



**МОСКОВСКИЙ ФИЛИАЛ
ОАО «ЮЖНЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГЕТИКИ»**

105118 г. Москва, ул. Вольная, д.13
Телефон: (495) 228-70-77; Факс: (495) 228-70-77 доб.130
e-mail: mfuic@mfuic.ru
www.scpe.ru



ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

по результатам тепловых испытаний
паровой турбины производства ЗАО «УТЗ»
типа Т-250/300-240 (ст. №8)
ТЭЦ-21 – филиала ОАО «Мосэнерго»
до и после установки надбандажных сотовых
уплотнений 2 – 12 ступеней ЦВД

Договор №: 103.12.002

Москва

2012 г.

ОАО «Южный инженерный центр энергетики»

Московский филиал ОАО «Южный ИЦЭ»

СОГЛАСОВАНО:

Главный инженер
ТЭЦ-21 – филиала
ОАО «Мосэнерго»



_____/Ю.Г. Громов/

_____/ 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель директора
по инжинирингу ТЭС
Московского филиала
ОАО «Южный ИЦЭ»



_____/Н.П. Агеев/

_____/ « 26 » ноября 2012 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

по результатам тепловых испытаний
паровой турбины производства ЗАО «УТЗ»
типа Т-250/300-240 (ст. №8)
ТЭЦ-21 – филиала ОАО «Мосэнерго»
до и после установки надбандажных сотовых
уплотнений 2 – 12 ступеней ЦВД

Договор №: 103.12.002

Начальник Центра инжиниринга
турбинного оборудования:

Исполнители:

О.В. Фатьков

А.М. Сахаров

С.В. Александров

Москва, 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели испытаний	3
2. Краткое описание турбоустановки	3
3. Краткое описание реконструкции ЦВД	5
4. Программа испытаний	6
5. Схема измерений	7
6. Обработка экспериментальных данных	8
7. Результаты испытаний	9
8. Заключение	12
9. Список литературы	13
10. Приложения:	
10.1. Техническая программа тепловых испытаний паровой турбины типа Т-250/300-240, ст. №8	14
10.2. Сводная таблица основных измеренных величин (I этап)	18
10.3. Сводная таблица основных измеренных величин (II этап)	20
10.4. Графический материал	21
Рис. 1. Схема измерений при испытании турбины Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8	22
Рис. 2. Внутренний относительный КПД ЦВД	23
Рис. 3. Внутренний относительный КПД отсека «АСК – 6 ступень»	24
Рис. 4. Давление пара в камере регулирующей ступени ЦВД	25
Рис. 5. Давление пара за 6 ступенью и в I отборе (режим работы с ПВД)	26
Рис. 6. Давление пара за 6 ступенью (режим работы без ПВД)	27
Рис. 7. Давление пара на выхлопе ЦВД (режим работы с ПВД)	28
Рис. 8. Давление пара на выхлопе ЦВД (режим работы без ПВД)	29
Рис. 9. Температура питательной воды	30
10.5. Формуляр № АРМС.019.000 ФО	31
10.6. Письмо ЗАО «УТЗ» №04-14/0235-С от 11.93.2011г.	32

1. ЦЕЛИ ИСПЫТАНИЙ

Тепловые испытания паровой турбины типа Т-250/300-240 УТЗ (ст. №8) ТЭЦ-21 – филиала ОАО «Мосэнерго» проводились в два этапа в соответствии с Технической программой, разработанной на основании [9,1] и [9.6].

Целью испытаний являлось определение эффективности установки надбандажных сотовых уплотнений в цилиндр высокого давления (ЦВД) турбины. Установка сотовых уплотнений проводилась на 11 ступенях давления цилиндра в период планового капитального ремонта с 18.06.2012г. по 14.09.2012г. Регулирующая ступень не вошла в объём реконструкции, в результате чего конструкция её надбандажных уплотнений не изменялась.

Испытания проводились в 2 этапа в режимах электрического графика с включёнными и отключёнными подогревателями высокого давления (ПВД) до и после проведения реконструкции в широком диапазоне нагрузок.

Для определения эффективности установки сотовых надбандажных уплотнений в данном техническом отчёте использовалась методика, основанная на сравнении опытно-расчетных зависимостей величин внутреннего относительного КПД ЦВД, полученных на режимах с включёнными и отключёнными ПВД до и после реконструкции.

Для минимизации погрешности конечного результата I и II этапы испытаний проведены по единой технической программе. Испытания I этапа (до капремонта) были проведены 29 апреля - 14 мая 2012 года, а II этапа – 6 - 7 октября 2012 г.

Общая наработка турбины с даты ввода в эксплуатацию (декабрь 1974 г.) к моменту проведения I этапа испытаний (перед капремонтом) на 01.07.2011г. составила 258 259 часов.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТУРБОУСТАНОВКИ

Паровая турбина типа Т-250/300-240 ТМЗ с двумя теплофикационными отборами пара и конденсатором номинальной мощностью 250 МВт предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока типа ТВВ-320-2 завода «Электросила». Турбина работает в блоке с паровым котлом и рассчитана для работы при следующих номинальных параметрах:

давление свежего пара	240 кгс/см ²
температура свежего пара	540 °С
давление пара за ЦВД	40 кгс/см ²
температура пара за ЦВД	332 °С
давление пара перед ЦСД	36 кгс/см ²
температура пара перед ЦСД	540 °С
давление в конденсаторе на К-режиме	0,055 кгс/см ²
температура охлаждающей воды	20 °С
расход охлаждающей воды	28000 м ³ /час

Турбина имеет два теплофикационных отбора пара – верхний и нижний, предназначенные для ступенчатого подогрева сетевой воды. Теплофикационные отборы имеют следующие пределы регулирования давления:

- верхний 0,6 – 2,0 ата,
- нижний 0,5 – 1,5 ата.

Турбина имеет 8 нерегулируемых отборов пара, предназначенных для регенеративного подогрева питательной воды/основного конденсата в трёх ПВД, деаэраторе и четырёх ПНД, а также питания приводной турбины главного питательного насоса (турбопривода).

Пар для турбопривода отбирается за 14 ступенью. Отработавший пар из турбопривода частично возвращается в проточную часть турбины за 22 ступенью и частично отводится в систему регенерации.

Предусмотрена возможность работы турбоустановки с пропуском сетевой воды через встроенный пучок конденсатора, который в данной турбоустановке используется как часть основной поверхности конденсатора (с пропуском циркуляционной воды).

Турбина представляет собой одновальный агрегат, состоящий из четырех цилиндров и выполненный по схеме: ЦВД + 2ЦСД (ЦСД-I и ЦСД-II) + ЦНД.

Свежий пар подводится к двум отдельным блокам клапанов. Каждый блок представляет собой комбинацию одного стопорного и трех регулирующих клапанов и обслуживает три группы сопл. Пар от регулирующих клапанов по десяти трубам подводится к четырем сопловым коробкам.

ЦВД – двухстенный, противоточный, имеет 12 ступеней, в том числе одну одновенечную регулируемую ступень и пять ступеней давления в левом потоке. Пройдя левый поток, пар совершает поворот на 180° и направляется между наружными и внутренними корпусами в ступени правого потока, в котором установлено шесть ступеней.

Парораспределение ЦСД осуществляется двумя блоками отсечных и регулирующих клапанов.

ЦСД-1 – однопоточный, одностенный с четырьмя обоймами, имеет десять ступеней давления. Из него пар давлением 0,539 МПа поступает в двухпоточный ЦСД-II, в каждом потоке которого имеется шесть ступеней, из которых четыре ступени предшествуют верхнему отопительному отбору, и две – расположены между верхним и нижним отопительными отборами. После ЦСД-II часть пара может направляться в нижний отопительный отбор, а оставшийся пар идет в ЦНД.

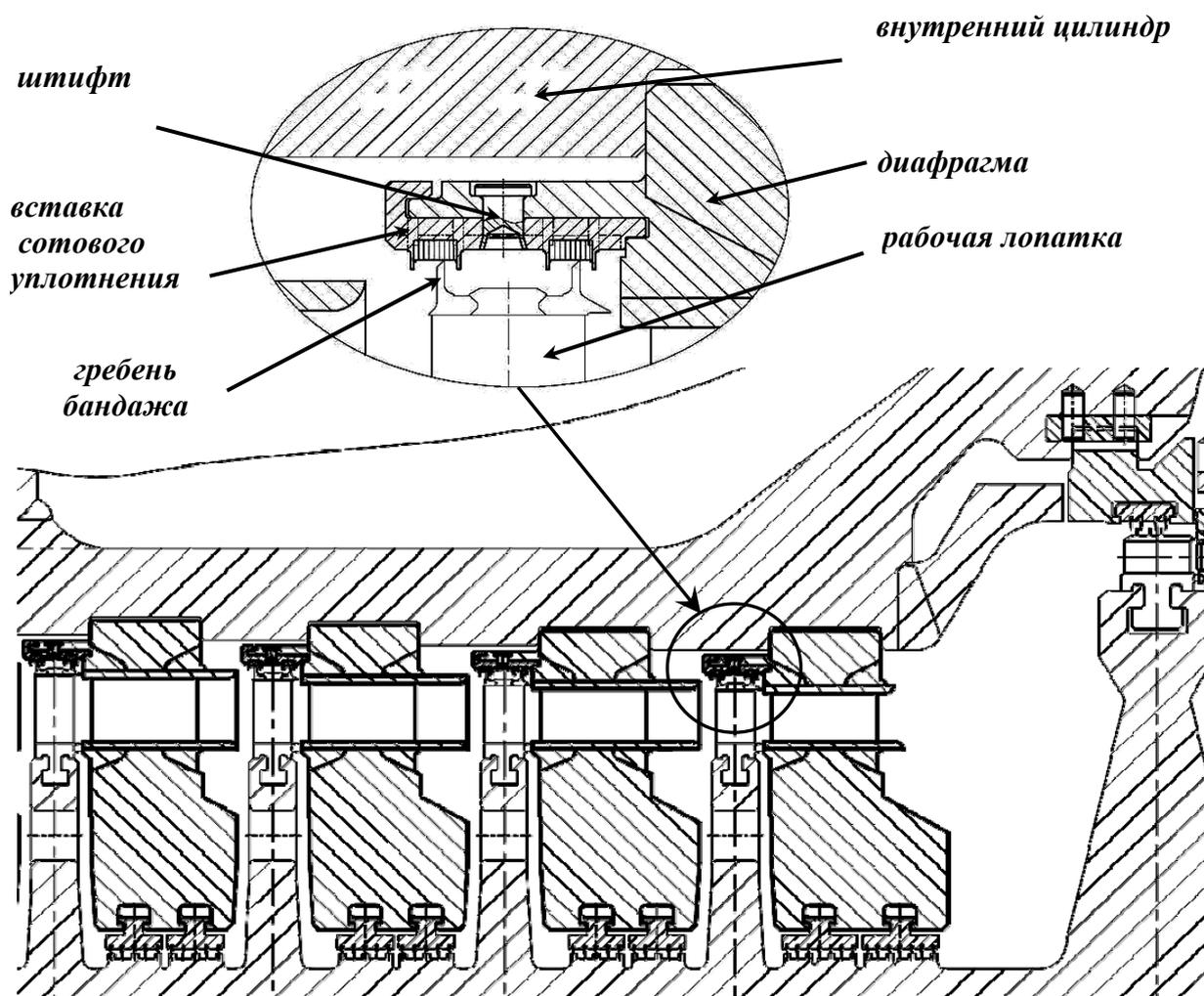
ЦНД – двухстенный, двухпоточный, в каждом потоке размещено по три ступени, в том числе первая - регулирующая. Пропуск пара в ЦНД регулируется поворотными регулирующими диафрагмами.

Роторы ЦВД и ЦСД-1 – цельнокованные, роторы ЦСД-II и ЦНД имеют насадные диски. Ротор ЦВД соединяется с ротором ЦСД-1 с помощью жесткой муфты. Эти роторы имеют три опоры, каждый из остальных роторов - по две

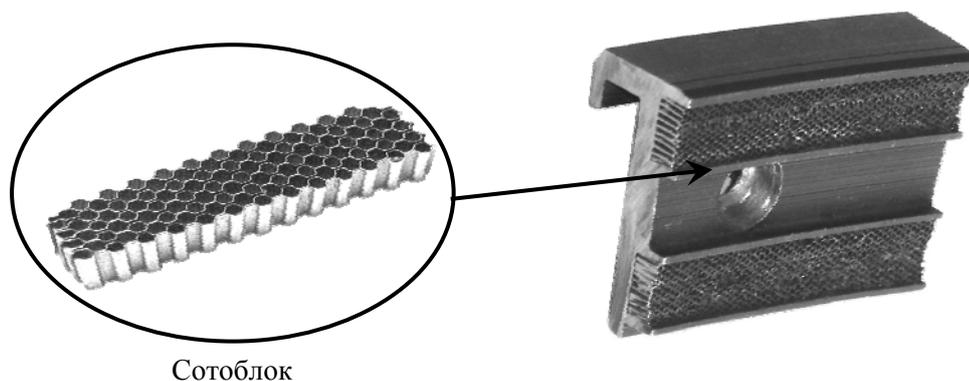
опоры. Ротор ЦСД-II соединяется с ротором генератора с помощью жесткой муфты.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦВД

Реконструкция проточной части ЦВД проводилась по разработанной НПП «АРМС» и согласованной ЗАО «УТЗ» конструкторской документации черт. №АРМС.019.000СБ и предусматривала замену надбандажных уплотнений 2 – 12 ступеней на модернизированные сотовые.



Установка вставок сотовых надбандажных уплотнений при реконструкции проточной части ЦВД турбины типа Т-250/300-240 УТЗ.



Фрагмент сотовой вставки надбандажного уплотнения ЦВД

Установка сотовых надбандажных уплотнений в проточную часть ЦВД турбины Т-250/300-240 выполняется в козырьки диафрагм. Конструктивно соты имеют форму шестигранных ячеек с диаметром вписанной окружности равной 1,5 мм, изготавливаются из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05мм и припаиваются к вставкам - сотоблокам, из которых набирается кольцо, для последующей установки в диафрагму. Конструкции крепления сотоблока к козырьку диафрагмы, за счет установки штифтов, обеспечивает гарантированную надежность соединения.

Кроме того, на бандажах рабочих лопаток, при необходимости, производится наварка (восстановление) уплотнительных усов.

Использование сотовых уплотнений позволяет уменьшить радиальные зазоры по уплотнениям до 0,5 мм.

Доработка деталей и установка сотовых уплотнений производилась по разработанному на реконструкцию надбандажных уплотнений 2...12 ступеней ЦВД турбины Т-250/300-240-2 маршрутно-технологическому процессу АРМС.019.000 МТ персоналом специализированного ремонтного предприятия ЗАО «ЦРМЗ» и включала выполнение следующих основных технологических операций:

- восстановление или приварку гребней на бандажах РВД;
- обработку статорных деталей ЦВД под установку сотовых вставок;
- установку сотовых вставок на обработанные детали статора турбины;
- расточку рабочей поверхности установленных сотовых вставок в окончательный размер;
- сборку проточной части ЦВД.

4. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ

В соответствии с Технической программой испытаний (см. Приложение 10.1), утверждённой Главным инженером ТЭЦ-21, в рамках каждого этапа планировалось проведение двух серий опытов.

Серия 1 – опыты при проектной тепловой схеме с полностью включённой системой регенерации.

Серия 2 – опыты при проектной тепловой схеме с полностью включённой регенерацией низкого и отключённой регенерацией высокого давления.

Кроме того, для достижения максимально достоверного результата и уточнения характера основных зависимостей в рамках первого этапа были приняты к рассмотрению ряд дополнительных опытов в широком диапазоне нагрузок.

При разработке программы испытаний предполагалось оценить экономический эффект следующими методами:

- путём сравнения абсолютных значений внутреннего относительного КПД ЦВД до и после реконструкции;
- путём оценки изменения плотности проточной части цилиндра при сравнении результатов опытов с включёнными и отключёнными ПВД до и после реконструкции;
- путём сравнения значений электрической мощности турбоагрегата до и после реконструкции.

На период испытаний все посторонние потребители пара и воды (в том числе отпуск пара через РОУ 40/13) были отключены.

Параметры свежего пара и пара промперегрева в каждом опыте поддерживались близкими к номинальным значениям при минимальных отклонениях от средних значений. При проведении испытаний продолжительность каждого опыта составляла не менее 45 мин.

Конденсат греющего пара подогревателей высокого и низкого давления отводился на каждой из нагрузок по идентичной схеме в обоих этапах:

- в опытах с включёнными ПВД в течение всей серии опытов: ПВД-8 → ПВД-7 → ПВД-6 → Деаэратор; ПНД-5 → ПНД-4 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-3 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-2 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-1 → Конденсатор, ПСГ-1 → Сливным насосом в ЛОК.
- в опытах с отключёнными ПВД в течение всей серии: ПНД-5 → ПНД-4 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-3 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-2 → Сливным насосом в ЛОК, ПНД-1 → Конденсатор, ПСГ-1 → Сливным насосом в ЛОК.

Уровни в конденсаторе, деаэраторе, подогревателях высокого и низкого давления в каждом опыте поддерживались постоянными. Питание деаэратора осуществлялось из V отбора.

5. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

При проведении обоих этапов испытаний для фиксации необходимых параметров использовалась штатная АСУ ТП фирмы «Siemens» с установкой в особо ответственных точках измерений дублирующих поверенных манометров по месту.

Особое внимание было уделено измерению параметров пара и воды, имеющих непосредственное отношение к определению эффективности проточной части ЦВД в целом, а также его отсеков. Основными параметрами, оказывающими прямое или косвенное влияние на расчёт экономичности ЦВД, являются давление, температура и расход свежего пара, давление и температура пара на выхлопе ЦВД, а также давление и температура пара за 6 ступенью ЦВД, давление пара в I отборе и температура питательной воды за группой ПВД.

Следует отметить, что при проведении такого рода испытаний с целью сравнения абсолютных показателей экономичности турбоустановки до и после ремонта основное внимание уделяется использованию одних и тех же средств измерения. При соблюдении этого условия, величина приборной погрешности в период капремонта не изменяется, а, следовательно, практически не влияет на результат сравнения. Для целей корректного сравнения показателей работы ЦВД указанные точки измерений максимально дублировались и единообразно использовались в обоих этапах испытаний. Так, например, давление свежего пара измерялась 2 датчиками и при этом дублировалась 4 манометрами, температура свежего пара – 6 датчиками, давление пара на выхлопе – 4 датчиками и дублировалось 2 манометрами, а температура пара на выхлопе – 3 датчиками температуры. Все вышеуказанные приборы на период капремонта были оставлены без изменений.

6. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

За основу при обработке первичных данных были приняты среднеарифметические значения измеренных величин с учётом всех необходимых поправок.

Термодинамические свойства пара и воды определялись по программе «Свойства рабочих тел и теплоносителей», разработанной ЛМЗ на основании [9.4].

6.1. Расход свежего пара

Расход свежего пара определялся тремя способами – по прямому измерению (по двум замерам), по расходу питательной воды за ПВД и как сумма измеренного расхода основного конденсата за ПНД №5, расходов пара на ПВД №№ 6 – 8, рассчитанных по уравнениям теплового баланса, и протечек, принятых по данным теплового расчёта. В результате тщательного анализа полученных данных в основу для дальнейших расчётов были положены значения расхода свежего пара полученные по прямому измерению по следующим причинам:

- расход питательной воды за ПВД существенно превышает измеренный расход свежего пара (более чем на 8 – 13%). При

этом анализ зависимостей давлений по проточной части и ряда показателей экономичности от расхода питательной воды свидетельствует о недостоверном измерении последнего.

- вычисленный расход свежего пара содержит значительную погрешность определения, т.к. входящие в его состав компоненты получены расчётным путём.
- характер протекания основных графических зависимостей, в частности, давлений по проточной части от измеренного расхода свежего пара соответствует основным закономерностям, полученным при испытаниях других турбин аналогичного типа.

6.2. Параметры пара и воды

Параметры свежего пара, пара за 6 ступенью и на выхлопе ЦВД определялись как средние значения для каждого параметра в отдельности. Прочие давления пара по проточной части были приняты по прямым измерениям с учётом логической увязки данных величин со значениями давлений пара перед соответствующими подогревателями.

6.3. Графические зависимости

Результаты испытания представлены в виде сводной таблицы измеренных величин и ряда графических зависимостей, относящихся к турбоустановке и её отдельным элементам:

- проточная часть турбины (давления пара в камере регулирующей ступени, за 6 ступенью, в I отборе и на выхлопе ЦВД),
- система регенерации (температура питательной воды на котёл),
- экономичность ЦВД (КПД ЦВД, КПД отсека «АСК – 6 ступень»).

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ

Как было отмечено в п. 4, первоначально рассматривались три критерия оценки эффективности внедрения надбандажных сотовых уплотнений.

Однако после анализа тепловой схемы и обработки первичных данных от критерия оценки изменения значений электрической мощности турбоагрегата до и после реконструкции было решено отказаться. Причиной такого решения стало влияние сезонного фактора, выразившегося в невозможности сборки абсолютно идентичной тепловой схемы турбоустановки, особенно в части отпуска тепловой энергии, без критического увеличения количества и

величины поправочных коэффициентов, учитывающих отличие тепловых схем I и II этапов. Таким образом, в дальнейшем к рассмотрению были приняты два первых критерия оценки эффективности установки сотовых уплотнений.

Для корректного сравнения основных зависимостей, характеризующих экономичность ЦВД до и после капремонта, был построен ряд вспомогательных графиков, используемых для оценки возможного изменения состояния ряда элементов тепловой схемы, способных прямо или косвенно повлиять на конечный результат. Такими зависимостями являются давление в камере регулирующей ступени ЦВД (рис. 4 Приложения 10.4), давления по проточной части ЦВД (рис. 5 – 8 Приложения 10.4), температура питательной воды на котёл (рис. 9 Приложения 10.4). Как видно на каждой из вышеотмеченных зависимостей, опытные точки во всём диапазоне нагрузок лежат на соответствующих линиях без существенных отклонений, из чего можно сделать вывод об отсутствии сколь-нибудь существенного влияния проведенных в капремонт штатных мероприятий на экономичность ЦВД.

Дополнительно, для подтверждения правильности выбора основных параметров и корректности построенных зависимостей было проведено сравнение полученных результатов с данными Типовой энергетической характеристики [9.5]. Результаты сравнения приведены в Таблице 1:

Таблица 1

Параметр	Расход свежего пара, т/ч					
	900			600		
	Исп.	ТЭХ	отклонение	Исп.	ТЭХ	отклонение
Давление пара в камере рег. ступени ЦВД, кгс/см ²	170	173	-3,0 (1,7%)	114,5	115	-0,5 (0,4%)
Давление пара в I отборе, кгс/см ²	50,2	54,5	-4,3 (7,9%)	35,3	36,3	-1,0 (2,8%)
Давление пара на выхлопе ЦВД, кгс/см ²	39,7	39,7	0,0 (0,0%)	27,8	27,1	+0,7 (2,6%)
Температура питательной воды, °С	258,6	267	-8,4 (3,1%)	239,1	245,5	-6,4 (2,6%)

Анализ приведенных в Таблице 1 значений показывает, что отклонения давлений по проточной части ЦВД турбоагрегата №8 несущественно отличаются от данных ТЭХ, а в случае с давлением пара на выхлопе ЦВД – практически совпадают. Недогрев питательной воды относительно ТЭХ может объясняться отчасти отклонением давления пара в I отборе и состоянием ПВД №8. Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о достаточной точности измерения основных параметров, влияющих на внутренний относительный КПД ЦВД.

Таким образом, для оценки эффективности внедрения надбандажных сотовых уплотнений были использованы зависимости внутреннего относительного КПД ЦВД и КПД отсека «АСК – 6 ступень» (рис. 2 и 3 Приложения 10.4), отражающие этот эффект без существенного влияния прочих факторов.

Как видно из рис. 1 Приложения 10.4, заметный прирост внутреннего относительного КПД ЦВД отмечается в во всём диапазоне паровых нагрузок, зафиксированных при проведении испытаний. При этом, величина этого прироста увеличивается с ростом расхода свежего пара. Так, например, при расходе свежего пара 640 т/ч прирост внутреннего относительного КПД ЦВД составил 1,25%, а при нагрузках, близких к максимальной (910 т/ч) – 1,68%, что соответствует приросту внутренней мощности ЦВД, приблизительно на 1,5 МВт. Такое увеличение внутреннего относительного КПД ЦВД хорошо коррелируется с расчетной величиной завода-изготовителя (см. Приложение 10.6). Необходимо также отметить, что такой прирост был достигнут при относительно хорошем состоянии проточной части ЦВД до капремонта, о чём свидетельствует отсутствие в акте дефектации при вскрытии турбины №8 существенных дефектов и повреждений.

Полученные выше результаты хорошо подтверждает зависимость на рис. 3 Приложения 10.4, где показано изменение КПД отсека «АСК – 6 ступень». Как видно из указанного графика, в диапазоне расходов 640 – 910 т/ч отмечается небольшой стабильный прирост КПД отсека на уровне 1,0 – 1,2%. Меньший, по сравнению с внутренним относительным КПД ЦВД, прирост объясняется влиянием не оснащённой сотовыми уплотнениями регулирующей ступени, удельный вес которой в срабатываемом теплоперепаде для отсека «АСК – 6 ступень» существенно выше, чем для цилиндра в целом.

Вторым критерием оценки эффективности установки надбандажных сотовых уплотнений, принятым к рассмотрению в данном отчёте, является изменение плотности проточной части ЦВД в результате проведенной реконструкции.

О плотности (или «герметичности») проточной части ЦВД турбины можно судить по расхождению зависимостей внутреннего относительного КПД ЦВД в опытах с включенной регенерацией высокого давления и без неё.

Целесообразность такого сравнения, предусмотренного в Программе испытаний, основана на проведенных исследованиях [9.3] и заключается в следующем: при включенной регенерации часть высокотемпературных протечек сбрасывается в соответствующие подогреватели, а при её отключении проходит над бандажами рабочих лопаток, увеличивая температуру пара за последующей ступенью, а, следовательно, уменьшая КПД отсека. Таким образом, при уменьшении величины надбандажных протечек, разница между полученными расчетными значениями внутреннего относительного КПД ЦВД с включенной регенерацией и без неё будет снижаться, тем самым, подтверждая увеличение плотности проточной части.

Зависимости внутреннего относительного КПД ЦВД в опытах с включенной и отключенной регенерацией в обоих этапах представлены на ранее рассматривавшемся рис. 2 Приложения 10.4.

Как видно из графиков, расхождение величин внутреннего относительного КПД ЦВД до капремонта составляет порядка 1,1 %, после ремонта – не превышает 0,2%, т.е., практически отсутствует.

Таким образом, можно сделать вывод об уменьшении суммарных надбандажных протечек и соответствующем увеличении плотности проточной части ЦВД за счет уменьшения радиальных зазоров, достигаемых при установке сотовых уплотнений. Этот вывод подтверждает полученный абсолютный прирост основного показателя эффективности работы реконструированного цилиндра высокого давления – КПД.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа показателей экономичности ЦВД, полученных при проведении сравнительных тепловых испытаний паровой турбины типа Т-250/300-240 (ст. №8) до и после установки надбандажных уплотнений сотового типа на 2 – 12 ступенях цилиндра, можно сделать следующие выводы:

- **прирост внутреннего относительного КПД ЦВД на режимах, близких к номинальному, составляет 1,68% (приблизительно 1,5 МВт), что соответствует расчётным значениям завода-изготовителя, выполненным для рассматриваемого объёма реконструкции.**
- **сопоставление величин внутреннего относительного КПД ЦВД на режимах с включённой и отключённой регенерацией высокого давления до и после установки надбандажных сотовых уплотнений на 2 – 12 ступенях ЦВД показало, что расхождение указанных величин изменилось от 1,1% (до реконструкции) до 0,2% (после реконструкции), что подтверждает повышение экономичности цилиндра и эффект модернизации в целом.**
- **при оснащении надбандажными сотовыми уплотнениями регулирующей ступени ЦВД, а также ступеней ЦСД, можно ожидать более заметного увеличения показателей экономичности турбоустановки.**

9. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

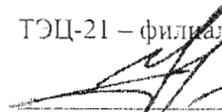
- 9.1. Методические указания по проведению тепловых испытаний паровых турбин. МУ 34-70-093-84, СПО «Союзтехэнерго», Москва, 1984 г.
- 9.2. Сахаров А.М. Тепловые испытания паровых турбин. Москва, Энергоатомиздат, 1990 г.
- 9.3. Сахаров А.М. «Влияние типа надбандажных уплотнений на экономичность». Москва. Теплоэнергетика. 1980. №5, с.24 – 25.
- 9.4. Александров А.А. Система уравнений IAPWS-IF97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах. Ч. 2. Дополнительные уравнения. Теплоэнергетика, 1998, №10, с. 64-72.
- 9.5. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата Т-250/300-240 ТМЗ, СПО Союзтехэнерго, Москва, 1976 г.
- 9.6. Методика оценки технического состояния паротурбинных установок до и после ремонта и в период между ремонтами РД 34.20.581-96, Утверждено Департаментом науки и техники РАО "ЕЭС России" 30.12.96 г.

10. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 10.1

Утверждаю:

Главный инженер
ТЭЦ-21 – филиала ОАО «Мосэнерго»

 /Ю.Г. Громов/

« 25 » 04 2012 г.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА
СРАВНИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ТИПА Т-250/300-240, ст. №8
ТЭЦ-21 – ФИЛИАЛА ОАО «МОСЭНЕРГО»
ДО И ПОСЛЕ УСТАНОВКИ НАДБАНДАЖНЫХ
СОТОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ 2-12 СТУПЕНЕЙ ЦВД

Составители: Московский филиал ОАО «Южный ИЦЭ»

Начальник ЦИТО

Фатьков О.В.

Бригадный инженер

Александров С.В.

Москва, 2012 г.

1. Цель испытаний

Целью испытаний является проверка эффективности внедрения надбандажных сотовых уплотнений при работе турбоустановки в режиме электрического графика с включёнными и отключёнными подогревателями высокого давления (ПВД).

Эффективность внедрения надбандажных уплотнений сотового типа оценивается на основе сравнения КПД ЦВД до и после капремонта на режимах с включёнными и отключёнными ПВД. Для минимизации погрешности сравнения этапы испытаний проводятся по единой методике с использованием одних и тех же средств измерений.

2. Экспериментальная часть

2.1. Этап №1. Испытания до установки надбандажных сотовых уплотнений.

Серия 1. Проектная схема. Режим электрического графика.

Номер опыта	1	2	3	4	5
Электрическая мощность, МВт	175	195	210	230	250

Серия 2. ПВД отключены. Режим электрического графика.

Номер опыта	1	2	3	4
Электрическая мощность, МВт	170	195	210	230

2.2. Этап №2. Испытания после установки надбандажных сотовых уплотнений.

Серия 1. Проектная схема. Режим электрического графика.

Номер опыта	1	2	3	4	5
Электрическая мощность, МВт	175	195	210	230	250

Серия 2. ПВД отключены. Режим электрического графика.

Номер опыта	1	2	3	4
Электрическая мощность, МВт	170	195	210	230

Продолжительность каждого опыта составляет порядка 45 мин стабильного режима.

3. Условия проведения испытаний

- 3.1. Режим работы на время проведения испытаний – одноступенчатый подогрев сетевой воды.
 - 3.2. Тепловая схема – проектная (на время испытаний в рамках этапа №2 (после КР) тепловая схема должна быть идентична собранной во время этапа №1 (до КР) [в т.ч. положение диафрагм ЦНД, расход пара на РОУ 40/13, 6/2,5, расход сетевой воды через БУ энергоблока]).
 - 3.3. Максимально-допустимые отклонения параметров от среднего значения во время опыта не должны превышать следующих величин:
-

- по давлению свежего пара $\pm 3 \text{ кгс/см}^2$
- по температуре свежего пара $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- по температуре промперегрева $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- по расходу сетевой воды $\pm 100 \text{ м}^3/\text{ч}$

4. Схема измерений

Для измерения параметров используется штатная АСУ ТП, а также ряд дополнительных измерений по месту.

Перед проведением испытаний необходимо:

- установить по месту поверенные манометры/мановакууметры кл. 0,6 (1,0) для измерения давления в наиболее важных точках цикла: перед стопорным клапаном, в камере регулирующей ступени, за ЦВД, в камерах отборов пара на регенеративные и сетевые подогреватели, вакуум в конденсаторе,

- организовать поверку каналов измерения температур свежего пара и пара за ЦВД.

Для обеспечения полного соответствия схемы измерений первого и второго этапов издаётся распоряжение, согласно которому обеспечивается неизменность состояния первичных датчиков температуры и давления пара на входе (перед АСК) и выходе ЦВД, а также в I отборе. Данные приборы необходимо оставить в исходных точках (не извлекая термопары и не отсоединяя датчики давления), чтобы сохранить неизменность их характеристик.

5. Обработка результатов испытания

По окончании тепловых испытаний специалистам Московского филиала ОАО «Южный ИЦЭ» передаётся массив данных по активной электрической мощности из системы АСКУИЭ, а также необходимые данные из АСУ ТП по Протоколу (см. Приложение). В процессе обработки данных будут учтены все отклонения (если таковые имеются) от проектной схемы и от номинальных параметров путём внесения поправок, выданных заводом-изготовителем.

По результатам обработки и анализа результатов испытания составляется технический отчёт, включающий в себя текстовую часть, необходимые графические зависимости и вывод об эффективности установки надбандажных сотовых уплотнений турбоустановки.

6. Порядок проведения испытаний и меры безопасности.

Испытания проводятся персоналом ТС и Службы стандартов совместно с представителями Московского филиала ОАО «Южный ИЦЭ».

Начало испытаний назначается в соответствии с разрешенной диспетчерской заявкой.

Все необходимые переключения при проведении испытаний выполняются оперативным персоналом УОЭ по указанию руководителя испытаний через начальника смены и согласования НСС.

На всех режимах работы турбоустановки критерии безопасности (осевой сдвиг ротора турбины, относительное положение ротора, давление в камере регулирующей ступени и т.д.) не должны выходить за пределы значений, установленных заводской и станционной инструкциями по эксплуатации турбоагрегата и другими директивными документами.

При возникновении аварийной ситуации испытания прекращаются и возобновляются лишь после восстановления нормального режима работы оборудования.

Ответственность за соблюдение ПТБ персоналом, участвующим в испытании, несут начальники соответствующих подразделений.

Перед началом испытаний весь персонал, принимающий в них участие, должен быть ознакомлен с настоящей программой и проинструктирован по своим действиям и мерам безопасности.

От Беклемишев: изменения схемы КТО-2

СОГЛАСОВАНО:

От ТЭЦ-21 - филиала ОАО «Мосэнергосбыт»

Начальник Службы Стандартов

Начальник ТС

Начальник СЛК

Начальник ЭТС

М.М. Богатов

Д.А. Куликов

А.В. Воронин

А.Д. Беклемишев

От Московского филиала ОАО «Южный ИЦЭ»

Начальник ЦИТО

Бригадный инженер

О.В. Фатьков

С.В. Александров

Приложение 10.2. Сводная таблица основных измеренных величин (I этап).

1	№ опыта		Ед. изм.	1	2	3	4	5	6
	Режим работы								
2	Режим работы		изм.	Режим с отключёнными ПВД					
3	Свежий пар перед стопорным клапаном	расход	т/ч	785,68	789,35	798,99	782,13	691,97	778,76
4		давление	кгс/см ²	241,07	240,42	241,08	241,35	240,97	240,80
5		температура	°С	540,75	541,05	540,58	540,85	541,38	541,02
6	Расход питательной воды на котёл		т/ч	853,82	859,46	868,55	852,21	766,44	850,40
7	Барометрическое давление		кгс/см ²	1,0143	1,0088	1,0156	1,0184	1,0143	1,0143
8	Давление пара	в камере рег. ступени	кгс/см ²	151,61	152,82	154,27	150,99	134,50	150,65
9		за 6 ступенью	кгс/см ²	87,174	88,059	88,856	86,728	77,264	86,494
10		в камере I отбора	кгс/см ²	-	-	-	-	-	-
11	на выходе ЦВД		кгс/см ²	41,370	42,236	42,451	41,031	37,169	40,858
12	Температура пара	в камере 6 ступени	°С	394,23	395,20	395,54	393,69	387,43	393,83
13		на выходе ЦВД	°С	302,67	304,87	304,56	301,65	296,77	301,82
14	Температура питательной воды		°С	-	-	-	-	-	-
15	Электрическая мощность		МВт	234,64	246,85	251,08	224,91	203,59	239,13

Приложение 10.2 (окончание).

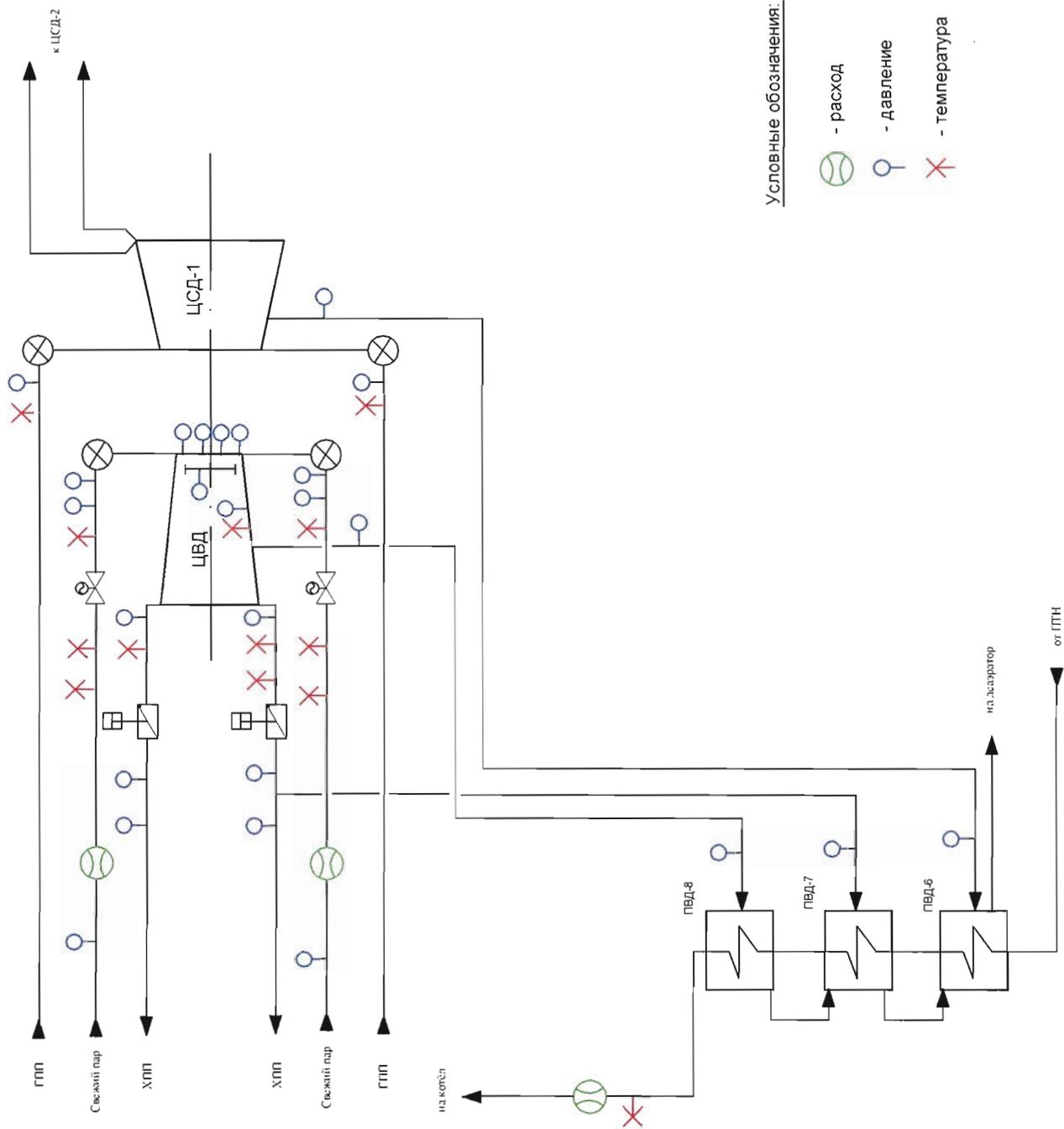
1	№ опыта		Ед. изм.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Режим работы													
2	Режим работы			Режим с включёнными ПВД										
3	Свежий пар перед стопорным клапаном	расход	т/ч	622,17	653,05	751,74	826,64	880,46	558,21	921,14	717,43	561,60	803,91	914,51
4		давление	кгс/см ²	239,44	239,72	238,56	240,92	242,20	241,01	239,78	240,11	240,00	240,54	240,66
5	температура		°С	542,60	541,22	541,13	540,65	540,59	542,40	541,08	542,22	542,80	541,80	541,36
6	Расход питательной воды на котёл		т/ч	707,00	735,47	833,03	899,71	949,21	644,15	992,75	799,04	648,69	881,14	985,36
7	Барометрическое давление		кгс/см ²	1,0170	1,0211	1,0102	1,0102	1,0156	1,0238	1,0306	1,0224	1,0184	1,0156	1,0252
8	Давление пара	в камере рег. ступени	кгс/см ²	121,00	126,40	145,06	157,62	166,85	108,22	175,36	138,18	109,03	153,65	173,84
9		за 6 ступенью	кгс/см ²	67,357	70,581	80,460	88,060	93,006	60,514	98,091	77,032	60,988	85,836	97,295
10	на выходе ЦВД	в камере I отбора	кгс/см ²	36,723	38,642	43,705	47,432	49,360	33,294	51,849	41,486	33,428	46,039	51,423
11		на выходе ЦВД	кгс/см ²	28,654	30,278	34,005	37,303	38,666	25,998	40,681	32,381	26,093	35,815	40,386
12	Температура пара	в камере 6 ступени	°С	379,16	380,87	388,07	394,84	400,55	373,26	408,04	385,63	373,95	392,62	406,96
13		на выходе ЦВД	°С	276,09	278,63	282,34	289,14	292,05	272,10	297,72	280,15	272,00	285,92	296,93
14	Температура питательной воды		°С	241,55	244,29	251,1	255,74	257,9	235,88	260,64	248,21	236,15	253,93	260,11
15	Электрическая мощность		МВт	169,37	181,54	210,91	235,55	243,56	154,16	254,96	199,96	152,63	221,24	254,28

Приложение 10.3. Сводная таблица основных измеренных величин (II этап)

1	№ опыта		Ед. изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Режим работы											
3	Свежий пар перед стопорным клапаном	расход	т/ч	652,95	725,93	783,22	841,52	900,21	610,82	661,74	695,76	746,88
4		давление	кгс/см ²	241,19	241,01	241,05	240,75	240,30	242,08	240,94	240,85	240,68
5		температура	°С	543,04	542,53	542,19	541,87	542,07	544,05	544,05	542,98	542,72
6	Расход питательной воды на котёл		т/ч	734,19	805,34	859,73	915,51	971,97	698,84	751,69	785,02	835,19
7	Барометрическое давление		кгс/см ²	1,0068	1,0048	1,0034	1,0007	1,0020	0,9993	0,9993	1,0007	1,0048
8	Давление пара	в камере рег. ступени	кгс/см ²	121,25	134,18	144,22	154,44	165,35	115,30	124,86	131,13	140,38
9		за 6 ступенью	кгс/см ²	67,659	74,743	80,364	86,238	92,261	66,365	71,955	75,620	80,959
10		в камере I отбора	кгс/см ²	36,881	40,293	43,105	45,912	48,737	-	-	-	-
11	на выходе ЦВД		кгс/см ²	28,882	31,504	33,754	35,999	38,261	32,618	35,503	37,222	39,641
12	Температура пара	в камере 6 ступени	°С	375,87	380,60	385,49	392,54	399,91	378,50	382,22	384,85	388,79
13		на выходе ЦВД	°С	271,87	274,42	278,22	283,74	289,62	288,77	292,23	294,45	297,44
14	Температура питательной воды		°С	241,41	246,22	249,94	253,46	256,77	-	-	-	-
15	Электрическая мощность		МВт	176,68	194,78	210,03	226,50	250,60	180,27	196,95	209,49	230,13

Приложение 10.4. Графический материал

Принципиальная схема паровой турбины Т-250/300-240 ст. №8 ТЭЦ-21 Мосэнерго с точками измерений



Условные обозначения:

-  - расход
-  - Давление
-  - температура

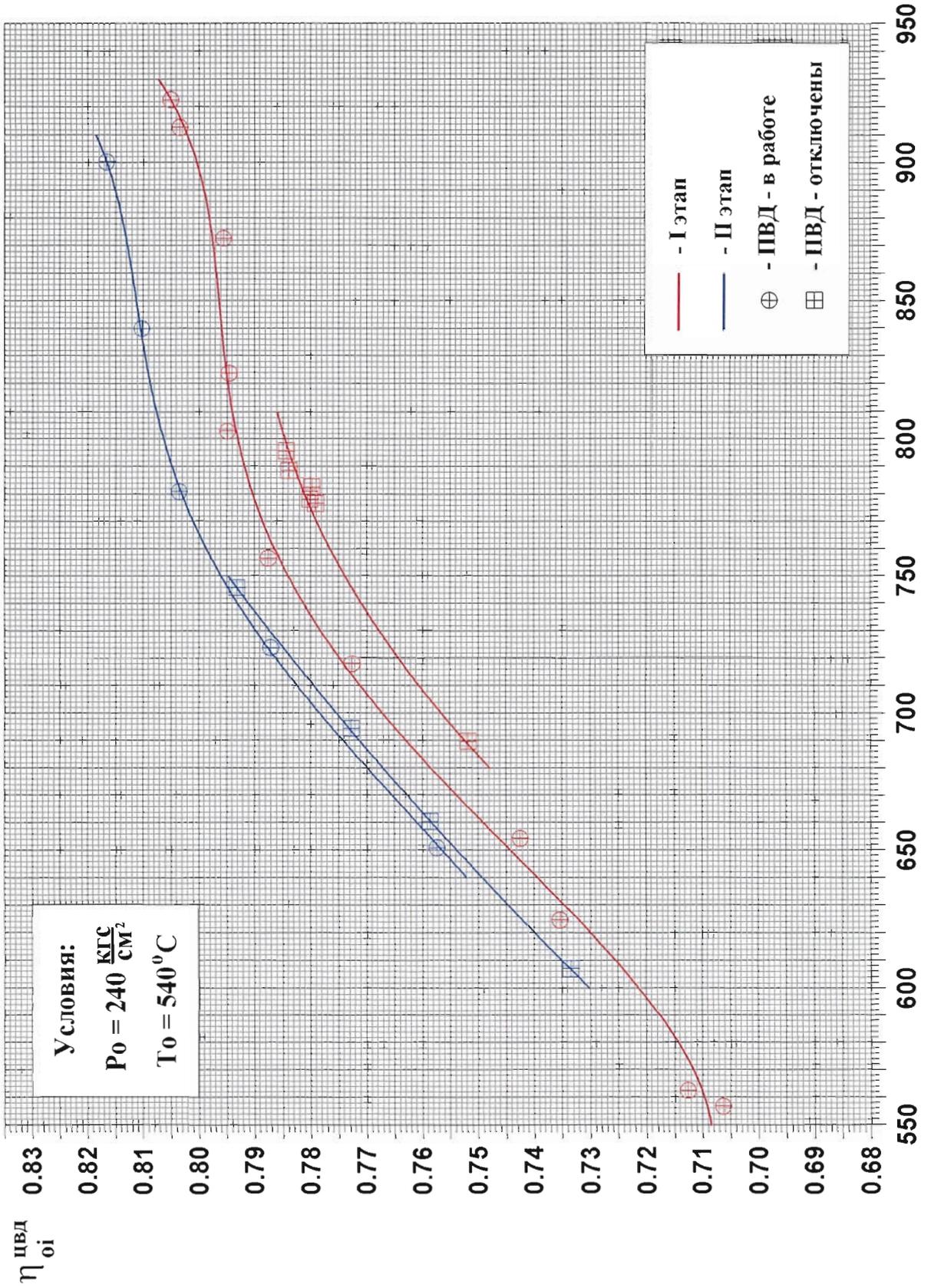
Рук.ЦИТО	Фатьков		11.12
Рук.раб.	Сахаров		
Исполн.	Александров		

Турбоагрегат ЛМЗ
 типа Т-250/300-240 УТЗ ст. №8
 ТЭЦ-21 Мосэнерго

Рис.№ 1

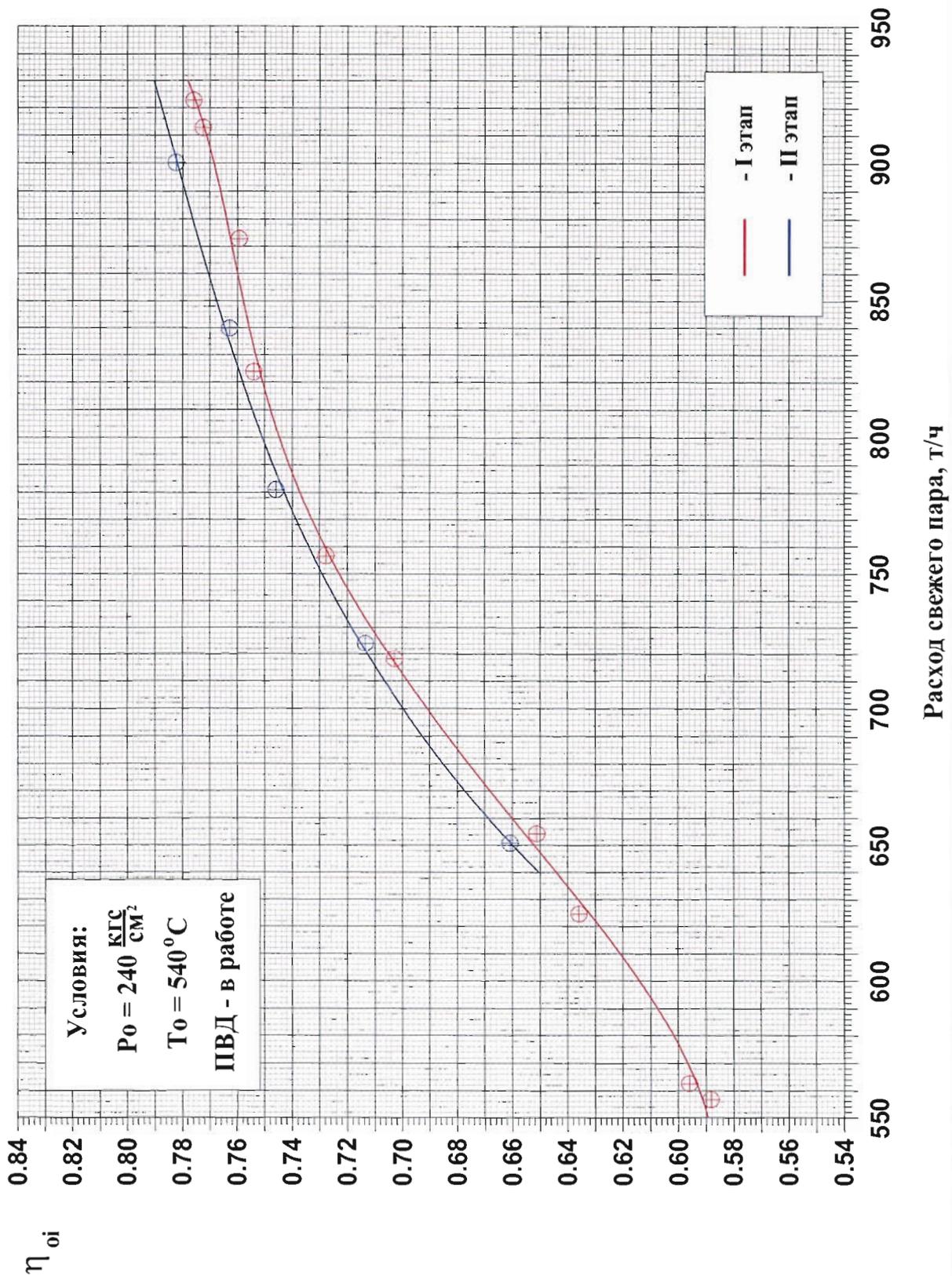
ОАО "Южный ИЦЭ"
 Московский Филиал

Внутренний относительный КПД ЦВД



Рук.ЦИТО	Фатьков	 11.12	Турбоагрегат типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"	Рис. 2 ОАО "Южный ИЦЭ" Московский Филиал
Рук.гр.	Сахаров			
Исполн.	Александров			

Внутренний относительный КПД отсека "АСК - 6 ступень"



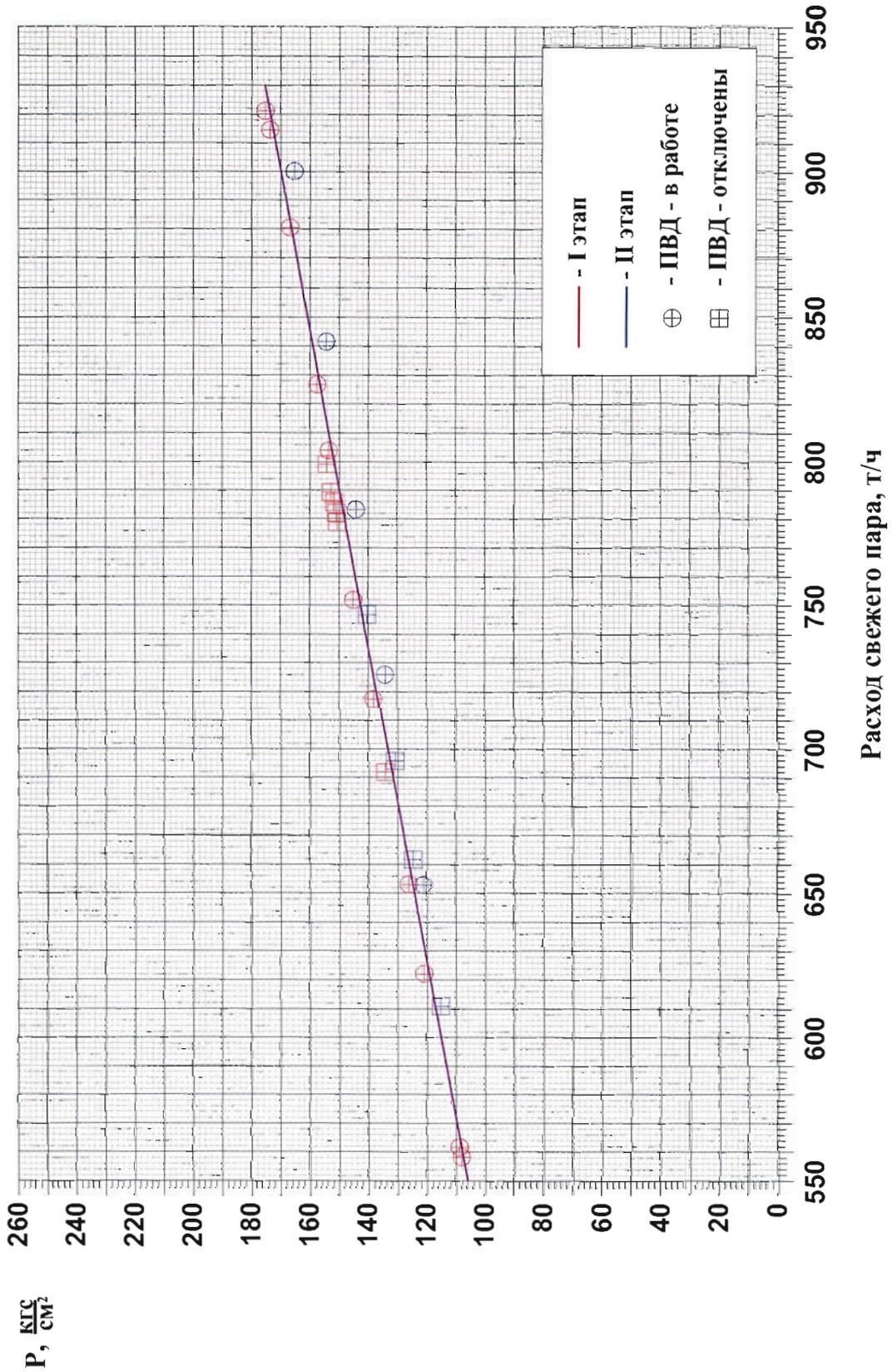
Рук.ЦИТО	Фатьков	<i>[Signature]</i>	11.12
Рук.гр.	Сахаров	<i>[Signature]</i>	
Исполн.	Александров	<i>[Signature]</i>	

Турбоагрегат
 типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8
 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"

Рис. 3

ОАО "Южный ИЦЭ"
 Московский Филиал

Давление пара в камере регулирующей ступени ЦВД

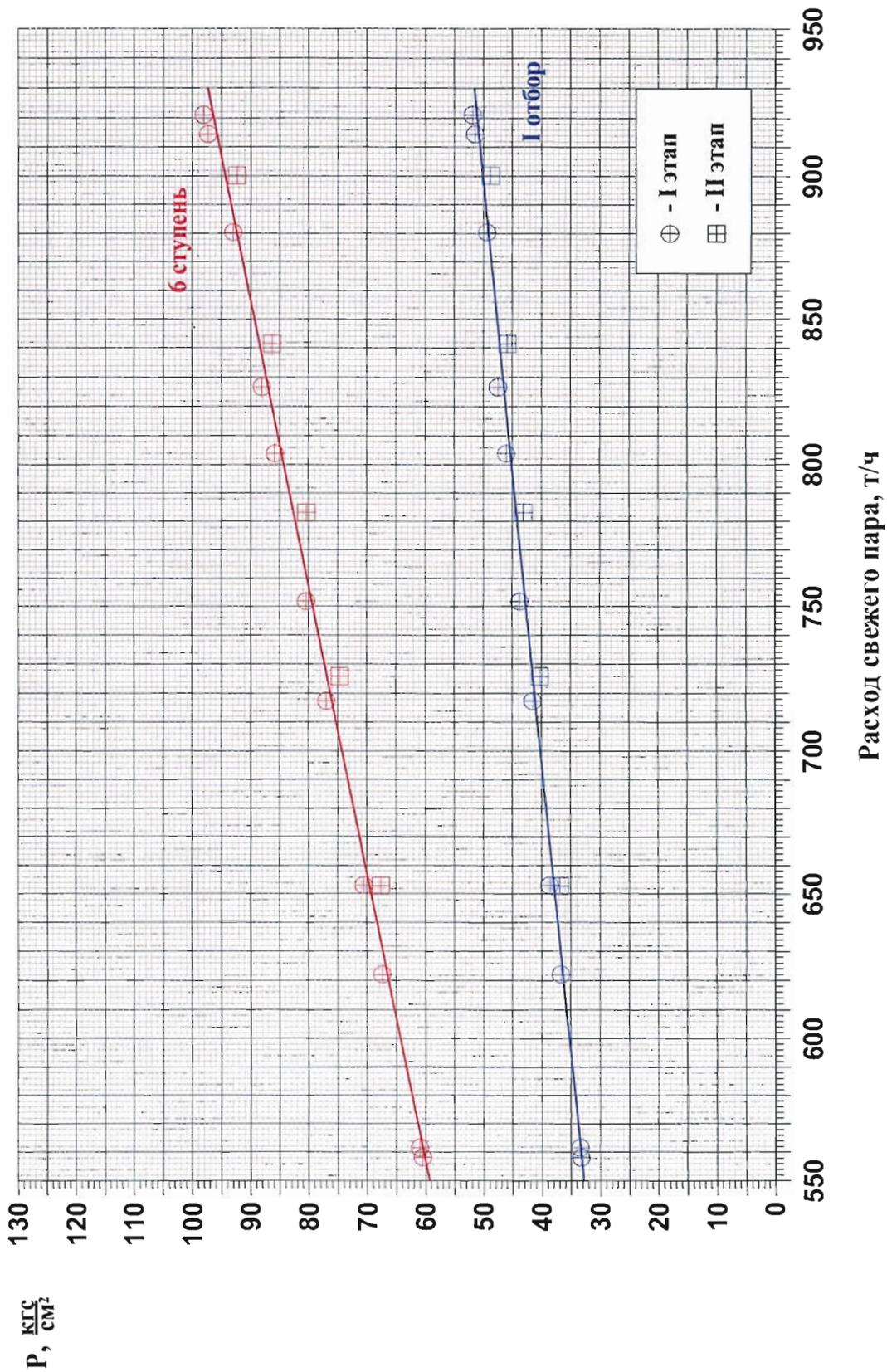


Рук.ЦИТО	Фатьков	<i>[Signature]</i> 11.12
Рук.гр.	Сахаров	<i>[Signature]</i>
Исполн.	Александров	<i>[Signature]</i>

Турбоагрегат
 типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8
 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"

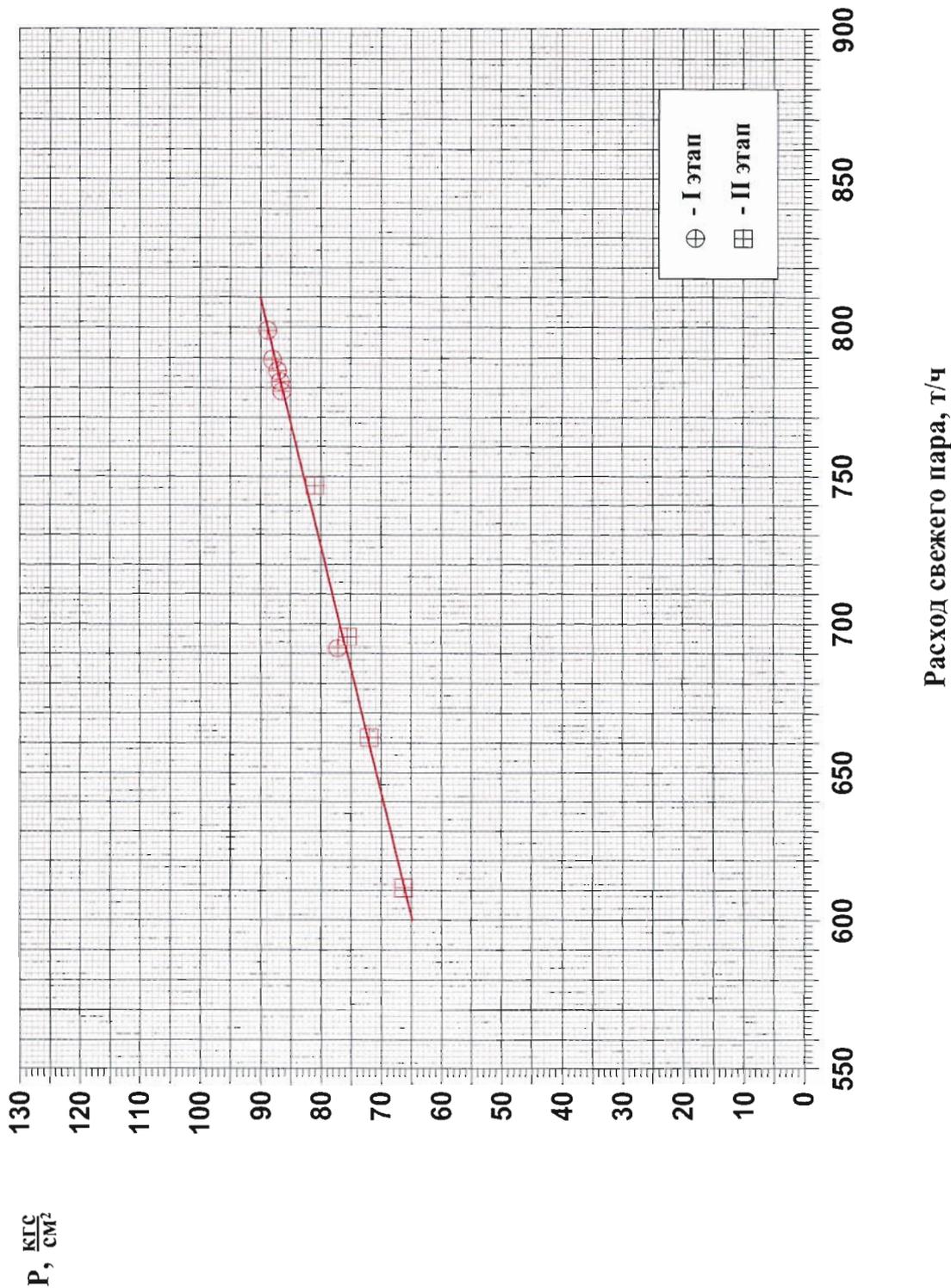
Рис. 4
 ОАО "Южный ИЦЭ"
 Московский Филиал

Давление пара за 6 ступенью и в I отборе (режим работы с ПВД)



Рук.ЦИТО	Фатъков	<p>Турбоагрегат типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"</p>	<p>Рис. 5 ОАО "Южный ИЦЭ" Московский Филиал</p>
Рук.гр.	Сахаров		
Исполн.	Александров		

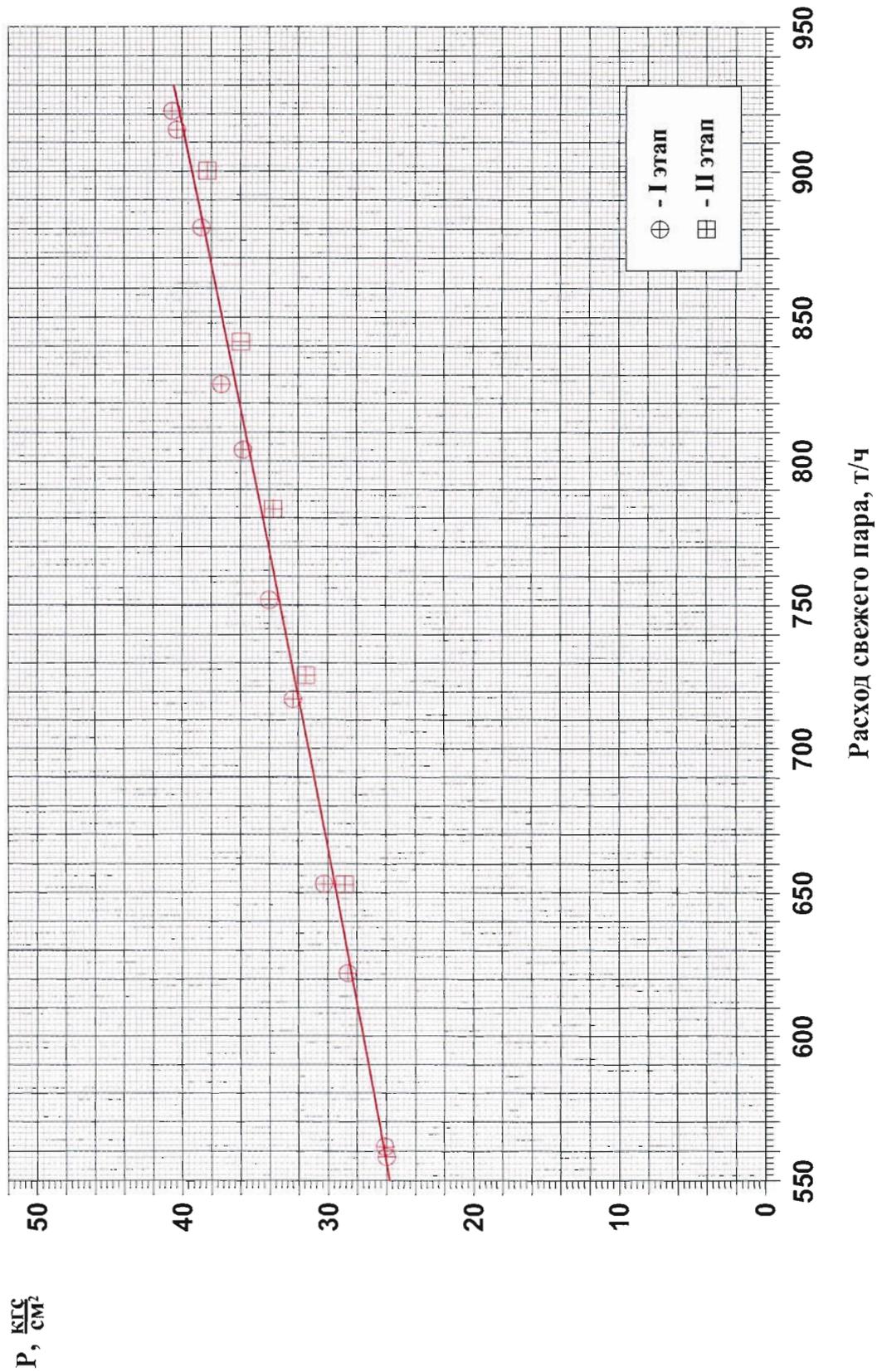
Давление пара за 6 ступенью (режим работы без ПВД)



Расход свежего пара, т/ч

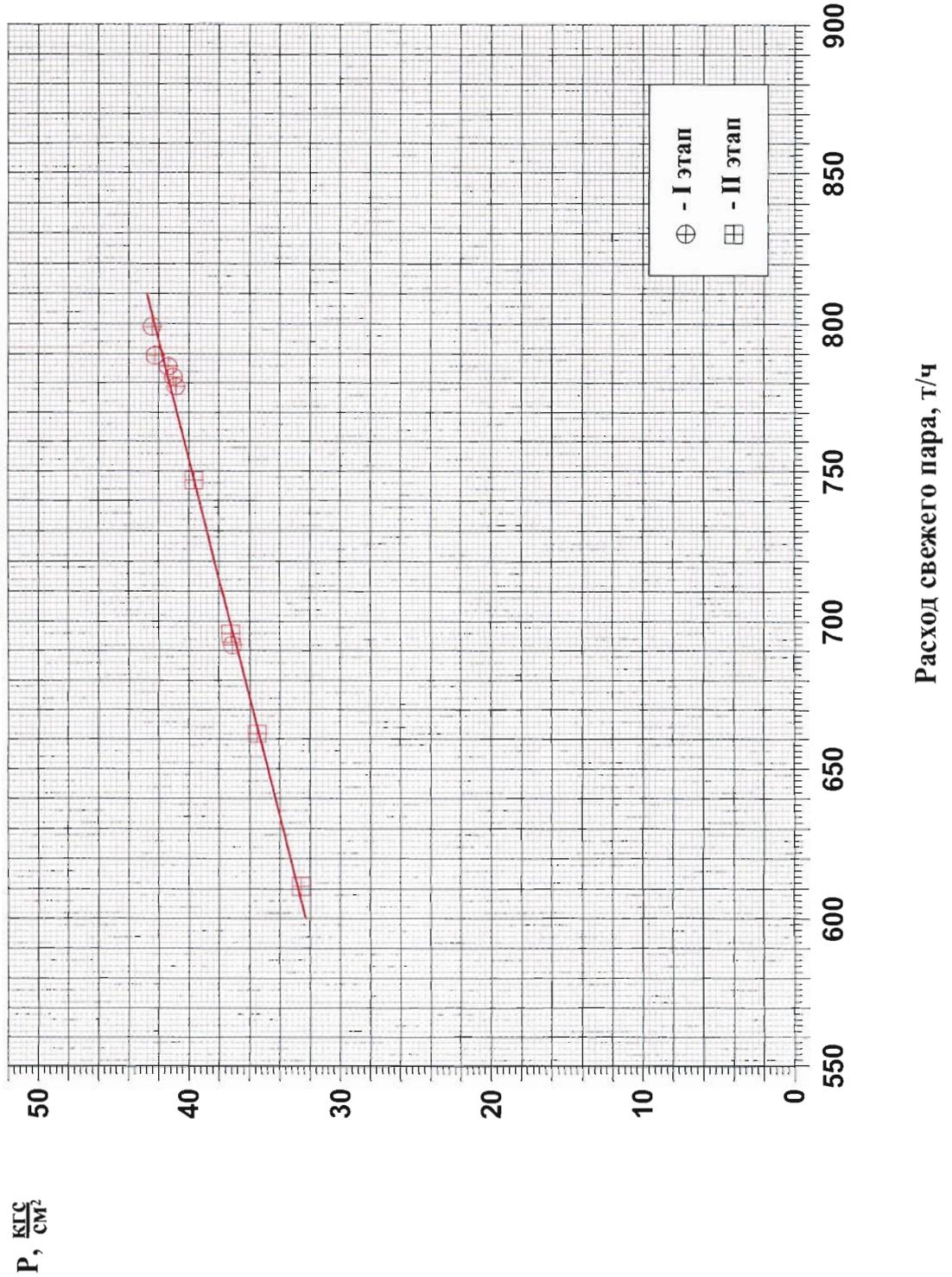
Рук.ЦИТО	Фатьков	<i>[Signature]</i> 11.12	Турбоагрегат типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"	Рис. 6 ОАО "Южный ИЦЭ" Московский Филиал
Рук.гр.	Сахаров	<i>[Signature]</i>		
Исполн.	Александров	<i>[Signature]</i>		

Давление пара на выходе ЦВД (режим работы с ПВД)



Турбоагрегат			Рис. 7
типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8			
ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"			
Рук.ЦИТО	Фатьков	<i>[Signature]</i>	ОАО "Южный ИЦЭ" Московский Филиал
Рук.гр.	Сахаров	<i>[Signature]</i>	
Исполн.	Александров	<i>[Signature]</i>	

Давление пара на выходе ЦВД (режим работы без ПВД)

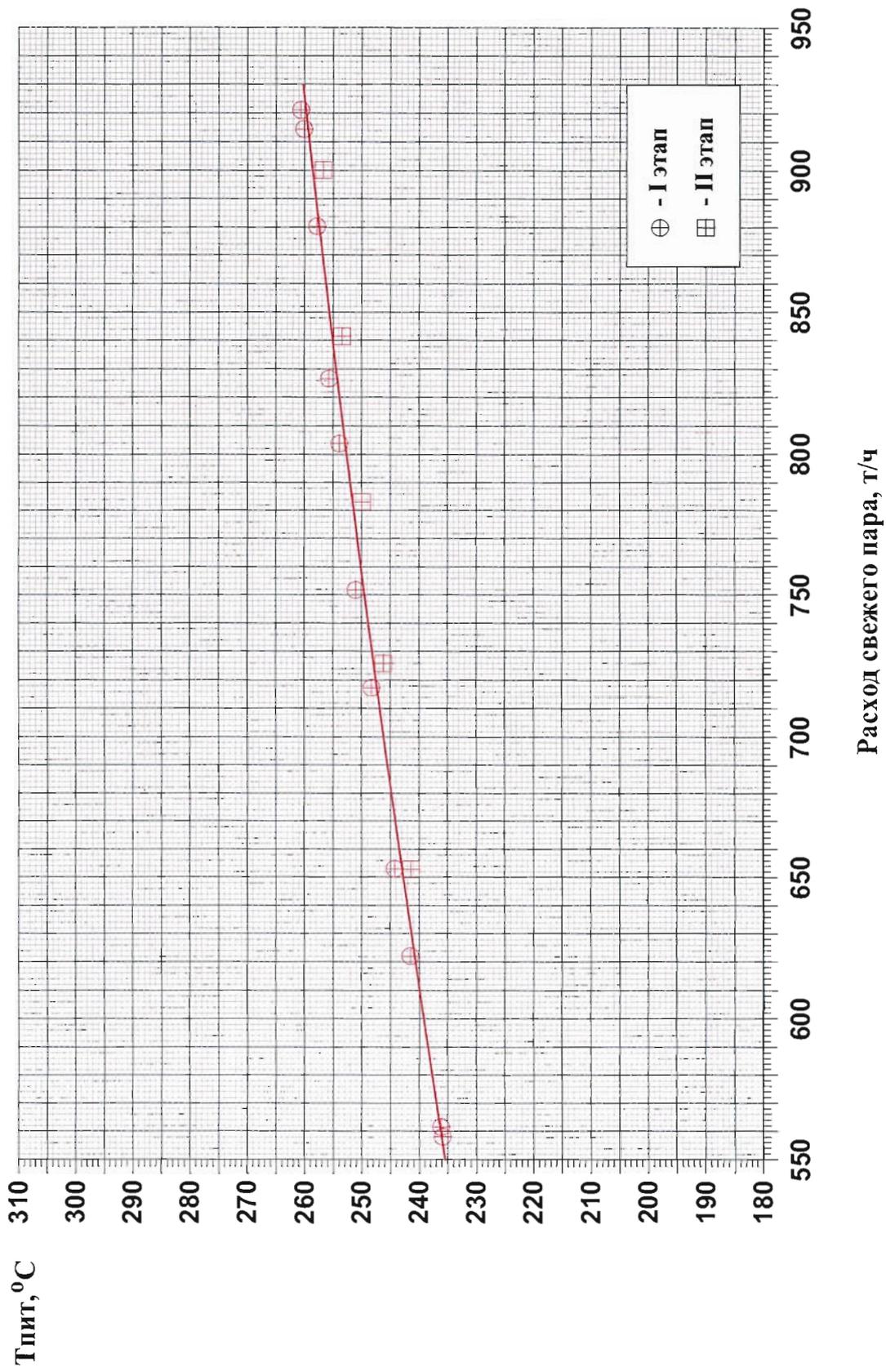


Рук.ЦИТО	Фатьков	<i>[Signature]</i> 11.12
Рук.гр.	Сахаров	<i>[Signature]</i>
Исполн.	Александров	<i>[Signature]</i>

Турбоагрегат
 типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8
 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"

Рис. 8
 ОАО "Южный ИЦЭ"
 Московский Филиал

Температура питательной воды



Рук.ЦИТО Фатков <i>Фатков</i> 1,12 Рук.гр. Сахаров <i>Сахаров</i> Исполн. Александров <i>Александров</i>		Турбоагрегат типа Т-250/300-240 УТЗ, ст. №8 ТЭЦ-21 ОАО "Мосэнерго"	Рис. 9 ОАО "Южный ИЦЭ" Московский Филиал
--	--	--	--

Ротор в соответствии с рис 1 в сторону ГЕН.

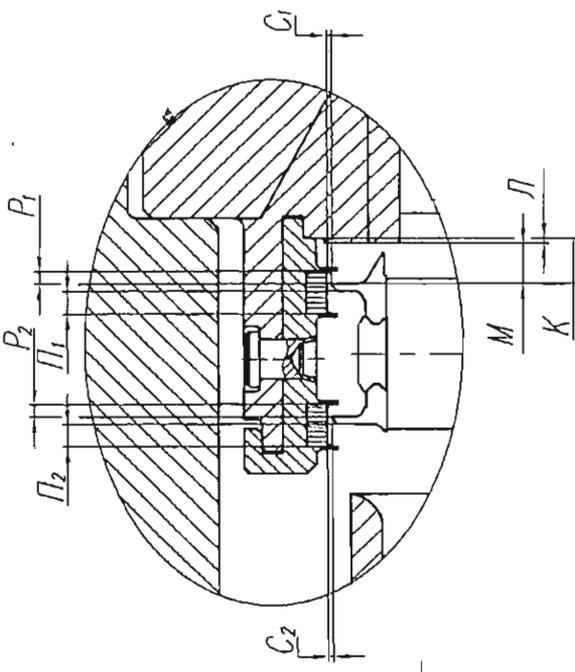
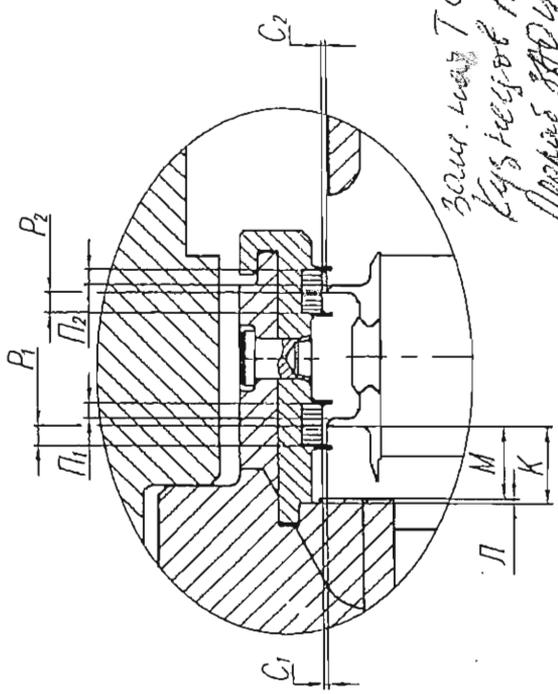


Рис 2



Зазоры 2-6 ступеней

В миллиметрах

Номер ступени	Р ₁		Р ₂		П ₁		П ₂		C ₁			C ₂				
	по черт. 2,5±0,5		по черт. 2,5±0,5		по черт. 4,5±0,5		по черт. 4,5±0,5		по черт. а1-а6			по черт. а1-а3				
	лев	прав	лев	прав	лев	прав	лев	прав	лев	прав	низ	верх	лев	прав	низ	
2	3,4	3,2	3,2	3,2	3,6	4,0	3,6	4,0	0,5	0,5	0,7	0,7	0,45	0,45	0,2	0,5
3	3,4	3,4	3,4	3,4	4,4	4,6	4,4	4,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,55	0,7
4	3,4	3,3	3,3	3,3	4,1	4,0	4,0	4,0	0,6	0,45	0,7	0,6	0,45	0,45	0,35	0,7
5	3,8	3,1	2,6	2,9	4,3	4,3	4,3	4,3	0,45	0,45	0,6	0,4	0,45	0,35	0,3	0,5
6	3,4	3,4	3,4	3,3	4,1	4,4	4,1	4,3	0,6	0,4	0,35	0,6	0,6	0,4	0,3	0,6
Поворот вала на 90°																
2																
3																
4																
5																
6																

Зазоры 7-12 ступеней

В миллиметрах

Номер ступени	Р ₁		Р ₂		П ₁		П ₂		C ₁			C ₂				
	по черт. 4±0,5		по черт. 4±0,5		по черт. 3±0,5		по черт. 3±0,5		по черт. а1-а6			по черт. а1-а3				
	лев	прав	низ	верх	лев	прав	низ									
7	4,1	4,0	4,4	4,2	2,9	2,9	2,9	2,9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3	0,7
8	4,3	4,2	4,3	4,1	3,0	3,1	3,0	3,0	0,5	0,6	0,7	0,7	0,45	0,55	0,3	0,7
9	4,5	4,4	4,3	4,2	3,0	3,0	3,0	3,0	0,45	0,6	0,8	0,4	0,6	0,5	0,8	0,8
10	5,0	5,3	5,3	5,0	2,2	2,2	2,2	2,2	0,5	0,5	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8
11	5,2	5,0	5,3	5,0	2,2	2,2	2,2	2,2	0,45	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8
12	3,5	3,8	3,6	3,8	3,5	3,3	3,6	3,4	0,65	0,55	0,75	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4
Поворот вала на 90°																
7																
8																
9																
10																
11																
12																

Зам. зам. Т.С.
Курбанов А.Н. Вел
Проект ЭДЦУМЗ
Корректировка
24.08.12

Вар. см. номер 4177. АРМС
Турбина К-250/300-240-2 ст. 12

АРМС.019.000 Ф0

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разработ.	Горлицын	Дорохин		
Проверил				
И. колл.	Горлицын			
Утвердил	Уч...			

Зазоры в набрандах статоров уплотненных 2...12 ступеней ИВД

000 "НПП "АРМС"

1. Замеры осевых зазоров генератора производить при положении ротора, отжатом в сторону генератора до упора в упорные колодки
2. Стороны левая и правая определяются смотря на турбину со стороны переднего подшипника.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10.6

ЗАО "Уральский турбинный завод"
620017, г.Екатеринбург, Ул.Фронтовых Бригад, 18
тел. (343) 326-41-09, 326-40-96
факс. (343) 333-56-75 www.utz.ru mail@utz.ru

Директору
ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго»
Копвалову В.К.

Копия:
ООО «НПП «АРМС»
Мартынову Ю.Г.

Исх. № 04-14/0235 -С от 11.03.11

Уважаемый Виктор Клавдиевич!

Учитывая многолетний положительный опыт эксплуатации сотовых надбандажных уплотнений конструкции НПП «АРМС» на паровых турбинах производства ЗАО «УТЗ», подтверждаем целесообразность установки сотовых надбандажных уплотнений на 2-12 ступени ЦВД паровой турбины Т-250/300-240 ст. №9 ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго» для повышения надежности и экономичности работы турбоагрегата.

Расчётное увеличение относительного внутреннего КПД ЦВД п/т Т-250/300-240, за счёт установки сотовых надбандажных уплотнений на 2-12 ступени при работе на проектных зазорах 0,2...0,25 мм, составит 0,7-1,0%, что соответствует приросту электрической мощности турбины 0,5-1 МВт.

Ваш ответ прошу направить на факс (343) 333-56-78 и e-mail : utropsueomml@utz.ru

С уважением,
технический директор

Валамин А.Е.

Исп. Козич С.В. (343) 333-54-89

