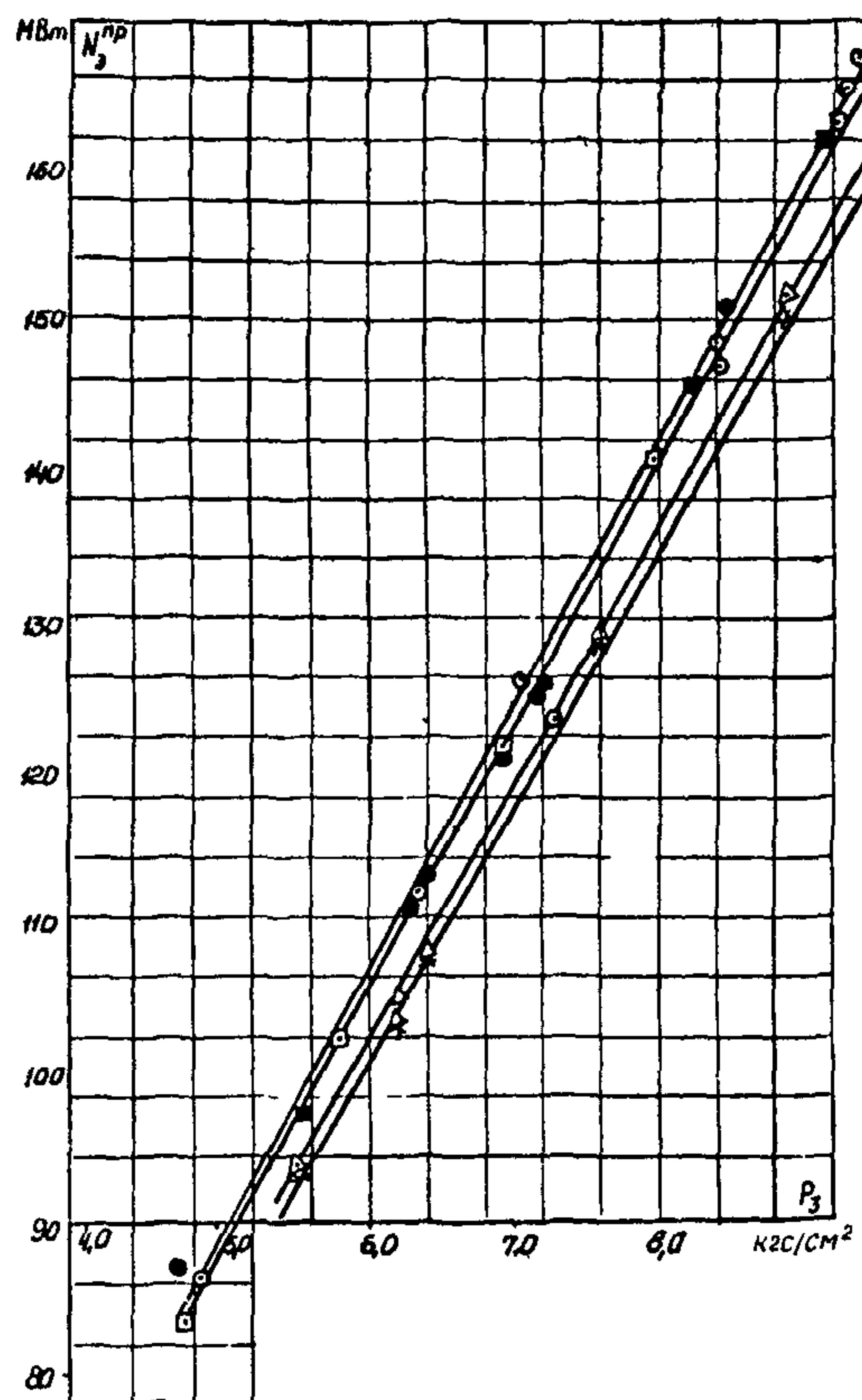


Рис.4. Зависимость мощности турбины от давления в контрольной ступени $N_3^{np} = f(P_3)$ (на примере Молдавской ГРЭС):

Δ - испытание до капитального ремонта, март 1971 г.; * - испытание до капитального ремонта, март 1972 г.; ○ - испытание после капитального ремонта, июнь 1972 г.; ● - испытание после капитального ремонта, август 1972 г.; □ - текущие испытания, январь 1973 г.; ■ - текущие испытания, февраль 1974 г.

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

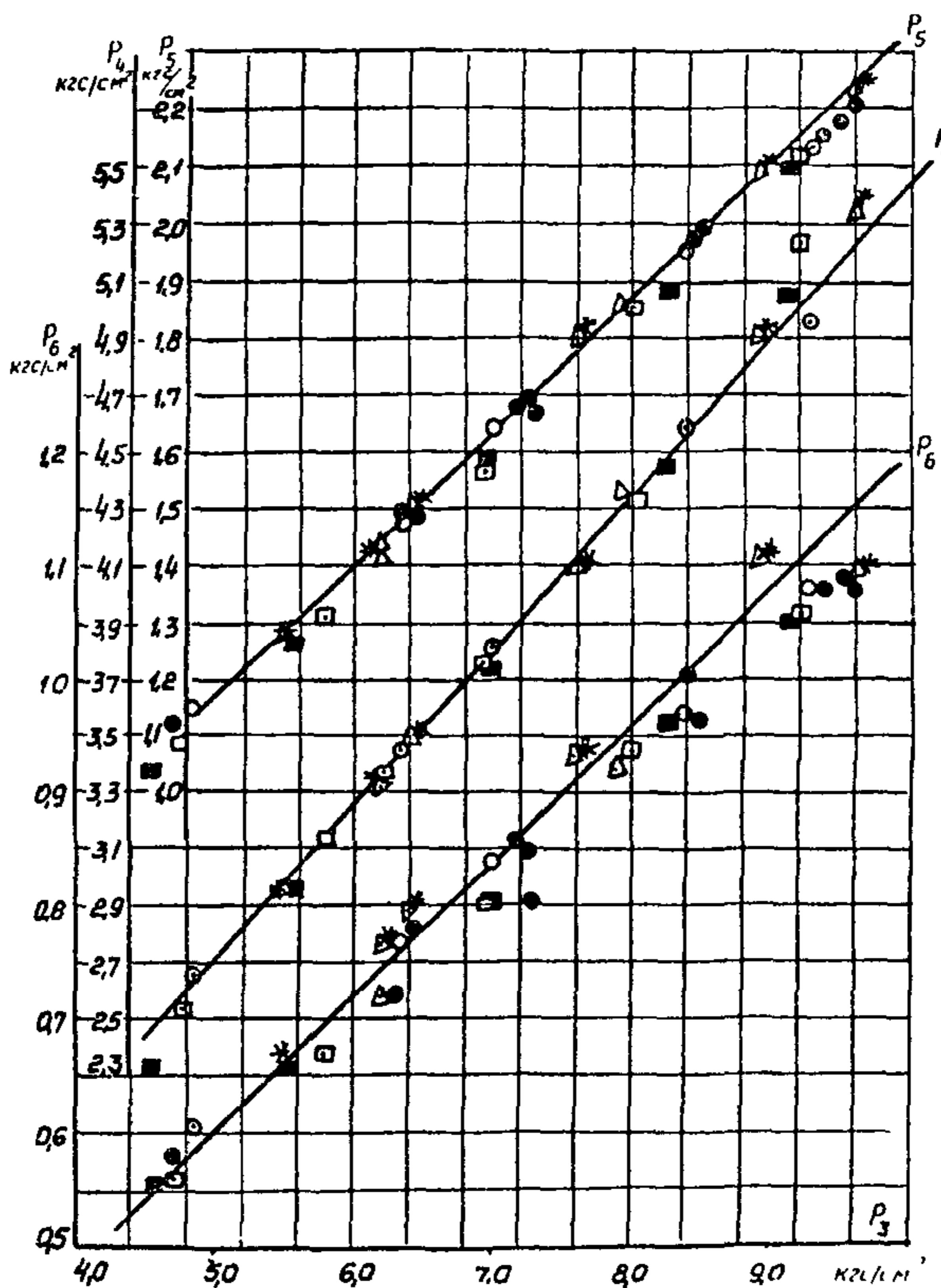


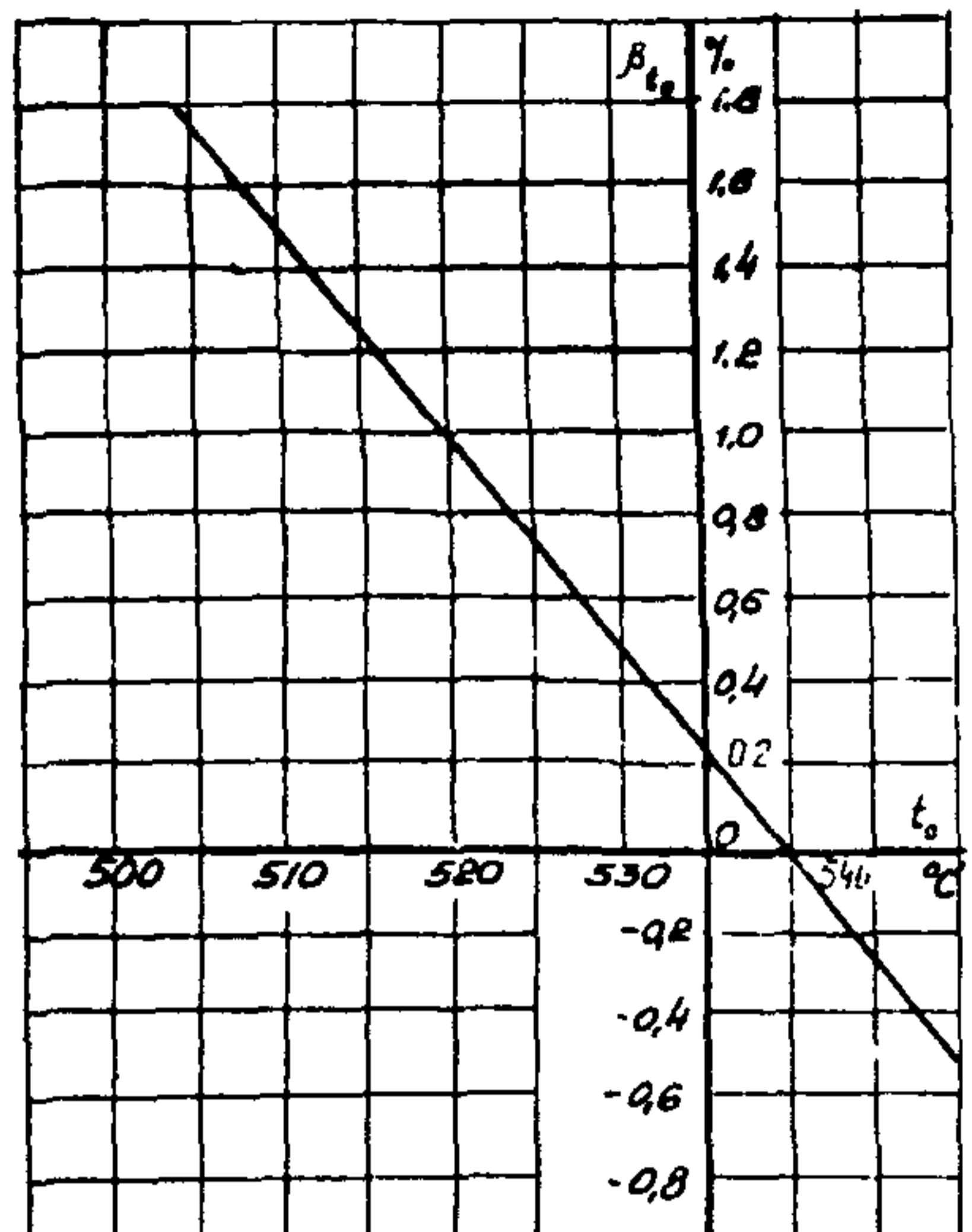
Рис. 5. Зависимость давлений в отборах от давления в контрольной ступени $P = f(P_3)$
(на примере Молдавской ГРЭС)

Условные обозначения см. рис. 4

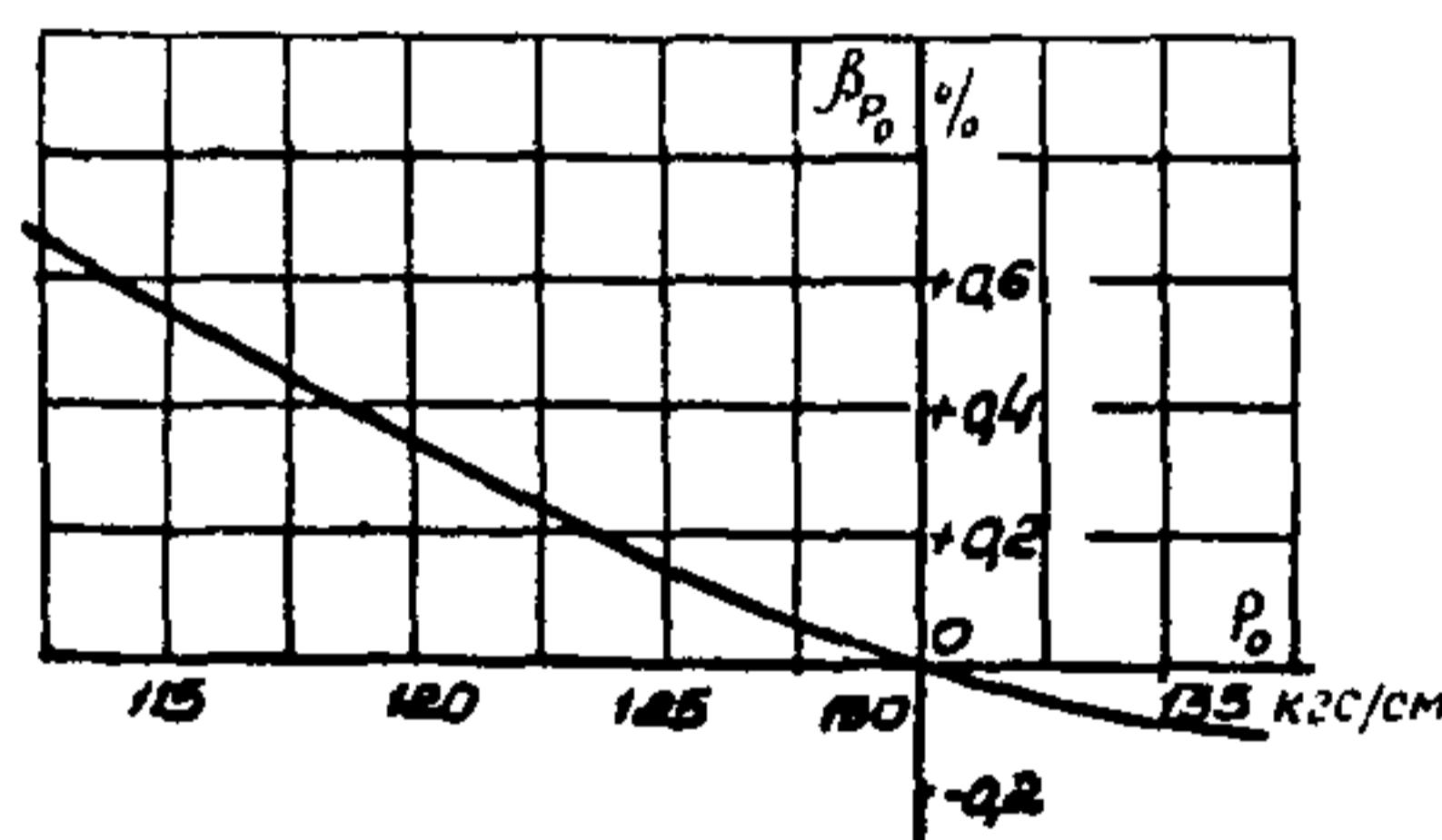
8.8.8. Поправка для приведения показаний ртутного манометра и барометра с латунной шкалой к 0°C и поправка к давлениям в отборах на изменение КПД ЦСД приведены на рис. I3.

8.8.9. Поправка к мощности на отклонение $\cos \varphi$ от номинального приведена на рис. I4.

8.8.10. Поправка к мощности на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе приведена на рис. I5.



a)



b)

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. I6.
- 8.9.2. Зависимость $K_{N_i}^L = f(\Delta t, \rho)$ приведена на рис. I7.
- 8.9.3. Зависимость $K_t' = f(P_i, \Delta t_{pp})$ приведена на рис. I8.
- 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. I9 и 20.

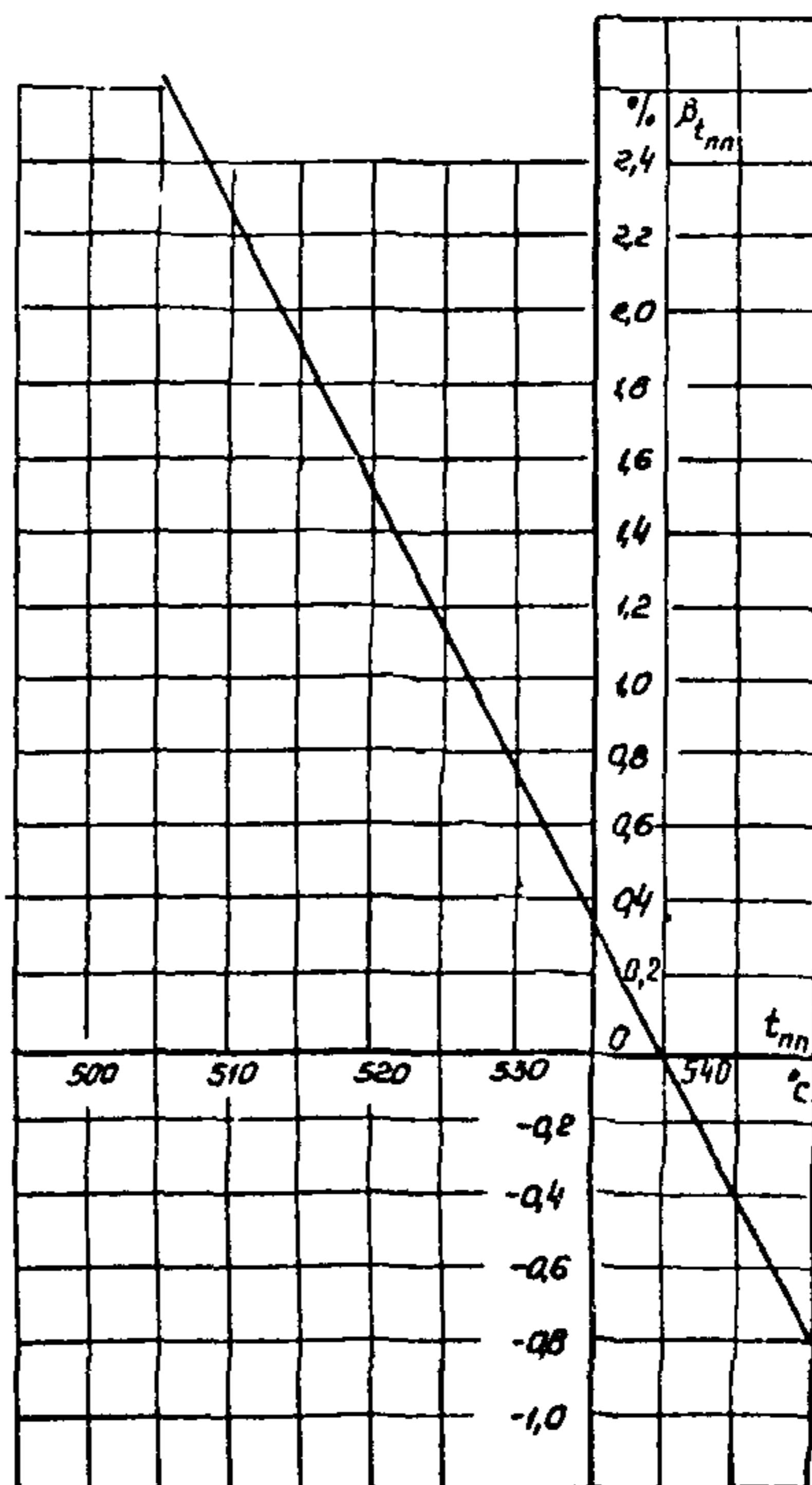


Рис.7. Поправка к мощности на отклонение температуры пара промперегрева от номинальной (по данным ВТИ им.Ф.Э.Дзержинского)

П р и м е ч а н и я: 1. Приведенные патления в отборах $P_3 - P_7$ - из табл.7; в случае $D_{B_{пр}} \neq 0$ приводятся к номинальному режиму без впрыска по формуле $\frac{P_{l пр}}{P} = \frac{N_3' + \Delta N_t}{N_3}$; приведенная мощность - по формуле $N_3' = \frac{N_3 + \Delta N_t}{K_{N_{B пр}}}$.
 2. Зависимости $P = f(P_{контр})$, $N = f(N_{контр})$ строятся по приведенным значениям $P_l пр$, $N_3 пр$.

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.

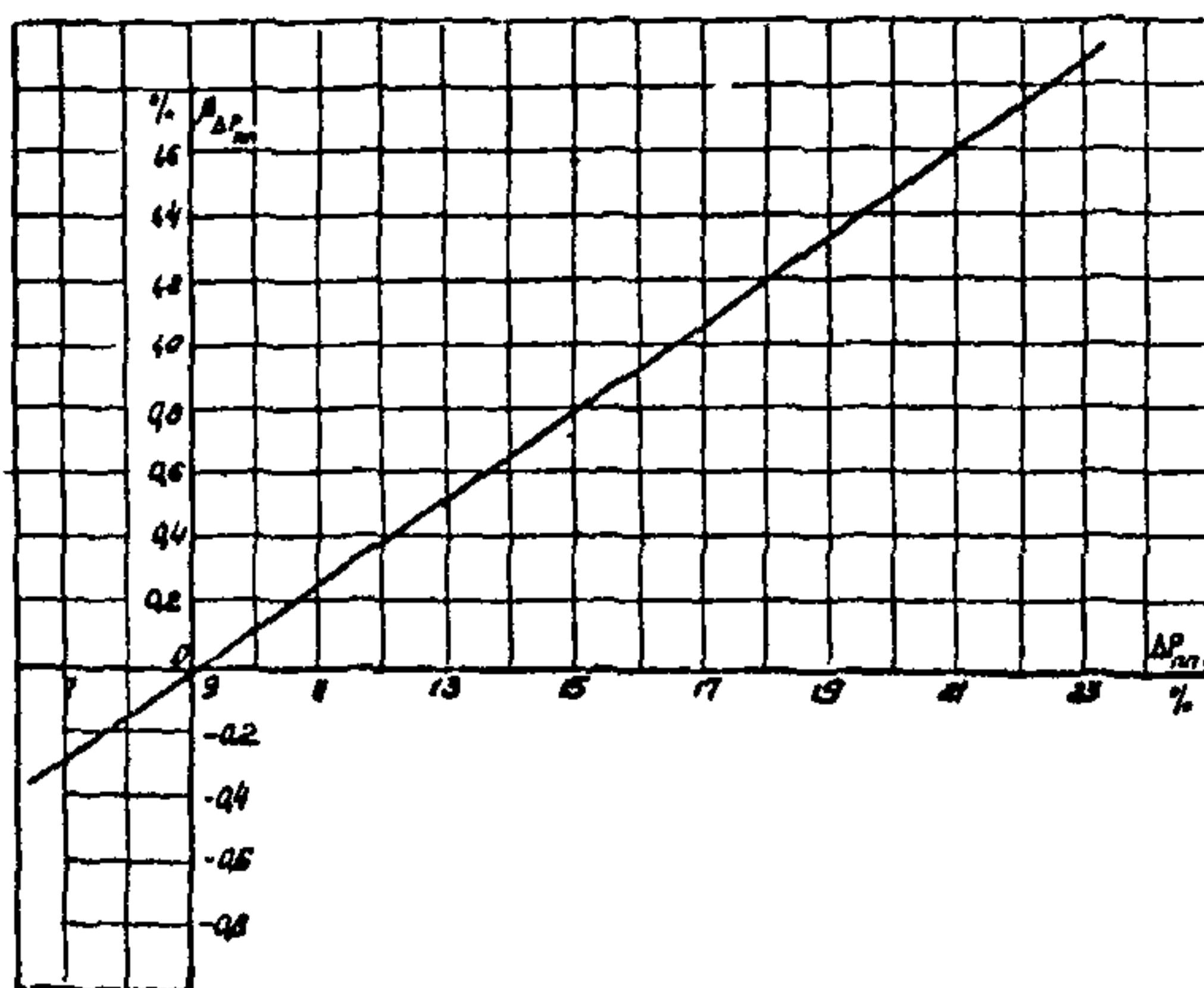


Рис.8. Поправка к мощности на изменение потери давления в тракте промперегрева (по данным ВТИ им.Ф.Э. Дзержинского)

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

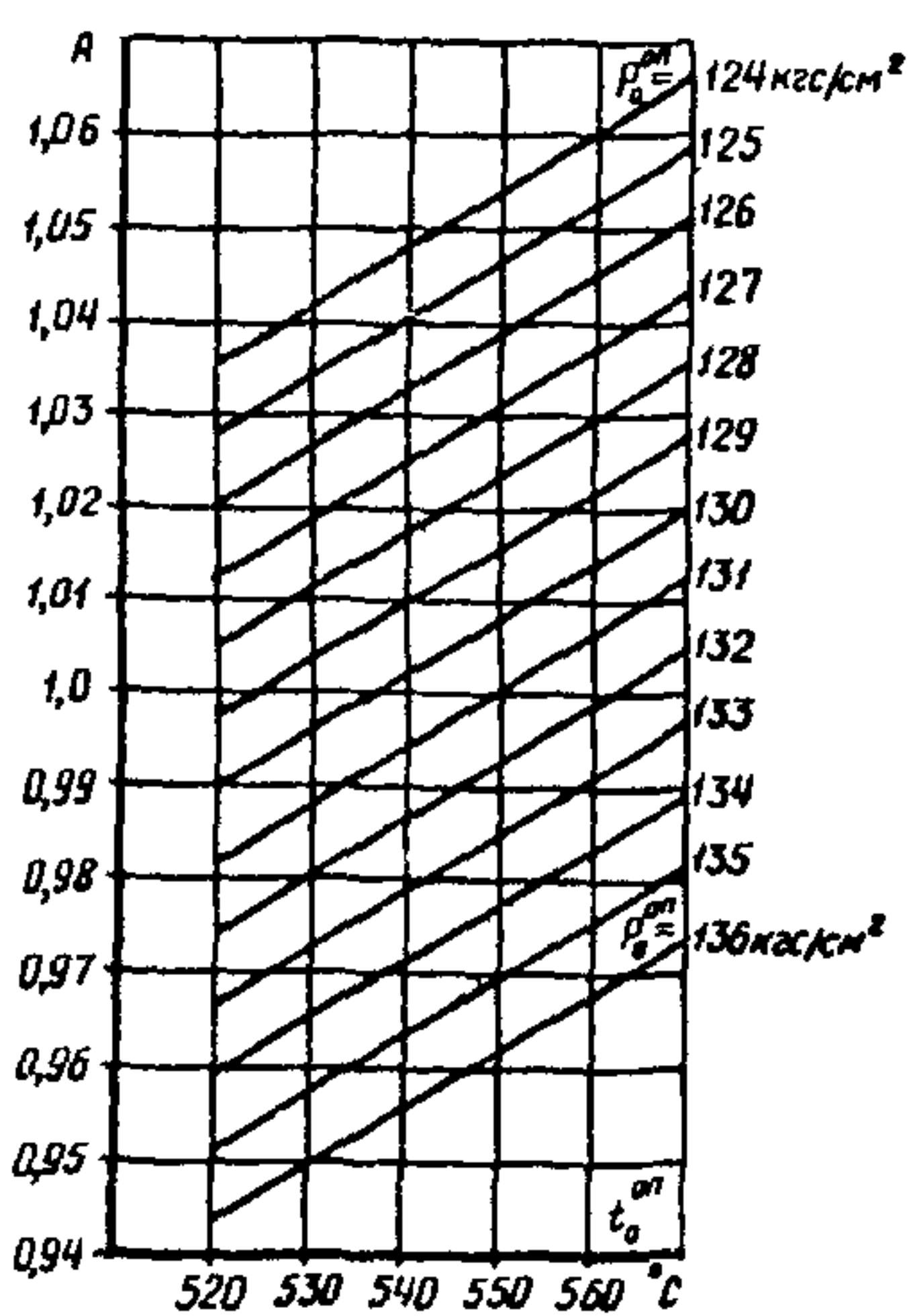


Рис.9. Поправочный коэффициент на изменение начального давления и температуры пара:

$$A = f(p_o^{\text{оп}}, t_o^{\text{оп}});$$
$$A = \frac{p_o^H}{p_o^{\text{оп}}} \sqrt{\frac{T_o^{\text{оп}}}{T_o^H}},$$

где T - абсолютная температура, $^{\circ}\text{К}$

Рис. I0. Поправочный коэффициент на изменение температуры пара промперегрева:

$$\kappa_t = \sqrt{\frac{T_{pp}^H}{T_{pp}^{op}}},$$

где T – абсолютная температура, $^{\circ}\text{К}$

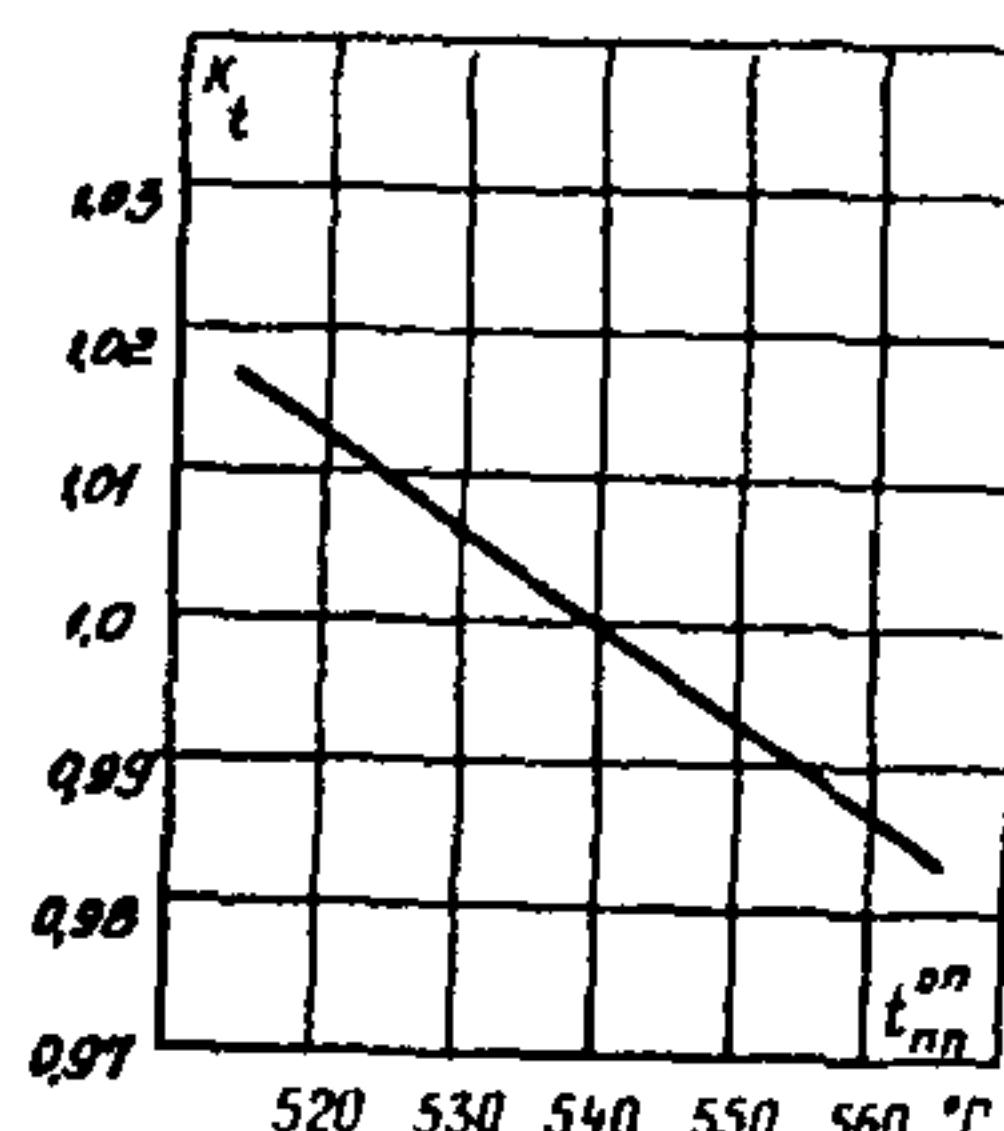
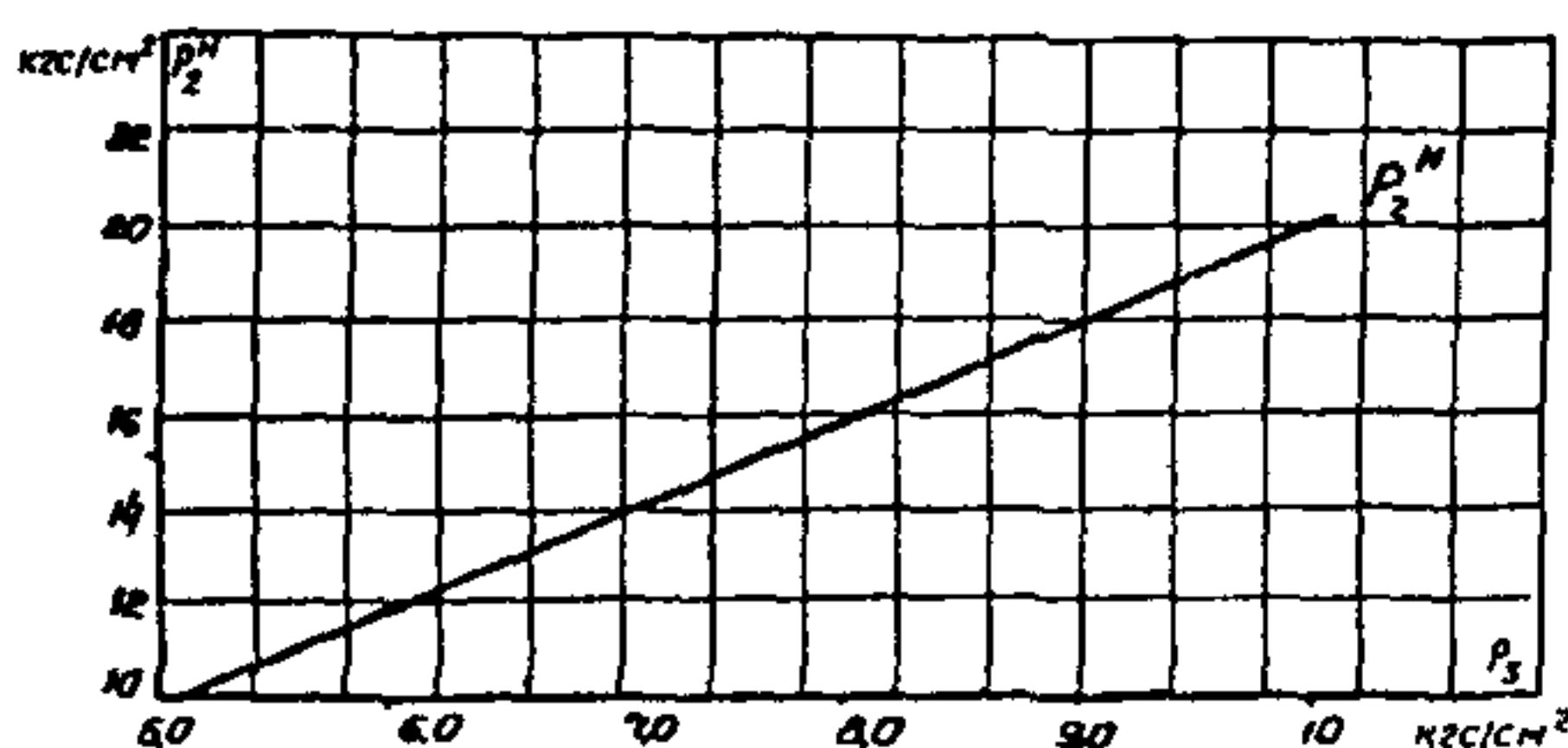


Рис. II. Зависимость приведенного давления за ЦВД от давления в контрольной ступени



Для получения достоверного значения КПД цилиндра необходимо обеспечить измерения температур с точностью $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

8.10.1. 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.

8.10.2. 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.

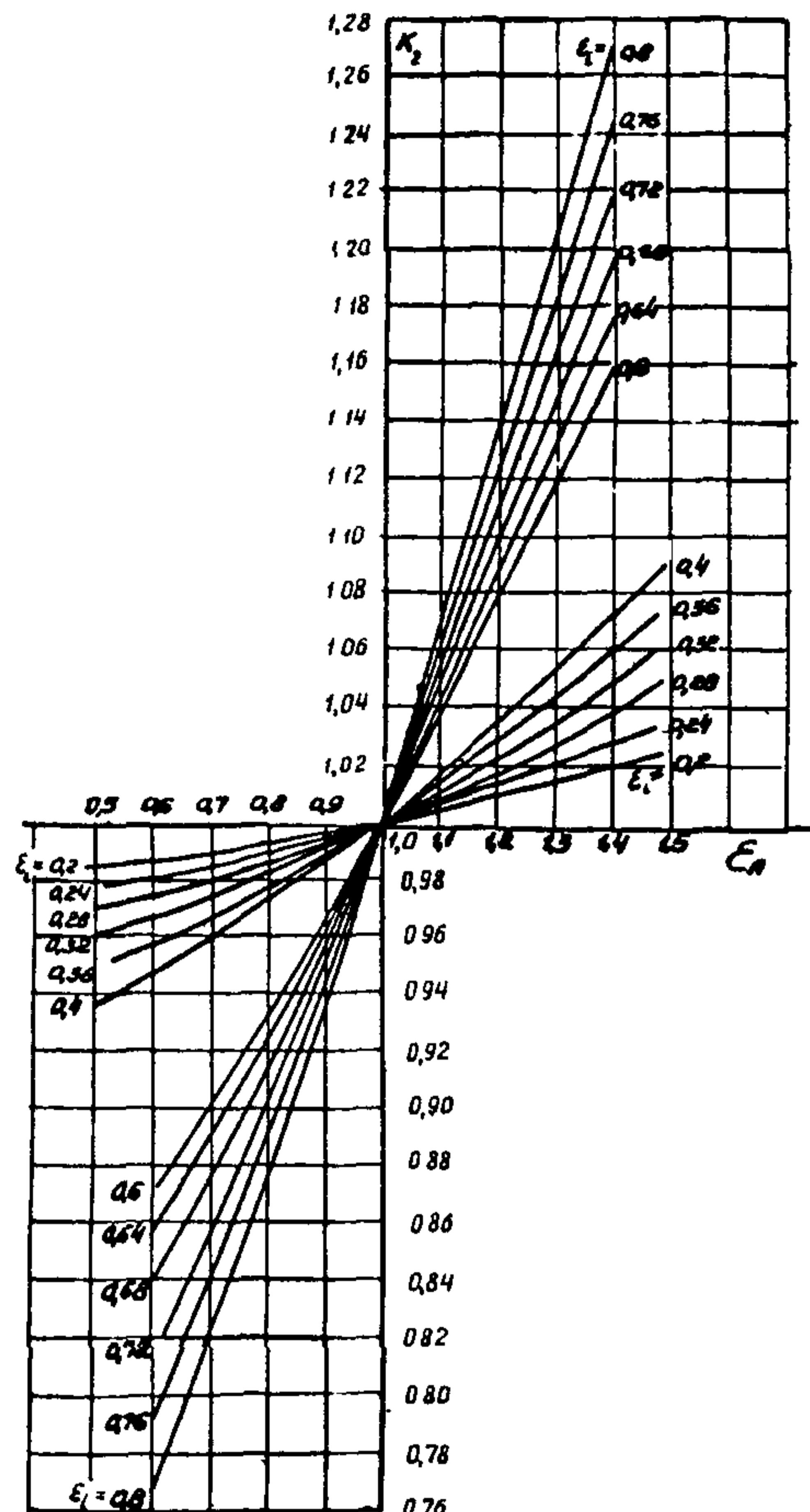


Рис. 12. Поправочный коэффициент для пересчета давлений по формуле Флюгеля:

$$K_2 = f(E_A, E_i); \quad E_A = \frac{\rho^H}{\rho^{оп} \cdot A} \quad , \quad E_i = \frac{A}{\rho_i^{оп}} ; \quad \rho_i = \rho_i^{оп} \cdot K_2$$

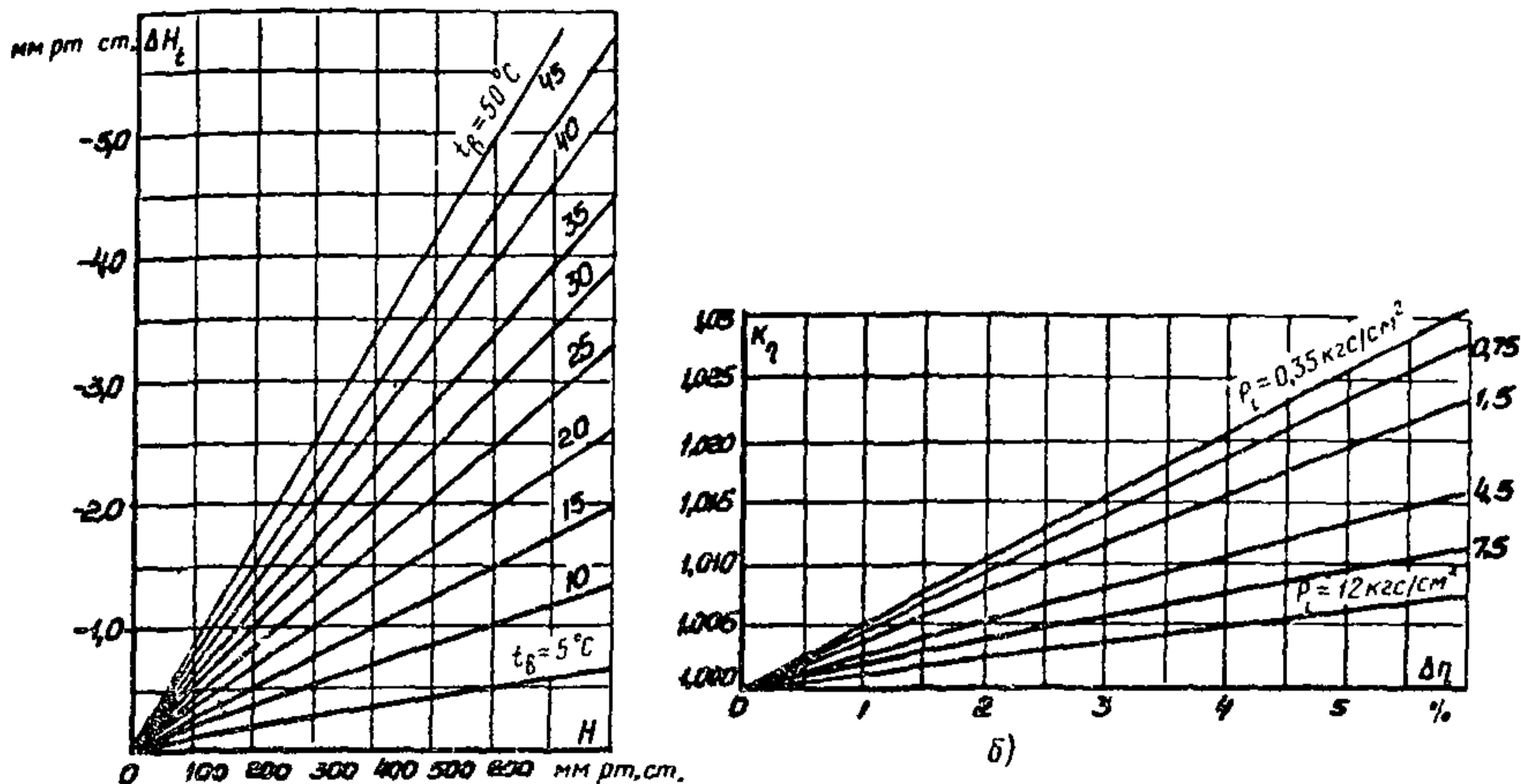


Рис. I3. Вспомогательные поправочные коэффициенты:

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); $H_o = H - \Delta H_t$; t_b - температура окружающего воздуха;

б - поправка к давлениям в отборах на изменение КПД ЦСД; P_i - 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:

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

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

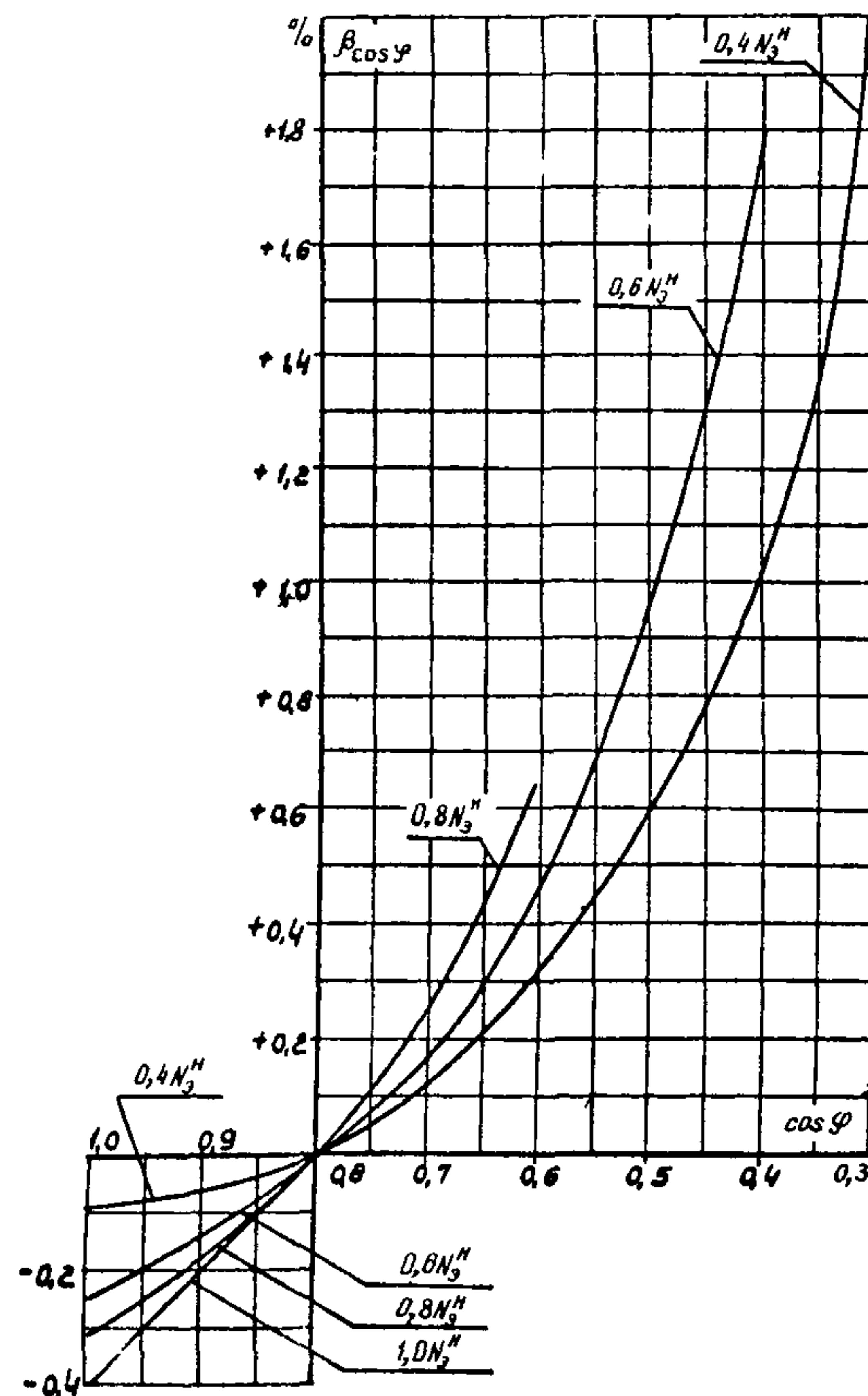


Рис. I4. Поправка к мощности на отклонение $\cos \varphi$ от исходного

где $h_i^{ЧВД}, h_o^{ЧВД}$

- использованный и адиабатический теплоперепад ЧВД;

$i_2^{ЧВД}, i_{2t}^{ЧВД}$

- энталпия свежего пара;
- энталпия пара после ЧВД по измеренным параметрам и соответственно адиабатическому расширению;

$h_i^{ЧСД}, h_o^{ЧСД}$

- использованный и адиабатический теплоперепад ЧСД;

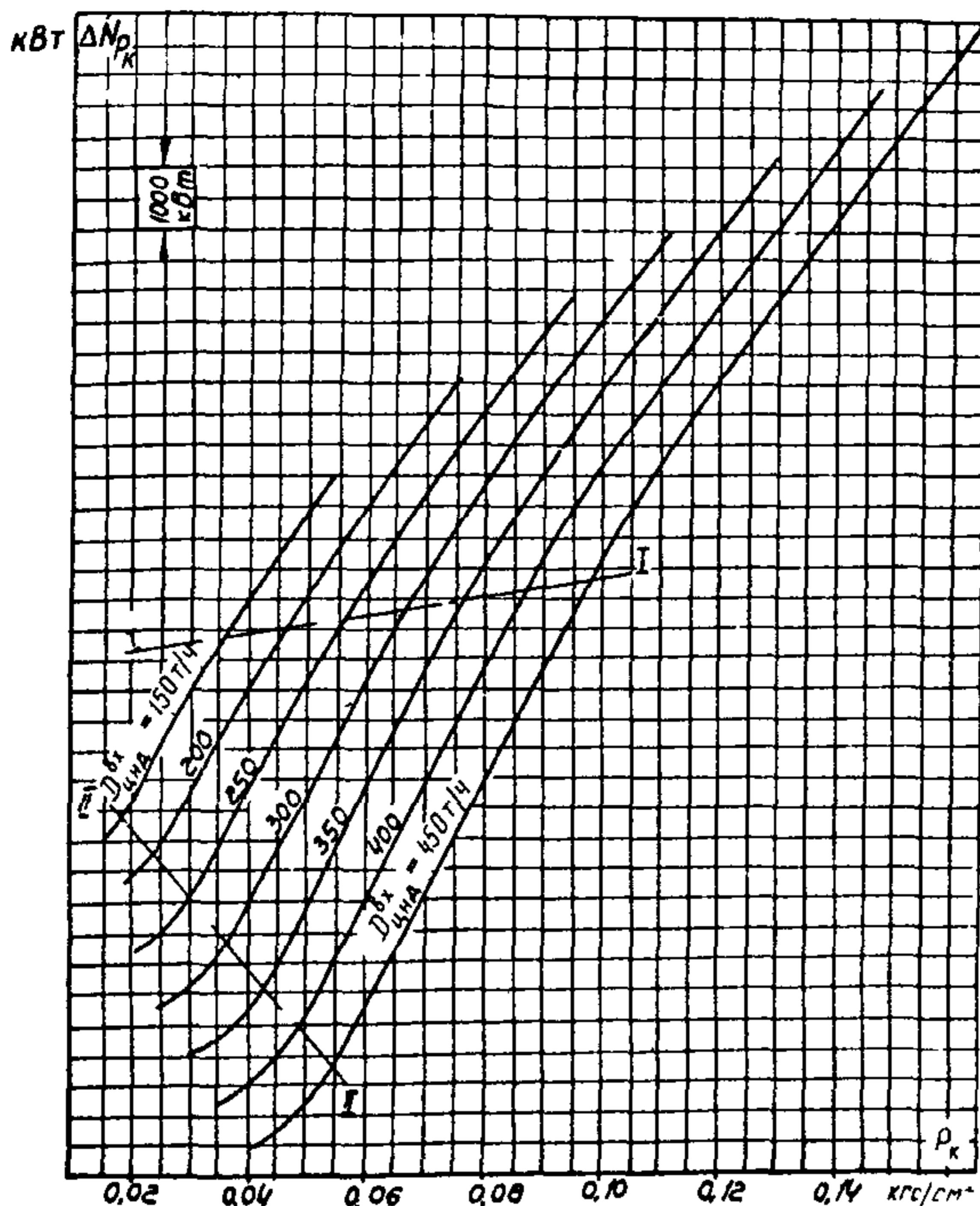


Рис. 15. Поправка к мощности на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе:

$D_{\text{ЧНД}}^{\delta_x}$ – расход пара на входе в ЧНД, который для условий экспресс-испытаний принимается равным начальному расходу пара D_0 ; ΔN_{p_k} – изменение мощности на клеммах генератора

П р и м е ч а н и е. Средняя поправка к мощности на прямолинейных участках, ограниченных прямыми I-I' – II-II', на $\pm 0,01 \text{ кгс}/\text{см}^2$ составляет $\mp 1900 \text{ кВт}$ (на два потока пара)

$i_1^{\text{ЧСД}}$ – энталпия пара перед отсечными клапанами ЧСД;
 $i_2^{\text{ЧСД}}, i_{2t}^{\text{ЧСД}}$ – энталпия пара после ЧСД по измеренным параметрам и соответственно адиабатическому расширению.

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

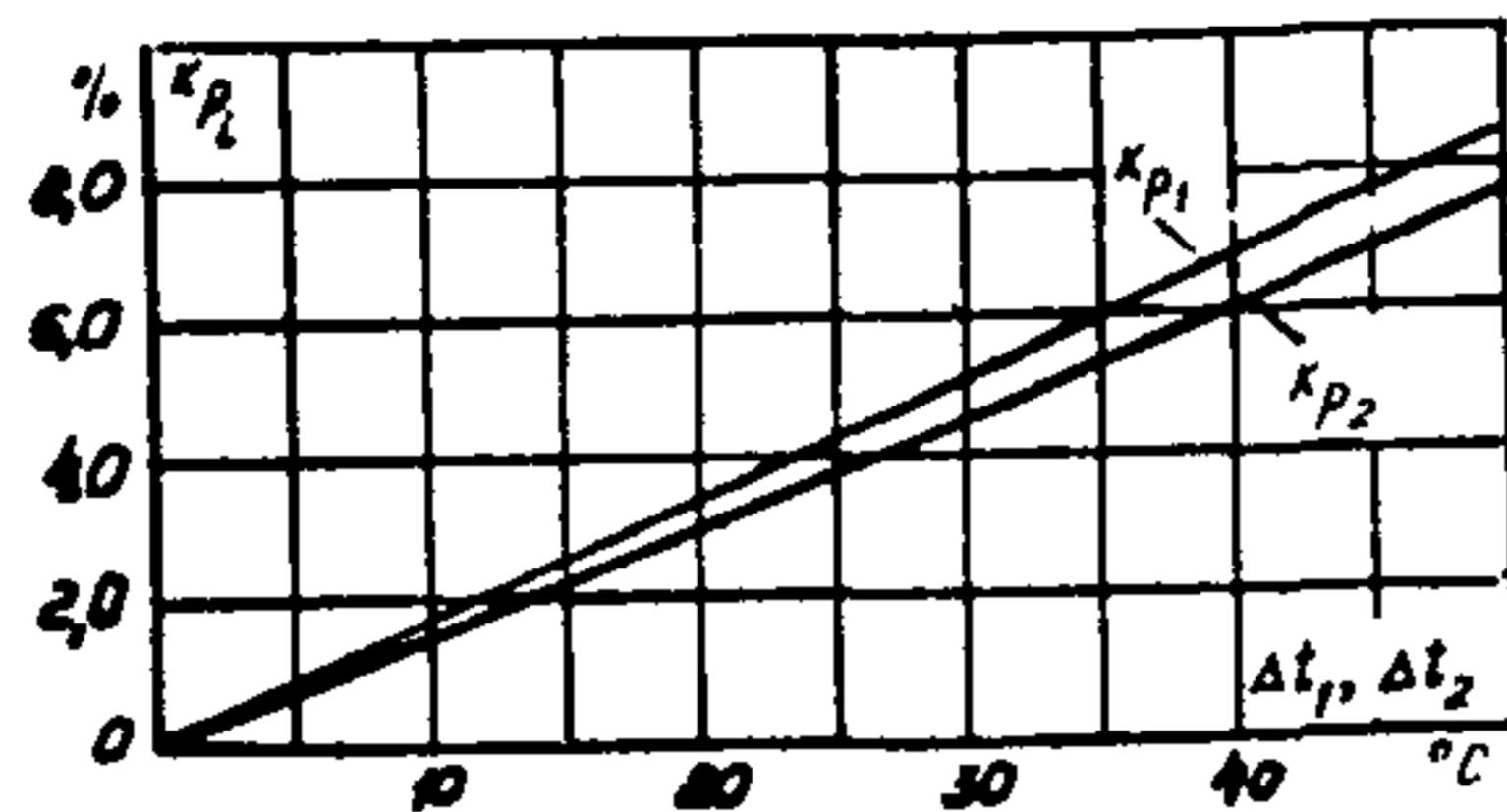


Рис. I6. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям при сохранении в работе ПНД № 1 и ПНД № 2:

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

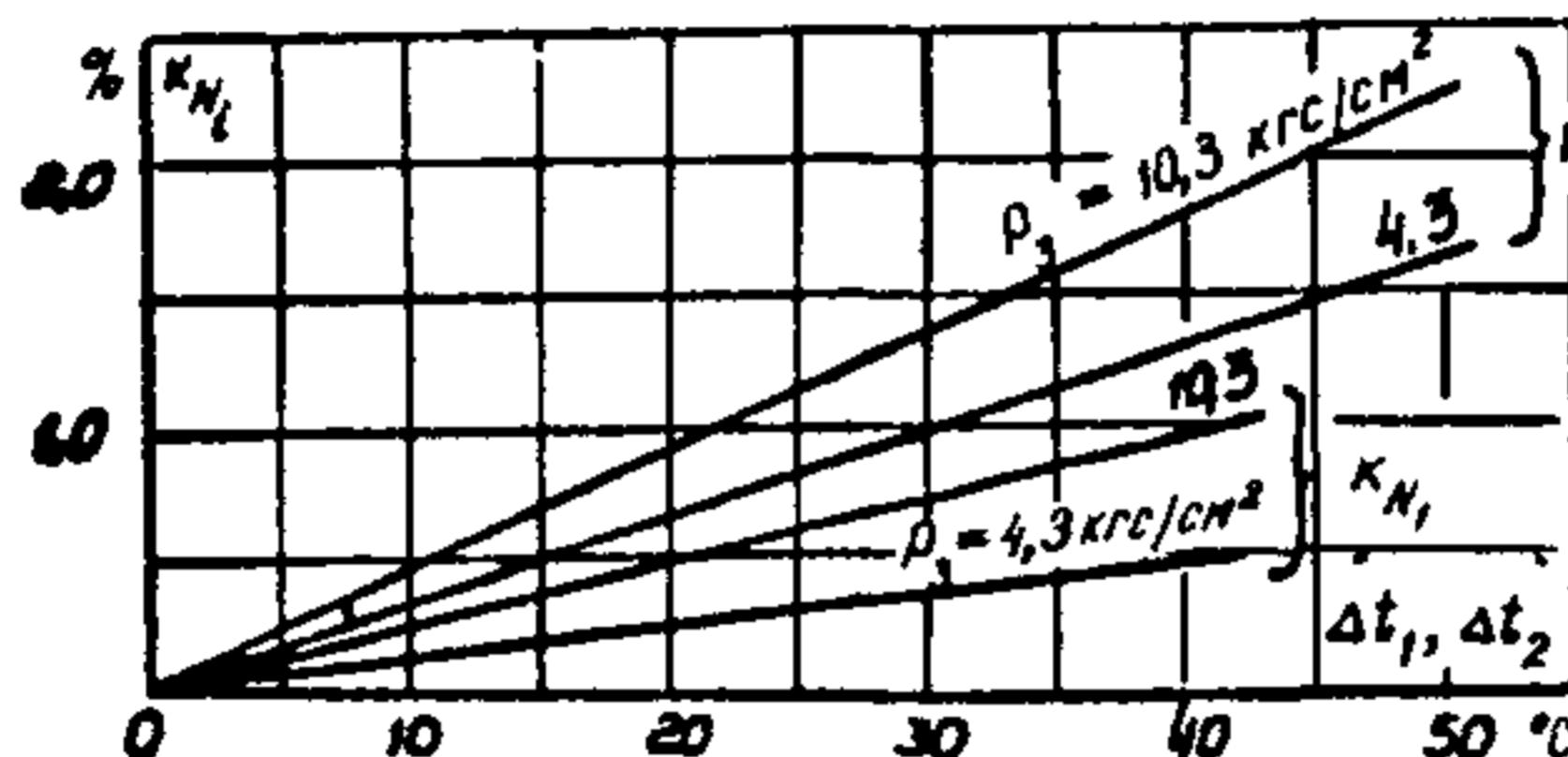


Рис. I7. Дополнительный поправочный коэффициент к мощности при сохранении в работе ПНД № 1 и ПНД № 2:

$$K_{N_L} = f(\Delta t, p_3)$$

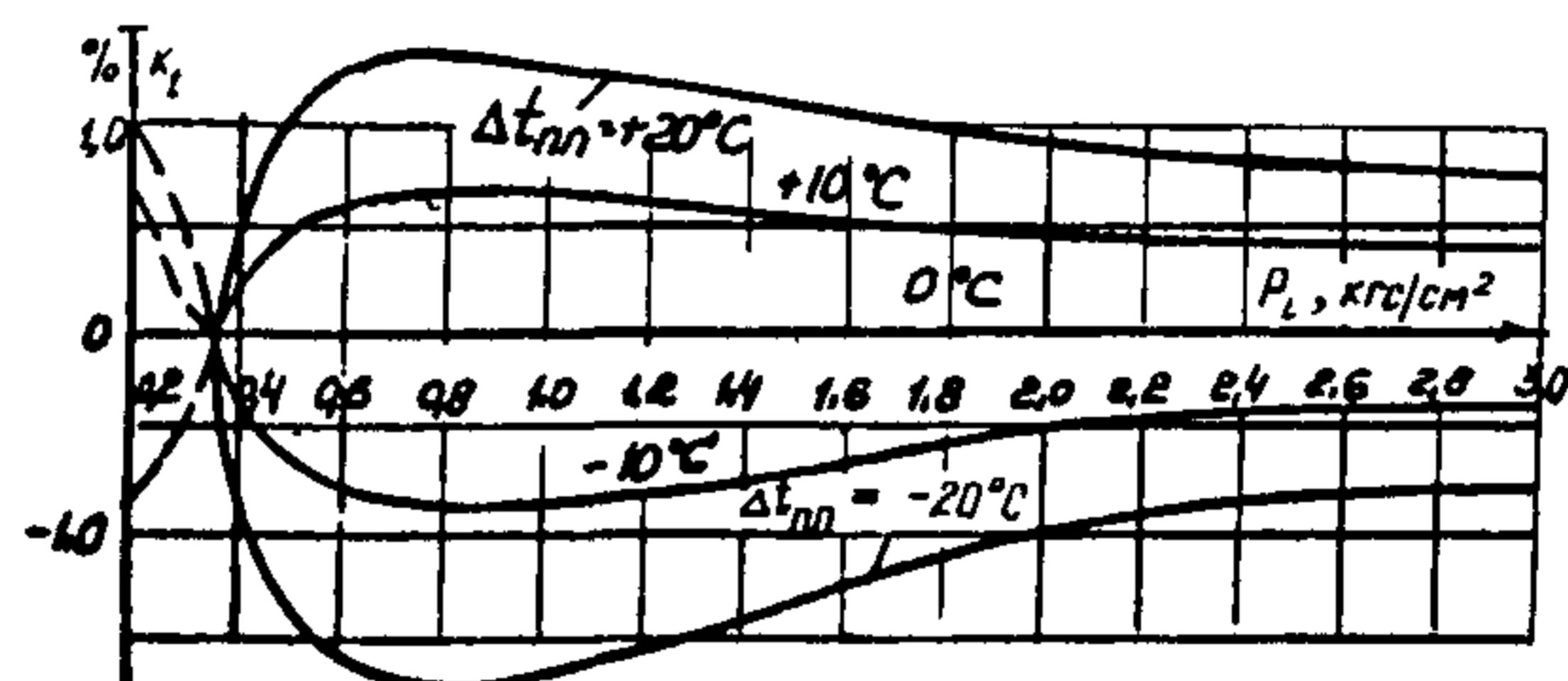


Рис. I8. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям пара в отборах от температуры в линии горячего промперегрева:

$$K_t' = f(P_t, \Delta t_{nn})$$

Разность между номинальным и опытным значением температур пара в линии горячего промперегрева $\Delta t_{nn} = t_{nn}^{exp} - t_{nn}^{nom}$

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

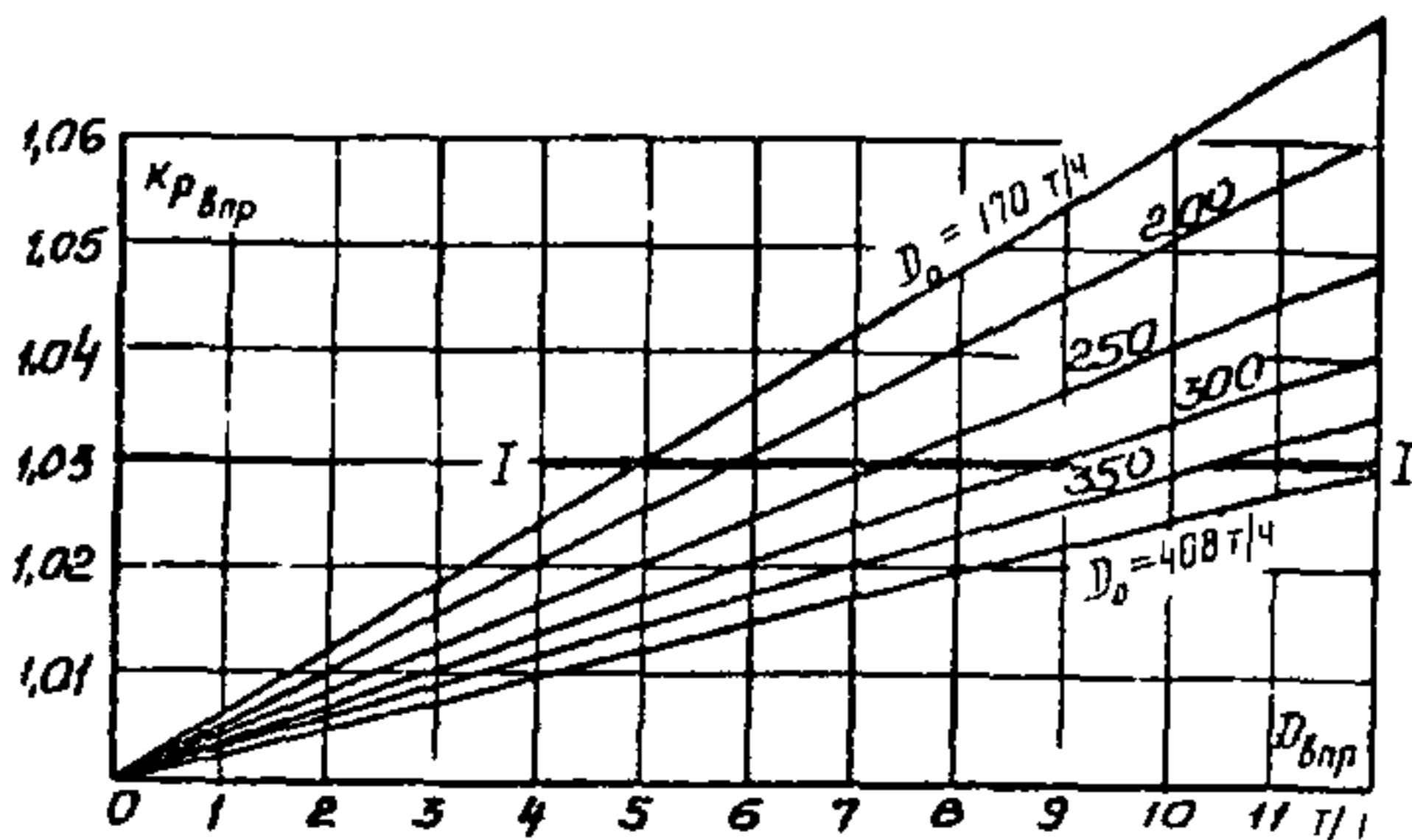


Рис. 19. Дополнительный поправочный коэффициент к давлениям пара в отборах в зависимости от расхода пара на впрыск в линию горячего промперегрева:

$$K_{P_{Bpr}} = f(D_{Bpr}, D_o);$$

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

П р и м е ч а н и е. С учетом впрыска давления $P_3 - P_i$ приводятся к режимам без впрыска по формуле $P_i^{pr} = \frac{P_i}{K_{P_{Bpr}}}$

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

9.1. Рабочая программа

9.1.1. Условия проведения опытов¹:

- турбина работает по нормальной схеме с полностью включенной регенерацией;
- опыты проводятся при нагрузках 60-70 и 100% номинальной

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

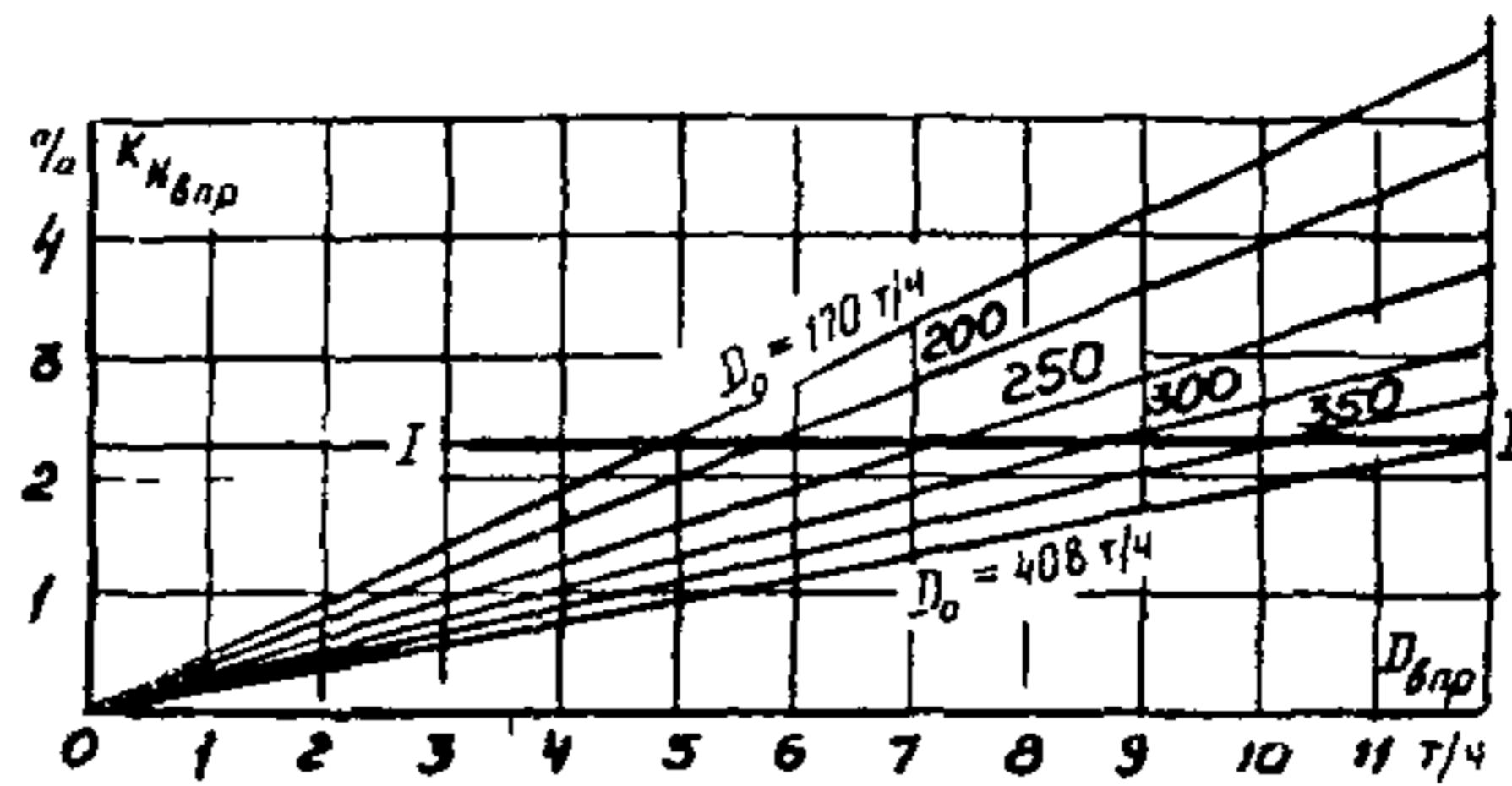


Рис. 20. Дополнительный поправочный коэффициент к мощности в зависимости от расхода пара на впрыск в линию горячего промперегрева:

$$K_{N_{Bpr}} = f(D_{Bpr}, D_o);$$

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

- подпитка блока в конденсатор в течение каждого опыта постоянна;
 - особенно тщательно контролируется наличие уровня 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 $\pm 2\%$;
 - давление в деаэраторе равно номинальному.
- 9.1.2. 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 турбии) 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/см².

9.2. Обработка опытных данных

9.2.1. 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

9.3.1. 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 соответ-

Таблица 9

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

№ п.п.	Показатель	Обозначе- ние	Размер- ность	До капитального ремонта		После капитально- го ремонта		Примечание
				N = 70%	N = 100%	N = 70%	N = 100%	
I	Расход свежего пара	D_o	т/ч			-	-	
2	Расход питательной воды	D_{nb}	т/ч			-	-	
3	Электрическая мощность: показания прибора	Z	Деление			-	-	$N_g^D = K_t K_u C Z$ где K_t - коэффициент трансформатора тока; K_u - коэффициент трансформатора напряжения; C - цена деления прибора
4	занесенная	N_g	кВт			-	-	
5	Барометрическое давление	B	мм рт.ст.			759	750	
6	Вакуум в конденсаторе:	V'	мм рт.ст.			-	-	
7	справа сзади: измеренный вакуум с поправкой на t_{pr} и столбик воды	V	мм рт.ст.			-	-	
8	левление	p'_k	кгс/см ²			-	-	
9	справа спереди: измеренный вакуум	V'	мм рт.ст.			701	686	
10	с поправкой на t_{pr} и склонок воды	V	мм рт.ст.			703	688	
11	давление	p''_k	кгс/см ²			0,0761	0,0842	
12	слева сзади: измеренный вакуум	V'	мм рт.ст.			-	-	
13	с поправкой на t_{pr} и столбик воды	V	мм рт.ст.			-	-	
14	давление	p'''_k	кгс/см			-	-	

$$P_k = \frac{B-V}{735,5}$$

	слева спереди	V'	мм рт.ст					
15	измеренный перепад с поправкой на t_{pt}	V	мм рт.ст			699	687	
16	и столбик воды	P_K^W	кгс/см ²			701	689	
17	давление	P_K^{CP}	кгс/см ²			0,0788	0,0829	
18	Среднее давление					0,0774	0,0835	
19	Температура конденсата после конденсатора	t_K	°C			39,6	44	
20	Температура насыщения в конденсаторе	t_{HAC}	°C			40,6	42,3	
21	Переохлаждение конденсата	Δt	°C			1,0	-	
22	Температура циркуляционной воды: на входе	t_{UW}'	°C			24	27,5	
23	на выходе	t_{UW}	°C			33,2	37	
24	Температурный напор конденсатора	δt	°C			6,4	7,0	$\delta t = t_{HAC} - t_{UW}''$
25	Скорость падения вакуума при отключенном экекторе	C_{vac}	мм/мин			-	-	
Для каждого регенеративного подогревателя (или подогревателя сетевой воды)								
1	Давление пара в камере отбора: усредненное опытное значение	$P_{Lom\delta}'$	кгс/см ²			28,56	38	Ввести поправки на высоту установки манометра, тарировку, барометрическое давление
2	с учетом поправок	$P_{Lom\delta}''$	кгс/см ²			29,26	38,6	
3	Давление в подогревателе: усредненное опытное значение	P_{Lp}'	кгс/см ²			27,69	36,48	
4	с учетом поправок	P_{Lp}''	кгс/см ²			28,39	37,08	
5	Потеря давления в паропроводе отбора	ΔP	%			2,3	4,0	$P_{Lom\delta} - P_{Lp} = \Delta P$ P_{Lp}
6	Температура насыщения в подогревателе	t_{HAC}	°C			230	244,5	
7	Температура дренажа на выходе из подогревателя	t_{drp}	°C			-	-	
8	Температура воды: на входе	t_L'	°C			206	217	
9	на выходе	t_L''	°C			228,2	240	
10	после обвода	t_{off}	°C			227,5	241	
II	Температурный напор	δt	°C			2,5	3,6	$\delta t = t_{HAC} - t_L''$
Для каждого выносного охладителя дренажа								
1	Температура воды: на входе	t'	°C			-	-	
2	на выходе	t''	°C			-	-	
3	Температура дренажа на входе	t_{drp}	°C			-	-	
4	Разность температур дренажа на входе и воды на выходе	$\Delta t'$	°C			-	-	$\Delta t = t_{drp} - t_L'' - 12$

вующем отборе (измеренного непосредственно у турбины) -

$$t_{\text{вых}} = f(P_{\text{отб}}).$$

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 $0,07 P_{\text{отб}}$; 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 9.1) не являются основанием для изменения норм $t_{n\beta}$. 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 $t_{\text{вых}} = f(P_{\text{отб}})$.

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 $t_{\text{вых}} = f(P_{\text{отб}})$; если опытная точка температуры за подогревателем оказывается ниже линии номинального нагрева, требуется наладка подогревателя.

9.3.6. Эффективность работы конденсатора определяется 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" (СИНТИ 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.

П р и м е ч а н и е. Изложенное в пп. 10.1.1-10.1.3 может быть 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.I.5. Воздушить генератор для возможности измерять частоту вращения по частотомеру. Напряжение возбуждения устанавливается близким к номинальному.

10.I.6. Установить синхронизатором частоту вращения 3080-3100 об/мин.

10.I.7. Приготовиться к записи значений следующих параметров:

а) хода сервомотора ЧВД по миллиметровой шкале с точностью $\pm 1 \text{ мм}$;

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

10.I.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.I.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.I.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.

П р и м е ч а н и е. 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.I.11. При номинальном давлении пара перед турбиной на холостом ходу (3000 об/мин) записать положение сервомотора ЧВД и положение синхронизатора.

10.I.12. Проверить совпадение количества записей у обоих наблюдателей и при его несовпадении повторить опыт.

Опыты под нагрузкой

10.I.13. Нагрузочная характеристика может быть получена из серии в 10-12 опытов, порядок проведения которых изложен в пп. 10.I.14-10.I.17.

10.1.14. 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 10-12 точек. В каждом опыте производится по три записи через 3-5 мин.

10.1.15. Допускаются следующие отклонения параметров пара:

- а) максимально допустимое отклонение среднего значения давления от номинального $\pm 6,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
- б) максимально допустимое отклонение в записи от среднего значения давления $\pm 2,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$;
- в) отклонение вакуума $\pm 2 \text{ мм рт.ст.}$;
- г) отклонение температуры свежего пара и пара промперегрева $\pm 6^\circ\text{C}$.

10.1.16. 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.

10.1.17. Рекомендуется изменять нагрузку турбины только в одном направлении – нагружения или разгружения.

10.2. Обработка полученных результатов

10.2.1. 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.

10.2.2. Нагрузочная характеристика, т.е. зависимость между приведенной электрической нагрузкой N_3^{pp} 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:

$$N_3^{np} = N_3^{op} \left[\frac{P_o^H}{P_o^{op}} \sqrt{\frac{T_o^{op}}{T_o^H}} \left(1 + \frac{\beta_{t_o}}{100} \right) \left(1 + \frac{\beta_{t_{ppr}}}{100} \right) \left(1 + \frac{\beta_{\Delta P_{pp}}}{100} \right) \right] + \Delta N_{p_k}, \quad (6)$$

где N_3^{op} - опытная электрическая мощность;
 P_o^H, P_o^{op} - номинальное и опытное значения давления свежего пара;
 $T_o^H, T_o^{op}(T=t+273)$ - номинальная и опытная температуры свежего пара;
 β_{t_o} - поправка на отклонение температуры свежего пара от номинальной (приведена на графике рис.6,а);
 $\beta_{t_{ppr}}$ - поправка на отклонение температуры пара промперегрева от номинальной (приведена на графике рис.7);
 $\beta_{\Delta P_{pp}}$ - поправка на отклонение значения потери давления в тракте промперегрева от номинального (приведена на графике рис.8);
 ΔN_{p_k} - 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 не- равномерности;

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:

$$\delta = \frac{n_{xx} - n_{nom}}{3000} \cdot 100 \quad (7)$$

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 позволяют сделать вывод о нормальном или неnormalном состоянии системы. Третье сравнение позволяет сделать вывод об изменениях, которые произошли в системе регулирования. При отклонениях 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 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-

дели 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

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

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 позволяют выявить источник дефекта при наладочных работах.

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

II. ПРОВЕРКА СОВМЕСТНОЙ ПЛОТНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЗАТВОРОВ И СОВМЕСТНОЙ ПЛОТНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ЧВД И ЧСД

II.I. Рабочая программа

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

II.I.1. Разгрузить энергоблок. По мере разгрузления один корпус котла перевести на растопочную нагрузку, затем остановить. Закрыть ГПЗ-2 от этого корпуса.

Разгрузить второй корпус до растопочной нагрузки. Параметры пара номинальные.

II.I.2. Перевести защиты котла на сигнал, вывести из работы защиты блока и турбины по отключению генератора и по закрытию стопорных клапанов турбины.

II.I.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-1 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 130 кгс/см², перед ЧСД 8 кгс/см²;

д) включить пусковой маслонасос.

II. I. 4. Приготовиться к записям плотности автоматических затворов и отключить генератор от сети. Записать кривую выбега ротора до 1500 об/мин.

II. I. 5. Выполнять 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 синхронизator следует установить примерно на 9-10 мм по лимбу.

Записать кривую выбега ротора до 1500 об/мин.

II. I. 7. При испытании допустимы отклонения параметров пара: давления перед турбиной ± 5 кгс/см²; давления перед ЧСД ± 1 кгс/см² 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 100 об/мин. Время отсчитывается от момента закрытия проверяемых клапанов.

II.2. Обработка полученных результатов

II.2.1. Кривые выбега ротора от 3000 до 1500 об/мин строятся на одном графике в координатах "об/мин" – "Время" без каких-либо дополнительных поправок.

II.3. Анализ результатов

II.3.1. 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 1500 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 1500 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.Сапожников
Корректоры: Т.А.Квасова
О.Н.Корчагина

Подписано к печати 29/XII 1977 г. Формат 60x84 I/6
П.л. 4,2 Уч.-изд.л. 3,7 Тираж 000 экз
Заказ № 44/78 Издат. № 241/76 Цена 50 коп.

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