МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО НАЛАДКЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ПО "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

Москва 1989

Р А З Р А Б О Т А Н О предприятием "Средазтехэнерго" Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго"

И С П О Л Н И Т Е Л Ь Г.Б.ФЕДОРИН

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Производственным объединением по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго" I2.04.88 г.

Главный инженер К.В.ШАХСУВАРОВ

© СПО Союзтехэнерго, 1989.

УДК 621.184.3.001.4

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

Срок действия установлен
с 01.01.89 г.
до 01.01.94 г.

В основу настоящих Методических указаний положены материалы экспериментальных работ ПО "Союзтехэнерго".

Методические указания распространяются на пароперегреватели энергетических котлов с абсолютным давлением от 1,4 до 25,0 МПа (от 14 до 255 кгс/см$^2$) и устанавливают порядок организации, проведения и обработки результатов их испытаний.

Методические указания не распространяются на пароперегреватели котлов специального назначения.

Методические указания предназначены для производственных подразделений ПО "Союзтехэнерго" и могут быть рекомендованы для специализированных наладочных организаций, служб наладки РЭУ и ПЭО и цехов наладки электростанций.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основной целью испытаний является проверка надежности пароперегревателей в стационарных и нестационарных режимах эксплуатации с определением при необходимости их тепловых и гидравлических характеристик, а также выработка рекомендаций по повышению надежности и улучшению работы пароперегревателей.

1.2. Натурные испытания пароперегревателей проводятся в следующих случаях:

при пуске и освоении всех головных котлов;

при реконструкции пароперегревателей и других элементов котлов;

при переводе котлов на сжигание непроектных видов топлива, особенно в тех случаях, когда увеличивается тепловосприятие пароперегревателей или имеет место шлакование;

при повышении параметров пара;

при расширении регулировочного диапазона нагрузок котла за пределы, установленные заводом-изготовителем;

для выявления причин отклонения температуры перегретого пара от расчетной (предельно допустимой) и причин аварийного состояния пароперегревателя.

I.3. В зависимости от целей испытаний, объема определяемых характеристик и измерений испытания проводятся по двум категориям сложности.

I.3.I. По первой категории сложности проводятся расширенные испытания пароперегревателей головных котлов для определения показателей работы пароперегревателей при различных эксплуатационных режимах котла: пуске и останове, при разных нагрузках, избытке воздуха и коэффициенте рециркуляции дымовых газов, при изменении схемы подачи топлива и воздуха по горелкам и др.

Определению подлежат следующие показатели надежности, тепловой и гидравлической работы пароперегревателей:

температурный режим пароперегревателей и их элементов;

теплогидравлическая разверка;

регулировочные, тепловые и гидравлические характеристики (статические и динамические), т.е. изменения температур, энтальпий и давлений среды в пароперегревателях и их элементах в зависимости от режимных факторов.

Перечисленные показатели определяются для установления соответствия их значений расчетным.

При этом в объем экспериментально определяемых показателей, требующихся для оценки надежности и других свойств пароперегревателей, входят:

температура среды на входе и выходе пароперегревателей;

температура среды на входе и выходе элементов пароперегре-

вателей (подпотоков, ступеней, панелей, контуров, витков, труб);

максимальная температура среды на выходе элементов пароперегревателей;

температура металла труб в зоне обогрева;

максимальная температура металла труб в зоне обогрева;

давление среды на выходе и входе пароперегревателей и их элементов;

перепады давлений в пароперегревателях и их элементах;

изменение давления по длине коллекторов пароперегревателей и их элементов (выполняется только в случае необходимости);

расход пара в пароперегревателях и их элементах;

давление, температура и расход собственного конденсата и питательной воды, подаваемых во впрыскивающие пароохладители;

давление и температура охлаждающей воды на входе и выходе поверхностных пароохладителей;

расход охлаждающей воды, подаваемой в поверхностные пароохладители;

давление и температура греющего пара на входе и выходе паропарового теплообменника;

расход греющего пара через паропаровой теплообменник;

давление и температура нагреваемого пара на входе и выходе паропарового теплообменника;

расход нагреваемого пара через паропаровой теплообменник;

давление и температура греющего пара на входе и выходе газопаропарового теплообменника;

расход греющего пара через газопаропаровой теплообменник;

давление и температура нагреваемого пара на входе и выходе газопаропарового теплообменника;

расход нагреваемого пара через газопаропаровой теплообменник;

давление и температура среды на входе и выходе байпасируемой поверхности;

давление и температура среды после ее смешения с байпасируемой частью;

параметры, характеризующие режим работы котла;

характеристики топлива, коэффициент избытка воздуха в режимном сечении, давление и температура воздуха, температуры ды-

мовых газов в характерных точках с определением в случае необходимости поля температур в отдельных сечениях газоходов, коэффициент рециркуляции дымовых газов, доля газов рециркуляции в воздухе, идущем на горение; степень открытия регулирующих устройств вспомогательных механизмов.

I.3.2. По второй категории сложности проводятся испытания пароперегревателей серийных котлов. При этом в объем определяемых показателей входят температурный режим пароперегревательных поверхностей нагрева и их регулировочные характеристики, определяемые в зависимости от ограниченного числа режимных факторов: нагрузки, избытка воздуха и схем подачи топлива и воздуха по горелкам.

Показатели определяются для оценки фактической надежности и условий работы пароперегревателей.

I.4. Надежный температурный режим обогреваемых труб пароперегревателей характеризуется достаточным запасом механической прочности и отсутствием окалинообразования.

Нарушение надежности температурного режима определяется по превышению измеренных температур труб в зоне обогрева над допустимыми. Средняя по толщине стенки температура трубы не должна превышать допустимую по условиям длительной прочности, температура наружной поверхности труб - предельную по условиям окалинообразования.

В нестационарных режимах (пуск, останов и др.) скорости прогрева толстостенных элементов пароперегревателей (коллекторов, трубопроводов и др.) не должны превышать допустимых значений.

I.5. Теплогидравлическая разверка, возникающая вследствие неравномерности тепловосприятия и гидравлической неравномерности параллельно включенных труб, определяется коэффициентами температурной, тепловой и гидравлической разверок.

Указанные коэффициенты определяются соответственно отношениями температуры, приращения энтальпии, расхода среды развернной трубы к средним значениям этих величин в контуре или элементе.

I.6. Регулировочные, тепловые и гидравлические характеристики определяются как зависимости от времени температуры, энтальпии, их приращений и давления среды в пароперегревателях;

температурный режим труб определяется в зависимости от режимных факторов в стационарных режимах (в первую очередь, нагрузки, коэффициентов избытка воздуха и газовой рециркуляции и т.д.).

Зависимости указанных параметров от времени при нестационарных режимах называются динамическими характеристиками.

I.7. В необходимых случаях (для новых схем и конструкций пароперегревателей, предварительной оценки их температурного режима, уточнения причин повреждений и др.) производится расчет тепловой и гидравлической разверок, определение температуры металла развереных витков (змеевиков) пароперегревателей в зонах максимальных местных удельных тепловосприятий и наибольшей температуры пара. Расчет производится на основании нормативных методов.

Однако методики расчета не могут охватить все условия работы пароперегревателей, особенно во вновь создаваемых котлах. Ввиду этого испытания служат основным методом определения надежности и режима работы пароперегревателей паровых энергетических котлов.

## 2. ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

2.I. Согласно ГОСТ 8.010-72, методики измерений, используемые при испытаниях, должны содержать показатели точности измерения.

Точность измерения (определения), в соответствии с МИ 1317-86, выражается интервалом, в котором с установленной вероятностью $P$ (для рассматриваемых испытаний принято $P = 0,95$) находится суммарная погрешность измерения $\Delta$ .

Методы определения суммарной погрешности прямых измерений регламентируются ГОСТ 8.207 -76.

Форма представления результата измерений следующая:

$$\tilde{A} \pm \Delta, P, \qquad (I)$$

где $\tilde{A}$ - результат измерения в единицах измеряемой величины;

$\Delta$ - погрешность измерения в тех же единицах;

$P$ - установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в этих границах.

2.2. Показатели работы пароперегревателей определяются по измерениям температуры металла, давления, расхода и температуры пара в пароперегревателях и их элементах, а также температуры, состава и расхода дымовых газов по тракту котла.

Предельно допустимая погрешность результата измерения температуры пара в пароперегревателях и их элементах должна быть не выше $\pm 10^{\circ}C$, а температуры металла труб в зоне обогрева $\pm 20^{\circ}C$.

Относительные погрешности результата измерения параметров не должны превышать значений, указанных в табл.I. Указанный уровень погрешности имеет место при использовании измерительных средств, указанных там же.

Тепловосприятие (приращение энтальпии), а также коэффициенты теплогидравлической разверки определяются без нормирования точности.

## 3. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

3.I. Задачи и цели испытаний требуют в дополнение к штатному измерительному контролю специальных экспериментальных измерений, которые обеспечивают получение опытных значений температур, давлений, перепадов давлений, расходов среды, а также температур металла труб в зоне обогрева.

3.2. В объем экспериментального контроля входят следующие основные измерения.

3.2.I. Измерения температур среды по паровому тракту на входе и выходе всех последовательно включенных поверхностей нагрева пароперегревателей высокого и низкого давления (перед и за пароохладителями, на выходе из котла и т.д.). Для этой цели используются специально устанавливаемые погружаемые (гильзовые) термопреобразователи либо используются штатные измерения. Измерения устанавливаются для определения тепловосприятия пароперегревателей и их элементов и контроля теплогидравлической разверки.

*3.2.2. Измерение температур среды на выходе и входе подпо-*

Таблица I

Средства измерений, используемые при испытаниях пароперегревателей

| Параметр | Первичный преобразователь | Класс точности | Промежуточный или измерительный преобразователь | Класс точности | Предельная относительная погрешность результата измерения, % |
|---|---|---|---|---|---|
| I. Температура | | | | | |
| I.I. Вода, мазут, природный газ, воздух, дымовые газы, пар (до 200°С) | Термоэлектрический термометр ТСП, ТСМ | - | КСМ-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,I0 | 0,5<br>0,5 |
| I.2. Вода, пар (до 500°С) | Термоэлектрический термометр ТСП | - | КСМ-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,I0 | 0,5<br>0,5 |
| I.3. Вода, пар, металл (до 600°С) | Преобразователи термоэлектрические ТХА, ТХК | - | КСП-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,05 | 5,0<br>5,0 |
| I.4. Воздух, дымовые газы, металл (до 600°С) | То же | - | КСП-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,I0 | 5,0<br>5,0 |
| I.5. Воздух, дымовые газы, металл (до I000°С) | Преобразователь термоэлектрический ТХА | - | КСП-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,05 | 5,0<br>5,0 |
| I.6. То же (до I600°С) | ТПР | - | КСП-4<br>Р4833 | 0,25<br>0,05 | 5,0<br>5,0 |
| I.7. Вода, воздух, природный газ (до I00°С) | Термометры лабораторные ТЛ-2, ТЛ-3, ТЛ-4 | - | - | - | 2,5 |

Продолжение таблицы I

| Параметр | Первичный преобразователь | Класс точности | Промежуточный или измерительный преобразователь | Класс точности | Предельная относительная погрешность результата измерения, % |
|---|---|---|---|---|---|
| I.8. Вода, пар, воздух, дымовые газы (до 300°С) | Термометры лабораторные ТЛ-2, ТЛ-3, ТЛ-4, ТЛ-5, ТЛ-6, ТЛ-7, ТЛ-8 | - | - | - | 2,5 |
| 2. Давление | | | | | |
| 2.I. Вода, пар, мазут, природный газ | Манометры: | | | | |
| | МТИ | 0,6 | - | - | 2,6 |
| | МКО | 0,4; 0,6 | - | - | 2,6 |
| | МО | 0,4 | - | - | 2,6 |
| | Преобразователи МЭД, МПЭ, МАС | I,0 | КСД-2,КСУ-2<br>КСУ-4 | I,0<br>0,5 | 2,6<br>2,6 |
| | Тензорезисторные преобразователи "Сапфир-22ДИ" | 0,5 | КСУ-4 | 0,5 | 2,6 |
| | | | Многоканальные системы РУМ, К-200, К-300 | - | 2,6 |
| 2.2. Воздух, дымовые газы, природный газ | Тягонапоромеры жидкостные ТДЖ, ПР | I,0 | - | - | 2,5 |
| | Микроманометры ТНЖ-Н, ММН ММ-250 | I,0 | - | - | 2,5 |
| | Тензорезисторные преобразователи "Сапфир-22ДИ", "Сапфир-22ИВ" | 0,5 | КСУ-4 | 0,5 | 2,6 |
| | | | Многоканальные системы РУМ, К-200, К-300 | - | 2,6 |
| 3. Расход | | | | | |
| 3.I. Пар | Сужающее устройство | - | Жидкостные дифференциальные манометры ДТ, ДТЭ | I,0 | 3,0 |
| | | | Преобразователи ДМЭ, ДМ, ДСЭ | I,0 | |
| | | | "Сапфир-22ДД" в комплекте со средствами представления информации | 0,5 | 3,0 |
| | | | КСД,КПУ,КСУ,КВУ | 0,5 | |
| 3.2. Питательная вода, конденсат | Сужающее устройство | - | Жидкостные дифференциальные манометры ДТ, ДТЭ | I,0 | I,7 |
| | | | Преобразователи ДМЭ, ДМ, ДСЭ | I,0 | |
| | | | и "Сапфир-22ДД" в комплекте со средствами представления информации | 0,5 | I,7 |
| | | | КСД,КПУ,КСУ,КВУ | 0,5 | |
| 3.3. Топливо жидкое и газообразное | То же | - | Жидкостные дифференциальные манометры ДТ, ДТЭ | I,0 | 3,0 |

Окончание таблицы I

| Параметр | Первичный преобразователь | Класс точности | Промежуточный или измерительный преобразователь | Класс точности | Предельная относительная погрешность результата измерения, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Преобразователи ДМЭ, ДМ, ДСЭ | I,0 | |
| | | | и "Сапфир-22ДД" в комплекте со средствами представления информации | 0,5 | 3,0 |
| | | | КСД,КПУ,КСУ,КВУ | I,0 | |
| 3.4. Воздух, дымовые газы | Напорные трубки | - | Микроманометры ТНЖ-Н, ММН, ММ-250 | I,0 | **2,5** |
| 4. Газовый анализ | Газоанализатор ГХП: | | | | |
| | $RO_2$ | - | - | - | 3,2 |
| | $O_2$ | - | - | - | 3,7 |
| 5. Удельная теплота сгорания | Калориметрическая бомба | - | - | - | I,2 |

токов и отдельных панелей (элементов) пароперегревателей (например, ширм). Измерения осуществляются погружаемыми (гильзовыми) термопреобразователями, устанавливаемыми в отводящих (подводящих) трубах, и включают все параллельные элементы. При их большом числе допускается оснащать часть из них, в том числе наиболее нетождественные (по конструкции и обогреву) и "средние".

Вместо гильзовых термопреобразователей допустимо использование поверхностных при тщательной изоляции мест их установки.

3.2.3. Измерение температур среды на выходе обогреваемых витков (змеевиков) пароперегревательных поверхностей. Это самый объемный по количеству вид измерений. Измерение этих температур осуществляется поверхностными термопреобразователями, устанавливаемыми в необогреваемой зоне змеевиков. Преобразователи в обязательном порядке устанавливаются в тех же панелях (элементах), где предусмотрены измерения температур среды на выходе, а также в уменьшенном количестве могут устанавливаться на остальных панелях. В многотрубных элементах термопреобразователи устанавливаются в "средних" трубах равномерно по ширине (с шагом в несколько труб) и в трубах с тепловым и конструктивным отличием (крайние и соседние с ними, огибающие горелки, с увеличенной длиной и большим числом гибов и т.д.).

3.2.4. Измерение температур металла труб в зоне обогрева с помощью температурных вставок для контроля температурного режима пароперегревательных поверхностей нагрева. Вставки устанавливаются в теплонапряженных элементах пароперегревателей с предполагаемыми наибольшими температурами металла. В тех же элементах должна измеряться температура среды.

3.2.5. Измерение давлений и перепадов давлений. Измерения производятся в характерных точках пароперегревательного тракта, в том числе на входе и выходе пароперегревателей.

3.3. Показатели работы котла в целом, показатели топочного режима, а также общеблочные фиксируются в основном по приборам штатного контроля.

3.4. Объем и особенности схемы измерений определяются паропроизводительностью, параметрами и конструкцией котла, категорией испытаний и поставленной задачей.

Примеры схемы измерений применительно к испытаниям пароперегревателей головного котла ТГМЕ-206 приведены в приложении (рис.П.I-П.3).

## 4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 4.I. Общие требования к средствам измерений

При испытаниях должны применяться стандартизованные средства измерений (СИ), серийно выпускающиеся отечественной промышленностью, и нестандартизованные СИ, прошедшие метрологическую аттестацию согласно ГОСТ 8.326-78.

Тип и характеристики СИ выбираются в каждом конкретном случае в зависимости от испытуемого оборудования, требуемой точности, категории и целей испытаний, условии монтажа и установки, температуры окружающей среды.

Средства измерения, используемые при испытаниях, должны пройти государственную (ведомственную) поверку, иметь поверительные клейма и техническую документацию, свидетельствующие об их годности, и обеспечивать требуемую точность измерений. Поверка проводится непосредственно перед началом испытаний и повторно после их завершения.

Для измерения основных величин при испытаниях (расхода и температур пара, питательной воды, конденсата, металла, дымовых газов и др.) должны применяться самопишущие контрольно-измерительные приборы с аналоговой, цифровой или иной формой записи (непрерывной или с периодичностью регистрации не более I20 с).

При большом количестве измеряемых параметров (I00 и более) целесообразно применение автоматизированных систем сбора информации с записью на накопителях (перфо- или магнитной ленте) с последующей статистической обработкой с применением ЭВМ.

Применение показывающих контрольно-измерительных приборов желательно по возможности ограничивать измерением второстепенных параметров.

При испытаниях по второй категории сложности следует использовать штатные измерения параметров, если суммарная относительная погрешность результата измерения не превышает значений, указанных в табл.I.

При применении показывающих контрольно-измерительных приборов их расположение должно быть выбрано, исходя из условия

удобства и затрат минимума времени на считывание.

Все отсчеты показаний приборов должны производиться с частотой, необходимой для получения достоверного среднеарифметического значения параметра. Для параметров, входящих в объем определяемых характеристик пароперегревателей, должно быть не менее I5 равномерно расположенных точек отсчета.

Количество и номенклатура материалов, преобразователей, пробоотборников, приборов и приспособлений, соединительных электрических и трубных проводок, а также электро- и теплоизоляционных материалов и химических реактивов определяются рабочей программой испытаний либо заказной спецификацией и зависят от паропроизводительности и типа котла.

## 4.2. Средства измерений исходных параметров

### 4.2.I. Измерение расходов

Измерение расходов пара, воды, конденсата, жидкого и газообразного топлива производится расходомерами с использованием в качестве первичных преобразователей сужающих устройств.

Расходомеры с сужающими устройствами устанавливаются в трубопроводах с однофазной средой. Сужающие устройства, промежуточные преобразователи, их монтаж должны соответствовать РД 50-213-80.

Для измерения расходов дымовых газов и воздуха используются напорные трубки и специальные сужающие устройства, которые должны иметь известные расходные коэффициенты, определяемые путем градуирования в аэродинамической трубе, и пройти метрологическую аттестацию.

Места установки напорных трубок в газовоздуховодах должны выбираться из условий обоснованной равномерности поля скоростей по сечению, отсутствия зон обратных токов и неравномерности температур.

В случае отсутствия таких мест необходимо выполнять тарировки сечений установки датчиков с целью определения коэффициентов неравномерности поля скоростей.

### 4.2.2. Измерение температур

Измерение температур - важнейший вид измерений при проведении рассматриваемых испытаний. В качестве основного средства измерения температур среды и металла применяются термопреобразователи погружаемые и поверхностные.

В зависимости от диапазона измеряемых температур применяются термопреобразователи ТХК (до 600°С) и ТХА (до I000°С) с диаметром провода не более I,2 мм.

Для непосредственного измерения температур среды по пароводяному тракту используются стандартные, погружаемые (гильзовые) термопреобразователи, чувствительный элемент которых устанавливается в гильзу, вваренную в трубопровод. Гильзовые термопреобразователи устанавливаются на прямом участке трубопровода. Длина чувствительного элемента выбирается в зависимости от диаметра трубопровода. В трубопроводах малого диаметра (отводящих трубах, коллекторах) могут устанавливаться гильзовые термопреобразователи нестандартного изготовления (с соблюдением правил установки).

Поверхностные термопреобразователи устанавливаются вне зоны обогрева на выходных и входных участках змеевиков на расстоянии не менее I00 мм от собирающего или раздающего коллектора или конца зоны обогрева. В газоплотных котлах преобразователи устанавливаются в "теплом ящике" с покрытием места крепления тепловой изоляцией.

В качестве материалов для изоляции термоэлектродов преобразователей применяются фарфоровые или шамотовые бусы, магнезитовые трубочки, кремнеземистая нить или лента, стекловолокно, асбест.

Применение стекловолокна, кремнеземистой нити или ленты в качестве изоляционного материала для термопреобразователей, устанавливаемых в зоне температуры газов, превышающей 700°С, не рекомендуется.

Наиболее простым и надежным способом установки поверхностных термопреобразователей является раздельная зачеканка термоэлектродов в прорези, наплавленной автогенной сваркой на поверхности трубы наплавки или в приваренную к трубе бобышку.

Термоэлектроды вкладываются в две пропиленные в бобышке параллельные канавки или в два отверстия, просверленных с торцевой стороны бобышки. Размеры наплавки или бобышки не должны превышать I5xI0x5 мм.

Для уменьшения теплоотвода от места зачеканки термоэлектродов последние необходимо плотно прижать к стенке трубы или коллектора и тщательно изолировать их (на длине 300-500 мм) и места зачеканки асбестовым шнуром диаметром I0 мм, а затем тепловой изоляцией слоем не менее 40-50 мм.

При невозможности по конструктивным или иным причинам установки термопреобразователей вне газохода они устанавливаются в газоходе с покрытием места крепления рабочих концов тепловой изоляцией.

Для измерения температуры металла труб в зоне обогрева широкое применение получил способ установки термопреобразователей в специальных температурных вставках, которые обеспечивают наибольшую долговечность измерений.

Наиболее простой и технологичной является вставка с фрезерованной кольцевой (рис.I) или продольной (рис.2) проточкой по наружной образующей трубы. Удержание термопреобразователя в канавке обеспечивается обчеканкой металла вставки плотно устанавливаемой профильной фольгой (лентой) толщиной 0,3-0,5 мм или защитной трубкой (накладкой). Рабочие концы термопреобразователя и концы фольги затягиваются металлом, подчеканенным с краев канавки, или заплавляются серебряным припоем. Высокую эксплуатационную надежность обеспечивают вставки с косым сверлением (рис.3), но их конструкция требует отработанной и сложной технологии изготовления.

Предлагаемые конструкции температурных вставок при оснащении их термопреобразователями с изоляцией из кремнеземистой или кварцевой нити не обеспечивают надежных и стабильных измерений при длительной эксплуатации. Постоянство характеристик может быть обеспечено при применении термопреобразователей из термоэлектродного жаростойкого кабеля КТМС, (ТУ I6-06-468-69), рабочие концы которых выведены на поверхность трубы и заплавлены серебряным припоем ПСР-25 или ПСР-45.

Для возможности сравнения экспериментальных данных рекомендуется пользоваться температурной вставкой с фрезерованной про-

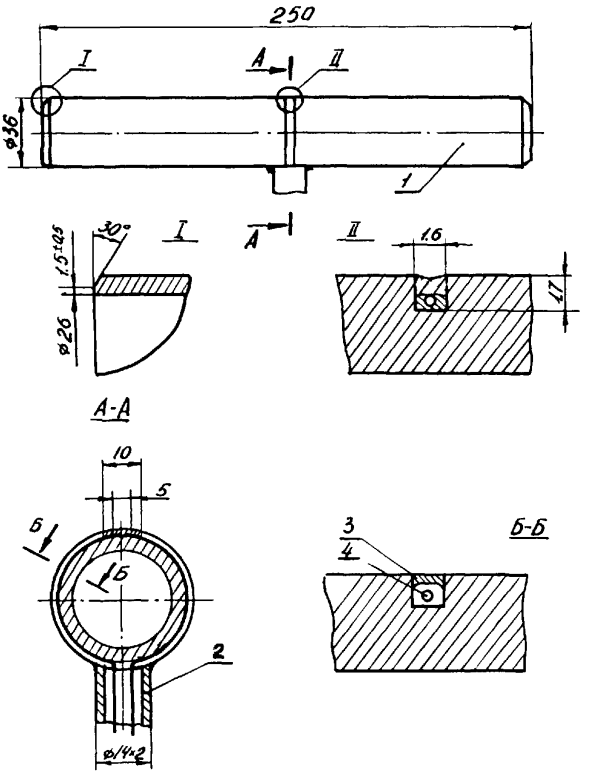


Рис.I. Температурная вставка с поперечной проточкой:
I - вставка; 2 - защитная труба; 3 - профильная фольга; 4 - термопреобразователь

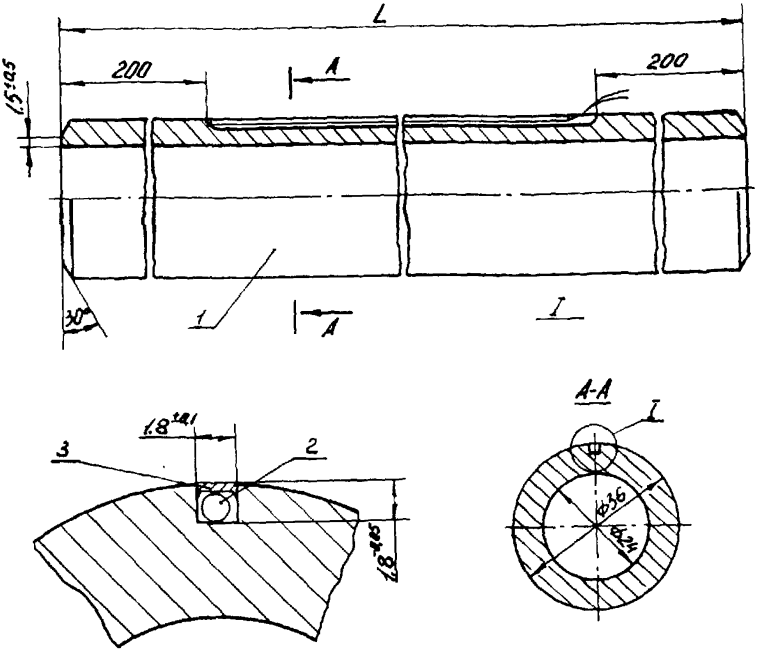


Рис.2. Температурная вставка с продольной проточкой:
I - вставка; 2 - термопреобразователь; 3 - профильная фольга

точкой (кольцевой или продольной) как конструктивно наиболее простой и технологичной.

При организации измерений температур пара на выходе змеевиков термопреобразователи должны размещаться на лобовых, обрамляющих (внешних) витках (змеевиках) многоходовых элементов пароперегревателей, а при необходимости и на внутренних витках (змеевиках) для определения тепловой (температурной) развеpки по глубине элемента (панели). На входных участках витков (змеевиков) термопреобразователи устанавливаются при подводе пара к раздающему коллектору группой труб с различными температурами и необходим контроль за начальной развеpкой температур.

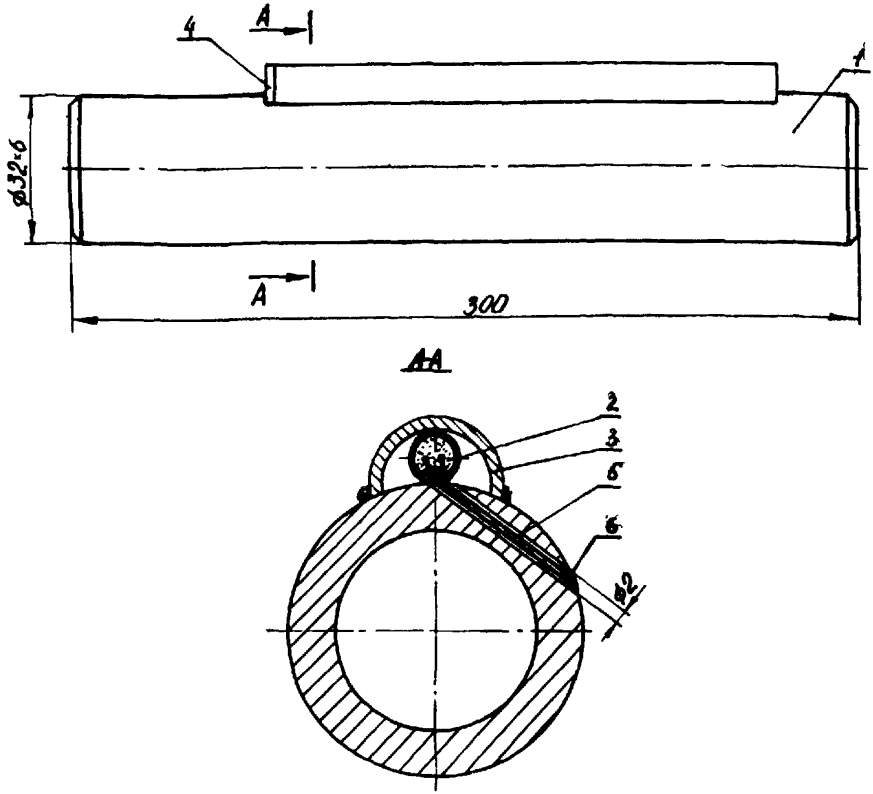


Рис.3. Температурная вставка с косым сверлением:
I - вставка; 2 - термопреобразователь; 3 - защитная трубка (накладка); 4 - донышко; 5 - сверление; 6 - серебряный припой

Число устанавливаемых преобразователей зависит от числа размещенных по ширине газохода элементов (панелей, витков) пароперегревателя и при исследованиях температурных разверок, вызванных неоднородностью газового поля или гидравлическими особенностями элемента, должно быть не менее I0-I5.

Термопреобразователи устанавливаются на крайних витках (змеевиках) панелей, средних по конструктивному выполнению и обогреву, с повышенным гидравлическим сопротивлением (например, с увеличенной длиной или большим числом гибов) или более интенсивным обогревом (обращенных к топке или газовым коридорам, где из-за меньшего коэффициента сопротивления газового канала имеет место более высокая скорость потока газов), а также в зонах аварийных повреждений.

При испытаниях отдельные ширмы рассматриваются как неделимый элемент и термопреобразователи (гильзовые или поверхностные) устанавливаются прежде всего на пароперепускных трубах после каждой из ширм или большей их части (через I-2 ширмы) с целью выявления межширмовой температурной и тепловой разверок, являющихся следствием неравномерности поля газового потока или гидравлической разверки.

Температурный режим отдельных ширм контролируется по температуре пара наиболее развереных змеевиков, которыми, как правило, являются наиболее обогреваемые змеевики (непосредственно освещенные из топки либо лобовые), а также самые длинные змеевики в ширме.

При необходимости детального исследования внутриширмовой температурной разверки на одной-двух ширмах (желательно с наибольшим тепловосприятием) устанавливаются поверхностные термопреобразователи на выходных участках всех ее змеевиков или значительной их части (через I-2 змеевика) вне зоны обогрева, распространяя полученные результаты на остальные ширмы данной ступени перегревателя.

Количество и расположение температурных вставок по ширине и высоте элементов пароперегревателя определяются по результатам расчетных проработок, выявивших наиболее опасные места, или из анализа эксплуатации каждого конкретного типа котла. В первую очередь температурные вставки устанавливаются на лобовых змеевиках первых по ходу газов ступеней пароперегревателя, обычно радиационной и ширмовой (оценивается влияние максимальной температуры газового потока), и выходных участках змеевиков выходной ступени пароперегревателя (оценивается влияние максимальной температуры пара). При испытаниях пароперегревателя го-

ловных котлов температурными вставками оснащаются практически все ступени пароперегревателей.

Установка температурных вставок на радиационных пароперегревателях производится, исходя из ожидаемой или известной эпюры тепловых потоков. Учитывая, что максимальные тепловые потоки обычно совпадают с максимальными значениями температур факела, целесообразно предварительно снять поле температур с помощью оптического пирометра.

В пароперегревателях, занимающих верхнюю часть топки, в наиболее тяжелых условиях работают нижние, обращенные к факелу, участки труб и расположенные перпендикулярно факелу поверхности гибов. У ширмовых пароперегревателей при известной или предполагаемой межширмовой тепловой разверке температурные вставки монтируются на выходных участках разверенных змеевиков развернных ширм, а также на участках этих змеевиков, обращенных к факелу или потоку газов.

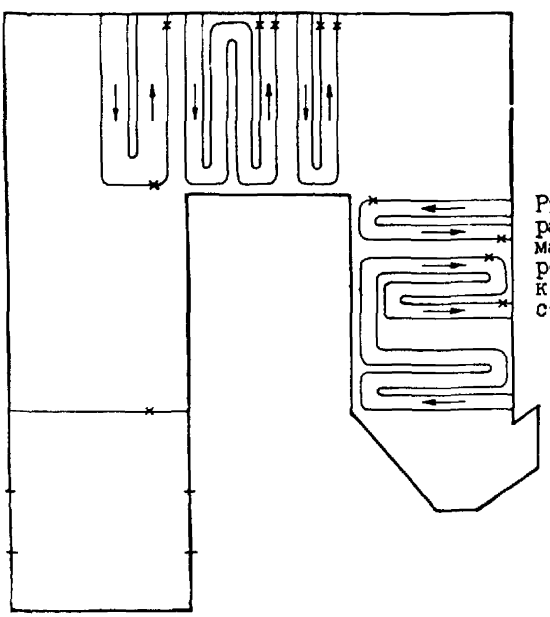

Рис.4. Схема вероятного расположения участков с максимальной температурой (обозначены крестиком) в наиболее распространенных типах пароперегревателей

На рис.4 приведена схема вероятного расположения участков с максимальной температурой в наиболее распространенных типах пароперегревателей.

Для выяснения причин температурной разверки изучается температурное поле потока дымовых газов в плоскости, нормальной к оси труб. Наиболее удобным для этих целей обычно является газоход поворотной камеры. Число точек измерений в указанной выше плоскости должно быть не менее 3-5, число зондируемых направлений зависит от выявленной на основании тарировки или предполагаемой неравномерности поля температур и должно быть не менее 2-4.

### 4.2.3. Измерение давления и разрежения

Используемые для измерений давлений среды (пара, воды, жидкого и газообразного топлив) пружинные манометры должны соответствовать ГОСТ 2405-80. Манометр следует выбирать так, чтобы максимальное значение его шкалы превышало среднее измеряемое при постоянном или плавно изменяющемся давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся - в 2 раза. Наименьшее значение измеряемого давления должно быть больше значения, соответствующего одной трети шкалы манометра.

Используемые для измерения давлений измерительные преобразователи типа "Сапфир" должны соответствовать ТУ 25-02.720136-83, а их расположение и установка - ГОСТ 15150-69.

Для измерения давлений в газовоздушном тракте котла используются жидкостные тягонапоромеры (ГОСТ 2648-78, ТУ 25.11.918-81 и ТУ-25.11.935-81) и микроманометры (ГОСТ 11161-84).

### 4.2.4. Анализ дымовых газов

Для определения содержания $RO_2$ и $O_2$ в дымовых газах применяются газоанализаторы ВТИ и типа ГХП (ОСТ 25.1256-86).

При соблюдении всех правил анализа газоанализатор ГХП позволяет определить содержание $RO_2$ и $O_2$ в пробе в лабораторных условиях с точностью $\pm 0,2\%$, а газоанализатор ВТИ - с точностью 0,05% при температуре окружающей среды до 20°С.

### 4.2.5. Отбор и анализ топлива

В случае необходимости отбор проб твердого топлива производится в соответствии с ГОСТ 10742-71, жидкого - согласно ГОСТ 2517-85, газообразного - ГОСТ 18917-82.

Анализ топлива производится в соответствии с требованиями ГОСТ 147-74, ГОСТ 21261-75 и ГОСТ 10062-75.

## 5. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

Подготовка к испытаниям проводится в два этапа. Первый охватывает работы, которые проводятся до испытаний; второй включает работы, которые проводятся непосредственно перед началом испытаний.

Первый этап включает следующие работы:

5.1. Изучение технической документации (проектной, заводской, эксплуатационной, ремонтной и отчетной), ознакомление с опытом эксплуатации и результатами испытаний аналогичных котельных установок на других ТЭС.

5.2. Ознакомление с режимом эксплуатации котельной установки: топливоснабжение, характеристики сжигаемого топлива, подготовка топлива к сжиганию, режим сжигания топлива, обеспеченность котла тягой и дутьем, особенности режимов эксплуатации, диапазон эксплуатационных нагрузок, работы средств регулирования температуры пара, возможности поддержания номинальных температур свежего пара и пара промперегрева на разных нагрузках и влияние на них режимных факторов, занос поверхностей нагрева золовыми отложениями, способы их удаления и работа средств очистки, расположение шлаковых отложений, работа средств автоматического регулирования, блокировок и защит, надежность работы пароперегревателей, плотность топки и газоходов.

5.3. Осмотр котла и вспомогательного оборудования с целью оценки их состояния: проверка соответствия узлов и элементов котельной установки проектно-конструкторской документации и требованиям других нормативно-технических документов. Изучение состояния труб пароперегревателей с внутренней и наружной сто-

рон с вырезкой образцов. Составление плана расположения поврежденных труб для выявления закономерности в повреждениях. Проверка диаметра труб, расчет при необходимости тепловой и гидравлической разверок и температуры стенки труб ненадежного элемента пароперегревателя.

5.4. Ознакомление со схемой штатного контроля.

Проверка по месту наличия, состояния и расположения имеющихся штатных средств измерения, пригодных к использованию во время испытаний в качестве основных или дублирующих.

5.5. Анализ результатов работ по пп. 5.1-5.4, составление и выдача заказчику перечня работ по устранению выявленных недостатков оборудования, средств регулирования и измерения и подготовке котельной установки к испытаниям.

5.6. Определение объема испытаний и подготовка технической документации.

5.6.1. Разработка и составление технической и рабочей программ испытаний в соответствии с их видом и категорией и согласование с заказчиком. Разработка режимных заявок.

Техническая и рабочая программа должны быть составлены в соответствии с технической документацией на их разработку.

5.6.2. Технической программой уточняется:

цель испытаний и обоснование необходимости их проведения, краткая характеристика испытуемого оборудования, краткая характеристика испытаний, их особенности и объем;

состояние котла, в том числе газоплотность, состояние пароперегревателей и их элементов, работа средств очистки поверхностей нагрева, рабочие схемы пароводяного и газовоздушного трактов и вспомогательного оборудования;

общие условия и режимы работы оборудования при проведении испытаний, действия оперативного персонала при аварийных ситуациях, длительность испытаний и их характеристика;

общие вопросы эксплуатации, вопросы ответственности за подготовку и проведение испытаний, обеспечение режимов работы оборудования, техники безопасности и распределения обязанностей между заказчиком и исполнителем во время испытаний;

обеспечение лабораторией необходимых анализов топлива.

5.6.3. На основании технической программы составляется ра-

бочая программа испытаний, в которой конкретизируются условия проведения испытаний в целях определения необходимых характеристик пароперегревателей.

Рабочей программой уточняются:

вид испытаний;

количество опытов, продолжительность испытаний и их характеристика;

условия проведения испытаний (паропроизводительность котла, нагрузка пароохладителей, коэффициент избытка воздуха в топке, вид топлива, количество и расположение работающих горелок и т.д.);

объем измерений, места установки СИ, метод обработки результатов измерений; периодичность регистрации значений параметров;

условия, при которых испытание считается неудовлетворительным и должно быть прекращено;

другие вопросы, обусловленные особенностями конструкции или спецификой эксплуатации котельной установки.

5.7. Разработка схемы экспериментального контроля и перечня подготовительных работ. Подготовка необходимой документации.

5.7.I. После ознакомления с котельной установкой, особенностями конструкции основного и промежуточного пароперегревателей, составления технической и рабочей программ испытаний приступают к разработке схемы измерений (или экспериментального контроля - ЭК) с перечнем измеряемых величин, основным требованием к которым является возможность получения представительных данных, характеризующих надежность температурного режима и возможности пароперегревателей и средств регулирования по поддержанию температуры свежего пара и пара промперегрева в допустимых пределах.

5.7.2. Составление перечня (спецификации) необходимых контрольно-измерительных приборов, оснастки и материалов.

5.7.3. Составление перечня подготовительных работ к испытаниям.

В перечне указывается, где и какие мероприятия необходимо выполнить для организации того или иного измерения и приведения

схемы измерений или оборудования в нормальное или требуемое для испытаний состояние. Кроме того, предусматривается организация дополнительного освещения в местах наблюдений, установка сигнальных устройств, изготовление различных стендов и приспособлений для монтажа преобразователей и импульсных линий.

К перечню должны быть приложены эскизы на изготовление необходимых бобышек, штуцеров, термометрических вставок, эскизы мест установок указанных деталей, а также стендов и приспособлений для установки преобразователей.

5.7.4. Для головных образцов котлов после изучения технических условий на поставку, проектных и расчетных данных завода-изготовителя, ознакомления со штатными измерениями необходимых параметров приступают к составлению технического задания проектной организации на включение в рабочий проект штатных СИ проекта ЭК для проведения испытаний пароперегревателя. В техническое задание на проектирование ЭК должны входить: пояснительная записка, в которой излагаются основные требования к проектированию и монтажу схемы ЭК, подбору и расположению КИП; даются пояснения к регистрирующей аппаратуре, особенности применения типов проводов и кабелей, требования к помещению, в котором предполагается разместить щит ЭК и т.д.;

схема ЭК основного и промежуточного пароперегревателей с наименованием и номерами позиций измерений;

спецификация преобразователей и средств представления информации;

опросные листы для заказа расходомеров с сужающими устройствами;

схемы и чертежи нестандартного оборудования (температурные вставки, газовые отсосные термопары, щитовые устройства и т.д.) для его заказа на заводах-изготовителях и других предприятиях;

схемы кабельных соединений с указанием позиций измерений;

перечень измеряемых параметров с разбивкой их по регистрирующим приборам с указанием номеров позиций.

Места установки первичных преобразователей для ЭК на рабочих чертежах пароперегревателей указываются заводом-изготовителем и проектирующей организацией (каждый в своей зоне проек-

тирования) согласно техническому заданию.

В случае отсутствия на чертежах мест установки преобразователей они уточняются предприятием, выдавшим техническое задание на ЭК, с обязательной визой организации, выпустившей чертеж.

Монтаж схемы ЭК желательно осуществить во время монтажа штатных СИ котла, что позволит приступить к испытаниям сразу после ввода котла в эксплуатацию.

На втором этапе подготовки выполняются:

5.8. Техническое руководство и надзор за подготовительными работами на оборудовании.

В эти работы входит:

уточнение на месте схем вновь монтируемого или эксплуатируемого оборудования, контроль правильности установки первичных преобразователей;

проведение ревизий сужающих устройств, используемых при испытаниях;

расстановка измерительных преобразователей и контроль за правильностью их присоединения, прокладка соединительных линий и вторичной коммутации преобразователей;

контроль за выполнением всего перечня подготовительных работ и устранением выявленных ненормальностей в работе оборудования и неплотностей запорной арматуры.

5.9. Наладка схемы измерений.

Измерительные приборы должны подвергаться поверке до и после проведения испытаний. После поверки они устанавливаются на рабочие места. После сборки схемы измерения приступают к проверке ее работы, анализируя представительность измеряемых величин.

5.10. Контроль технического состояния оборудования котельной установки и ее тепловой схемы.

5.11. Оборудование постов наблюдений. Составление схем маршрутов при считывании показаний приборов. Подготовка журналов наблюдений. Подготовка необходимого количества материалов и реактивов.

5.12. Комплектование бригады соответствующими специалистами и наблюдателями. Обучение наблюдателей.

## 6. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

### 6.I. Предварительные измерения и подготовка персонала

Проведению испытаний пароперегревателей должна предшествовать тщательная наладка топочного режима: определение оптимальных по условиям горения топлива коэффициентов избытков воздуха и схем работающих горелок, обеспечение равномерного распределения топлива и воздуха между ними, выбор соотношения расходов первичного и вторичного воздуха, обеспечение необходимой крутки воздуха, оптимальной тонкости помола пыли и т.д. и в конечном итоге расчетных потерь от химической и механической неполноты сгорания.

Проведение испытаний пароперегревателей возможно при следующих условиях:

тепловые испытания котельной установки предшествовали проведению испытаний пароперегревателей;

испытания пароперегревателей проводятся совместно с проведением тепловых испытаний котельной установки.

В первом случае перед началом испытаний проводится несколько опытов при двух-трех нагрузках для оценки состояния котельной установки и сравнения ее показателей с ранее полученными. На основании анализа результатов опытов принимается решение о возможности использования данных тепловых испытаний при проведении испытаний пароперегревателей либо проведении повторной наладки горения. При этом испытания пароперегревателей проводятся по отдельной программе.

Во втором случае испытания пароперегревателей проводятся по программе тепловых испытаний с увеличением диапазонов изменения воздействующих факторов с выходом на заведомо неэкономичные режимы работы котельной установки для определения надежности температурного режима пароперегревателей в этих режимах.

Основным опытом по программе испытаний пароперегревателей должны предшествовать предварительные два-три опыта по определению основных характеристик пароперегревателей в эксплуатационных режимах, при этом осуществляется комплексная проверка схемы экспериментального контроля в полном объеме, а также обучение наблюдателей правильному отсчету показаний приборов и ве-

дению наблюдений. В ходе предварительных экспериментов уточняется состояние и особенности эксплуатации котельной установки и определяются ориентировочные данные, используемые в дальнейшем при проведении основных испытаний.

После обработки и анализа результатов предварительных опытов составляется заключение (отчет) о готовности котельной установки к последующему этапу испытаний.

## 6.2. Стационарные режимы

Проведение испытаний начинают со стационарных режимов работы котла. При испытаниях пароперегревателей головных котлов, изменении вида сжигаемого топлива возможны затруднения в достижении номинальной нагрузки из-за повышения температуры пара и металла элементов пароперегревателя сверх допустимой.

Поэтому опыты проводятся начиная с нагрузки 70-90%, как более надежной с точки зрения получения конечного результата. Затем проводятся опыты на номинальной нагрузке (при отсутствии ограничений) и преобладающей в условиях эксплуатации. После чего проверяются нагрузки 70 и 50% номинальной, как соответствующие заводским расчетам, и минимальная, установленная в эксплуатации или согласованная для испытаний.

В стационарных режимах проверяется влияние на показатели надежности, тепловой и гидравлической работы пароперегревателей основных режимных факторов: нагрузки, избытка воздуха, загрузки ДРГ, количества и сочетания работающих горелок или мельниц, температуры питательной воды, мазутной подсветки и пр.

На котлах, работающих на двух видах топлива, опыты проводятся на обоих видах (на резервном топливе и на смеси топлив допускается в уменьшенном объеме). На пылегазовых котлах опыты на природном газе по условию загрязнения поверхностей нагрева должны проводиться после двухнедельной непрерывной кампании на газе. На шлакующих топливах опыты при необходимости проводятся в начале и конце кампаний, на "чистом" и зашлакованном котле.

Ниже приводится примерный объем испытаний в стационарных режимах.

6.2.1. Определение влияния избытка воздуха.

На каждой нагрузке проводится три-четыре опыта, отличаю-

щихся только избытком воздуха в топке. Минимальное его значение устанавливается на уровне критического, максимальное - на уровне, при котором достигаются предельные значения температуры пара и металла в пароперегревателе и его элементах. Интервал изменения избытка воздуха устанавливается в 4-5%.

За оптимальный принимается избыток, при котором обеспечивается номинальная температура пара за котлом и надежность всех элементов пароперегревателей. Этим требованиям может отвечать и оптимальный по условиям горения топлива коэффициент избытка воздуха.

6.2.2. Оценка влияния рециркуляции дымовых газов (загрузки ДРГ).

На каждой испытуемой нагрузке котла проводится два-четыре опыта, отличающихся загрузкой ДРГ. Минимальный и максимальный уровень рециркуляции устанавливается из условий обеспечения допустимых значений температур свежего пара и пара промперегрева за котлом и надежности поверхностей нагрева.

Загрузка ДРГ (коэффициент рециркуляции газов) считается оптимальной, если температура пара промперегрева соответствует номинальному значению (для проектного диапазона нагрузок), температурный режим пароперегревателей надежен, а коэффициент избытка воздуха в топке - оптимальный.

6.2.3. Определение минимально допустимой нагрузки котла в диапазоне качественного регулирования по условиям надежности пароперегревателей.

Определение упомянутой нагрузки выполняется путем ступенчатого снижения тепловой нагрузки котла без изменения состава работающего оборудования и горелочных устройств до уровня, когда температура пара и металла в пароперегревателях возрастает до предельных значений. После этого нагрузка повышается на 5-8% и при этой нагрузке проводится опыт.

Снижение нагрузки котла производится не ниже уровня, при котором появляются признаки ухудшения горения топлива или другие ограничения.

6.2.4. Определение минимально допустимой нагрузки котла на каждой ступени количественного регулирования нагрузки с выбором оптимального сочетания работающих горелок.

Опыты проводятся аналогично п.6.2.3 на каждой ступени количественного регулирования. Оптимальное число и сочетание работающих горелок на каждой ступени определяются при прочих равных условиях по условиям надежности пароперегревателей и их элементов.

6.2.5. Определение влияния температуры питательной воды.

Опыты проводятся на двух-трех нагрузках котла: 70-90% номинальной, минимальной и одной промежуточной. На каждой из них проводятся два опыта при различной температуре питательной воды (включенных и отключенных ПВД) и постоянной паровой и эквивалентной ей тепловой нагрузках котла.

6.2.6. Определение максимальной (минимальной) нагрузки котла при отключенных ПВД.

Выполняется путем ступенчатого (на 3-5%) увеличения (снижения) тепловой нагрузки котла сверх (ниже) нагрузки 70-90% номинальной до уровня, при котором температуры труб пароперегревателей достигают предельных значений.

На каждой ступени делается выдержка до одного часа и контролируются показатели надежности, на верхней (нижней) ступени нагрузки проводится опыт.

Для повышения достоверности результатов и проверки их воспроизводимости опыты рекомендуется дублировать, желательно с разрывом по времени. При необходимости проводятся дополнительные контрольные опыты.

## 6.3. Нестационарные режимы

6.3.I. Неблагоприятными для надежности пароперегревателей являются обычно нестационарные условия, связанные с возмущениями режима и отклонениями параметров от нормальных (средних) условий. Поэтому испытания пароперегревателя включают в необходимом объеме проверку его надежности и других показателей при наиболее частых в эксплуатации возмущениях:

наброс (сброс) топлива;

резкое изменение расхода питательной воды (в прямоточных котлах);

отключение (переключение) отдельных горелок при постоянной тепловой нагрузке котла;

снижение давления среды;

переход с одного вида топлива на другое;

другие возмущения по местным условиям (расшлаковка, включение обдувочных аппаратов и т.д.).

Значение и продолжительность возмущений не нормируются и устанавливаются на основе имеющегося опыта и реальных условий эксплуатации.

Перед началом и после нанесения возмущения котел должен проработать в стационарном режиме около I ч.

Опыты с возмущениями режима проводятся на двух-трех нагрузках котла, включая минимальную. Обычно они совмещаются с опытами на требуемой нагрузке в стационарном режиме и проводятся после их окончания.

6.3.2. Надежность пароперегревателя является фактором, в значительной мере определяющим технологию и продолжительность растопки или останова котла. Поэтому в случае необходимости (новая технология пуска, повреждения в пусковых режимах, вызывающие опасения предварительные расчеты и т.п.) производится проверка показателей работы пароперегревателей в режимах пуска и останова котла. Пуск и останов котла ведутся согласно эксплуатационной инструкции и рабочей программе.

Применительно к режимам пуска (останова) котла кроме температурного режима труб пароперегревателей в зоне обогрева необходимо контролировать скорости прогрева (охлаждения) толстостенных элементов (коллекторов, впрыскивающих пароохладителей, трубопроводов и др.). В частности, следует предусмотреть контроль температуры металла верхней и нижней образующих коллекторов впрыскивающих пароохладителей, гибов за местом впрыска, паропроводов свежего пара и пара промперегрева.

6.3.3. От надежности пароперегревателей во многом зависят такие показатели маневренности котлов и энергоблоков, как предельные скорости изменения нагрузки, значение допустимого наброса нагрузки (при ликвидации аварийного дефицита мощности) и др.

Поэтому проводятся следующие опыты для оценки маневренности котлов по условиям надежности пароперегревателей:

набросы нагрузки до 20% номинальной со скоростью, определяемой максимальным быстродействием системы регулирования турбины. Опыты проводятся на следующих нагрузках: минимальной, 50 и 70% номинальной;

определение допустимой скорости изменения нагрузки.

Оценка маневренности проводится при работе котла на номинальном давлении.

## 7. УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

7.1. Основные испытания проводятся после устранения недостатков в работе котла, выявленных в процессе подготовки испытаний и анализа результатов предварительных испытаний.

7.2. Состояние и условия эксплуатации котла и вспомогательного оборудования в период проведения испытаний должны соответствовать проектной и заводской документации, а также требованиям ПТЭ, инструкций и другим нормативно-техническим документам.

7.3. При проведении испытаний изменение значений параметров котла не должно выходить за допустимые пределы.

7.4. В период испытаний в котле должно сжигаться топливо с характеристиками, предусмотренными рабочей программой испытаний.

7.5. Режим работы котла должен быть стабильным. Регуляторы топлива и воздуха должны работать в режиме стабилизации расхода.

7.6. Тепловыделение в топке (расход топлива, воздуха и газов рециркуляции) должно поддерживаться во время опыта стабильными.

7.7. За I ч до начала испытаний при одной нагрузке или проводимых в один день должна быть выполнена очистка поверхностей нагрева от золовых отложений.

7.8. При проведении испытаний методом однофакторного эксперимента должно обеспечиваться неизменное значение всех режимных параметров котла, за исключением параметра, влияние которого на характеристики котла определяется.

7.9. При проведении испытаний пароперегревателя в стацио-

нарных режимах средства регулирования температур пара по тракту управляются дистанционно.

7.10. Длительность испытания регламентируется временем, необходимым для отбора требуемого количества проб топлива и дымовых газов, отсчетов значений параметров в количестве, достаточном для их статистической обработки (не менее 15 равномерно расположенных отсчетов). Интервал времени между отсчетами должен выбираться от 2 до 15 мин. Параметры, имеющие большую частоту или амплитуду колебаний, а также требующие повышенной точности, должны иметь большее число отсчетов.

7.11. В период как до, так и между отдельными испытаниями должны обязательно выдерживаться следующие условия работы котла:

продолжительность работы котла от растопки до начала испытаний должна составлять не менее 72 ч;

длительность выдерживания испытательной нагрузки непосредственно перед опытом - не менее 3 ч;

допустимое отклонение нагрузки котла в период ее выдерживания непосредственно перед опытом и во время перерыва между опытами для котлов паропроизводительностью не меньше 200 т/ч - не более 5%; для котлов паропроизводительностью меньше 200 т/ч - не более $\pm$10%;

длительность перерыва между двумя режимами испытаний (при постоянном тепловыделении в топке) определяется временем стабилизации наиболее инерционных параметров котла, в основном температуры уходящих газов;

длительность опыта предварительных испытаний должна составлять не менее 60 мин;

длительность опыта основных испытаний должна составлять не менее 90 мин - для газомазутных котлов и не менее 2 ч - для пылеугольных котлов.

7.12. При проведении испытаний пароперегревателей в стационарных режимах должны выдерживаться следующие допустимые отклонения параметров работы котла (табл.2) от значений, предусмотренных программой испытаний.

7.13. При проведении испытаний скорость изменения определяемых параметров в переходных режимах должна быть не более 2%/мин (от значения параметра в исходном установившемся режиме).

Таблица 2

| Параметр | Максимально допустимое отклонение параметра в опыте от номинального значения |
|---|---|
| I. Паропроизводительность и расход питательной воды для котлов с $D>220$ т/ч, % | $\pm 3$ |
| для котлов $D<200$ т/ч, % | $\pm 6$ |
| 2. Давление пара, % | $\pm 6$ |
| 3. Температура перегретого пара, % | $\pm 2$ |
| 4. Температура питательной воды, % | $\pm 2$ |
| 5. Содержание кислорода в дымовых газах, % | $\pm 0,3$ |
| 6. Давление топлива перед горелками, МПа (кгс/см$^2$): | |
| при сжигании мазута | $\pm 0,I(I)$ |
| при сжигании газа | $\pm 0,00I(0,0I)$ |
| 7. Температура воздуха на входе в котел (после воздухоподогревателя), % | $\pm 5$ |

7.I4. На диаграммных лентах самопишущих приборов, используемых при испытаниях, должны быть указаны дата проведения испытания, наименование измеряемой величины, шкала прибора, его номер и класс точности, сделаны отметки начала и конца опытов.

7.I5. В журнале наблюдений указывают наименование объекта испытаний, дату проведения и номер испытания, режим работы котла, номер поста наблюдения, фамилию и подпись наблюдателя, измеряемые физические величины и их единицы измерения, время отсчета и показания измерительных приборов.

7.I6. В дневник испытаний заносятся дата испытаний, номер испытания, особенности режима работы котла, замеченные отклонения режимов от заданного, выполненные переключения в схемах оборудования, характеристика ведения опыта, возможные причины отклонения параметров, предварительное заключение о качестве проведенного опыта.

7.I7. Испытание может быть прекращено или результаты его

забракованы после его проведения в случае серьезных расхождений между полученными данными, значительного расхождения или изменения в процессе испытания характеристик топлива, недопустимого изменения давления, расхода и температуры пара и металла, а также изменения схемы и состава работающего оборудования, вызвавшего отклонения параметров работы котла за пределы, указанные в табл.2.

7.18. Количество опытов на каждой нагрузке котла с постоянными параметрами должно быть не менее двух. Нестационарные режимы с возмущениями повторяются в случае необходимости уточнения полученных результатов, несоответствия изменения параметров работы котла заданным, а также при выходе из строя в процессе опыта части измерений.

7.19. Полученный экспериментальный материал рекомендуется, по возможности, подвергать в определенном объеме обработке сразу же после опытов. Предварительный анализ результатов опытов позволит более целенаправленно проводить последующие опыты и корректировать намеченную программу испытаний.

7.20. В период испытаний рекомендуется вести постоянные наблюдения за эксплуатационными режимами котла по приборам штатного и экспериментального контроля с целью получения подтверждения представительности и полноты опытных режимов, а также данных о характере изменения параметров котла во времени. Последнее особенно важно для пылеугольных котлов. Результаты наблюдений используются в качестве вспомогательного материала.

## 8. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Обработка результатов испытаний делится на две стадии: предварительную, проводимую в ходе испытаний или сразу же по окончании серии опытов, и окончательную, осуществляемую после завершения всей экспериментальной части испытаний.

8.1. Предварительная обработка позволяет оценить выполненный эксперимент с точки зрения соблюдения условий его проведения, достоверности полученных результатов и принять решение о возможности зачета эксперимента или необходимости его по-

вторения. При предварительной обработке используются, как правило, упрощенные методы расчета и эмпирические уравнения.

По результатам предварительной обработки при необходимости составляется предварительное заключение и выдается заказчику.

8.2. Окончательная обработка материалов заключается в:

отборе результатов наблюдений, подлежащих обработке и анализу;

расшифровке диаграммных лент самопишущих приборов и накопителей информации автоматических СИ с учетом масштабов и поправок;

статистической обработке результатов наблюдений в эксперименте ("ручной" или с использованием ЭВМ);

расчете и составлении характеристик пароперегревателей и их анализе;

составлении таблиц результатов измерений, построении графических зависимостей;

расчете и анализе погрешностей результатов измерений и обработки.

8.2.1. Статистическая обработка результатов наблюдений выполняется согласно ГОСТ 8.207-76 и СТ СЭВ 543-77.

8.2.2. По формулам, представленным в п.8.4, рассчитываются показатели и характеристики пароперегревателей котлов (тепловосприятия, температурные разверки, перепады давлений и др.).

Погрешности измерений рассчитываются по следующей формуле:

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\Delta x\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\Delta y\right)^2}\ , \qquad (2)$$

где $\frac{\partial z}{\partial x} \ldots \frac{\partial z}{\partial y}$ - частные производные функциональной зависимости $Z = f(x \ldots y)$ по аргументам $x \ldots y$ ;

$\Delta x \ldots \Delta y$ - погрешности (среднеквадратические прямых измерений параметров $x \ldots y$ в единицах измеряемой величины).

При проведении расчетов следует руководствоваться следующими правилами округления рассчитанного значения погрешности и полученного экспериментального результата измерения:

погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна I или 2, и одной - если первая есть 3 и более;

результат измерения округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности;

округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

8.2.3. Оценка надежности температурного режима элементов пароперегревателей производится на основании полученных результатов и данных завода-изготовителя согласно действующим нормативно-техническим документам (ОСТ I08.90I.I02-78, ОСТ I08.03I.02-75, РТМ 24.030.49-75, РУ по жаростойкости и др.) и обобщенным материалам, таким, как "Допустимые температурные напряжения и скорости прогрева (расхолаживания) толстостенных паропроводов" (М.: Энергия, I975).

8.3. Расчет действительных значений величин.

8.3.I. Расчет давлений.

Расчет действительных значений давлений, измеренных пружинными манометрами, производится по формуле

$$p = p_{изм} + B_0 + \Delta p_{прис} + \Delta p_{инс}, \qquad (3)$$

где $p$ - действительное значение измеряемого давления, МПа;

$p_{изм}$ - значение давления, измеренного с помощью пружинного манометра, МПа;

$B_0$ - барометрическое давление в течение опыта, МПа;

$\Delta p_{прис}$ - поправка на высоту присоединения манометра, МПа;

$$\Delta p_{прис} = 0{,}0098\, \Delta H_{прис}, \qquad (4)$$

где $\Delta H_{прис}$ – разность высот между центром манометра и местом врезки соединительной линии, м (если манометр расположен выше места врезки, $\Delta H_{прис} > 0$, если ниже, $\Delta H_{прис} < 0$);

$\Delta p_{инс}$ – инструментальная поправка, определяемая путем сравнения с показаниями образцового прибора до и после испытаний, МПа.

8.3.2. Расчет температур.

При применении термоэлектрических преобразователей и использовании в качестве измерительных преобразователей переносных потенциометров постоянного тока расчет температур производится следующим образом:

учитывается температура свободных концов по формуле:

$$E = E_{изм} + E_{своб} , \qquad (5)$$

где $E$ – термо-ЭДС с учетом температуры свободных концов, мВ;

$E_{изм}$ – термо-ЭДС, измеренная переносным потенциометром, мВ;

$E_{своб}$ – термо-ЭДС свободных концов, найденная по таблице номинальной статической характеристики соответственно измеренной температуре ($^{o}$C) свободных концов, мВ;

далее $E$ по таблице номинальной статической характеристики переводится в градусы – $^{o}$C ( $t_{изм}$ );

действительная температура находится по формуле

$$t = t_{изм} + \Delta t_{т} , \qquad (6)$$

где $t$ – действительная температура, измеренная термоэлектрическим преобразователем, $^{o}$C;

$t_{изм}$ – температура, полученная соответственно по таблице номинальной статической характеристики, $^{o}$C;

$\Delta t_{т}$ – поправка на отклонение действительной характеристики термоэлектрического преобразователя от стандартной, определяемая при поверке преобразователя до и после испытаний путем сравнения с показаниями образцового преобразователя, $^{o}$C.

При использовании автоматических приборов расчет действительных температур производится по формуле

$$t = t_{изм} + \Delta t_{тп} + \Delta t_{инс} , \qquad (7)$$

где $t$ - действительная температура, $^{o}C$;

$t_{изм}$ - температура, измеренная автоматическим прибором, $^{o}C$;

$\Delta t_{инс}$ - инструментальная поправка к прибору, определяемая путем сравнения с образцовым прибором до и после испытаний, $^{o}C$.

При измерении температур с помощью термоэлектрических термометров с переносным прибором температуры определяются по таблицам номинальных статических характеристик.

8.3.3. Расчет перепадов давлений и расходов пара и воды.

Разность давлений на сужающем устройстве при измерении расхода пара или воды приводится к действительному значению.

При применении $U$ -образных дифманометров, заполненных ртутью,

$$H = (h_1 + h_2)(1 - 0{,}000185t), \qquad (8)$$

где $H$ - действительное значение разности давлений, мм рт.ст.;

$h_1, h_2$ - высоты столбов ртути в трубках дифманометра, мм рт.ст.

При применении однотрубных дифманометров, заполненных ртутью,

$$H = H_{изм}\left[1 - 0{,}000185t + \left(\frac{d_1}{D}\right)^2\right], \qquad (9)$$

где $H_{изм}$ - высота столба ртути в дифманометре, мм рт.ст;

$d_1$ - внутренний диаметр трубки дифманометра, мм;

$D$ - внутренний диаметр чашки дифманометра, мм.

На основании полученных значений согласно РД 50-213-80 производится расчет расходов.

8.4. Расчетные формулы основных характеристик пароперегревателей:

8.4.1. Приращение температуры в пароперегревателе или его элементе $\Delta t$ , $^{o}C$:

$$\Delta t = t_к - t_н , \qquad (10)$$

где $t_к$ , $t_н$ – температура пара на выходе и входе пароперегревателя или его элемента, °С.

8.4.2. Перепад статического давления в пароперегревателе или его элементе $\Delta p$ , МПа:

$$\Delta p = p_к - p_н , \qquad (11)$$

где $p_к$ , $p_н$ – статические давления пара на выходе и входе пароперегревателя или его элемента, МПа.

8.4.3. Приращение удельной энтальпии пара в пароперегревателе или его элементе $\Delta i$ , кДж/кг:

$$\Delta i = i_к - i_н , \qquad (12)$$

где $i_к$ , $i_н$ – удельная энтальпия пара на выходе и входе пароперегревателя или его элемента, кДж/кг.

8.4.4. Превышение температуры пара на выходе развернутой (наиболее нагретой) трубы, панели над средней на выходе из элемента (температурная разверка) $\delta t$ , °С:

$$\delta t = t_к^т - \bar{t}_к , \qquad (13)$$

где $t_к^т$ – температура пара на выходе развернутой трубы, панели, °С;

$\bar{t}_к$ – средняя температура пара на выходе из элемента, °С.

8.4.5. Превышение температуры пара на выходе развернутой трубы над температурой пара на выходе наименее нагретой трубы (полная температурная разверка) $\delta t_п$ , °С:

$$\delta t_п = t_к^т - (t_к^т)_{мин} , \qquad (14)$$

где $(t_к^т)_{мин}$ – температура пара на выходе наименее нагретой трубы, °С.

8.4.6. Коэффициент температурной разверки

$$\rho_t = \frac{t_к^т}{\bar{t}_к} = 1 + \frac{\delta t}{\bar{t}_к} . \qquad (15)$$

8.4.7. Превышение удельной энтальпии пара на выходе развернутой трубы, панели над средней на выходе из элемента (тепловая разверка) $\delta i$ , кДж/кг:

$$\delta i = i_к^т - \bar{i}_к , \qquad (16)$$

где $i_к^т$ – удельная энтальпия пара на выходе развернутой трубы, кДж/кг;

$\bar{i}_к$ – средняя удельная энтальпия пара на выходе из элемента, кДж/кг.

8.4.8. Коэффициент тепловой разверки:

$$\rho_q = \frac{\Delta i_т}{\Delta \bar{i}_{эл}} = \frac{i_к^т - \bar{i}_н}{\bar{i}_к - \bar{i}_н} = 1 + \frac{\delta i}{\Delta \bar{i}_{эл}}, \qquad (17)$$

где $\Delta i_т$ – приращение удельной энтальпии пара в развернутой трубе, панели, кДж/кг;

$\Delta \bar{i}_{эл}$ – то же в элементе, кДж/кг;

$i_к^т, i_н, i_к$ – удельная энтальпия пара на выходе из развернутой трубы, панели; на входе и выходе из элемента, кДж/кг.

8.4.9. Коэффициент гидравлической разверки в элементах пароперегревателей $\rho_г$ :

$$\rho_г = \sqrt{\left(1 - \frac{\delta p_{кол} \pm \delta p_{нив}}{\Delta \bar{p}_т}\right) \frac{1}{\eta_г} \frac{\bar{v}}{\bar{v}_т}}, \qquad (18)$$

где $\delta p_{кол}$ – разность суммарных потерь давления в коллекторах элемента между сечениями, соответствующими расположению труб с развернутым и средним расходами среды, МПа;

$\delta p_{нив}$ – разность нивелирных напоров в развернутой трубе и элементе, МПа;

$\Delta p_т$ – потери давления от трения и в местных сопротивлениях для трубы элемента со средним расходом пара, МПа;

$\bar{v}, \bar{v}_т$ – средние удельные объемы пара в элементе и развернутой трубе, $м^3$/кг;

$\eta_г$ – коэффициент гидравлической неравномерности.

8.4.10. Тепловосприятие пароперегревателя или его элементов $Q_i$ , кВт:

$$Q_i = D_i \ \Delta i_i , \qquad (19)$$

где $D_i$ - расход пара через рассчитываемую поверхность, кг/с;
$\Delta i_i$ - приращение удельной энтальпии в рассчитываемой поверхности, кДж/кг.

8.4.II. Тепловосприятие пароперегревателя или его элементов, отнесенное к I кг ($м^3$)топлива $\Delta J_i$, кДж/кг (кДж/$м^3$):

$$\Delta J_i = \frac{Q_i}{B_p}, \qquad (20)$$

где $B_p$ - расчетный расход топлива, кг/с ($м^3$/с).

8.4.I2. Приведенное тепловосприятие пароперегревателя или его элементов $Q_i^n$ :

$$Q_i^n = \frac{\Delta J_i}{Q_н^p} 10^3 = \frac{D_i \Delta i_i}{B_p Q_н^p} 10^3, \qquad (21)$$

где $Q_н^p$ - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

8.4.I3. Полное тепловосприятие пароперегревателя:

$$Q_{пп} = \sum_{i=1}^{n} Q_i ; \qquad (22)$$

$$\Delta J_{пп} = \Sigma \Delta J_i ; \qquad (23)$$

$$Q_{пп}^n = \Sigma Q_i^n ; \qquad (24)$$

8.4.I4. Условная (приведенная) энтальпия перегретого пара (только для барабанных котлов) $i_{усл}$, кДж/кг:

$$i_{усл} = i_н + \frac{Q_{пп}}{D}, \qquad (25)$$

где $i_н$ - альная энтальпия насыщенного пара, кДж/кг;
$D$ - паропроизводительность котла, кг/ч;
$Q_{пп}$ - полное тепловосприятие пароперегревателя, кВт.

8.4.I5. Превышение температуры металла трубы в зоне обогрева над температурой пара на выходе той же трубы $\Delta t$, °С:

$$\Delta t = t_м^т - t_к^т , \qquad (26)$$

где $t_м^т$ - температура металла трубы в зоне обогрева, $^{o}C$;
$t_к^т$ - температура пара на выходе трубы, $^{o}C$.

8.4.16. Превышение температуры металла разверенной трубы в зоне обогрева над средней температурой пара на выходе из элемента $\Delta t_{тэ}$, $^{o}C$:

$$\Delta t_{тэ} = t_м^{рт} - \bar{t}_к \quad , \tag{27}$$

где $t_м^{рт}$ - температура металла разверенной трубы в зоне обогрева, $^{o}C$;
$\bar{t}_к$ - средняя температура пара на выходе из элемента, $^{o}C$.

8.4.17. Коэффициент рециркуляции дымовых газов:

$$r = \frac{V_{рц}}{V_{г.отб}} \quad , \tag{28}$$

где $V_{рц}$, $V_{г.отб}$ - объемы газов, отбираемых на рециркуляцию и в сечении газохода за местом отбора, $м^3/ч$.

8.5. Особого внимания требует обработка температур труб в зоне обогрева, а также температур и давлений среды по пароводяному тракту, так как по ним оценивается надежность, определяется энтальпия и рассчитывается приращение энтальпии в пароперегревательных поверхностях нагрева, что является основой большей части обработки.

Давление в промежуточных точках определяется интерполяцией с учетом прямых измерений и гидравлического расчета котла.

Усредненные результаты обработки заносятся в таблицы и представляются в виде графиков (распределение температур и энтальпий среды по тракту, температурных и гидравлических разверок, зависимости показателей тепловой и гидравлической работы пароперегревателей от нагрузки котла, режимных факторов и др.).

8.6. Задачей испытаний в нестационарных режимах является определение отклонений температур среды и металла труб, давлений и расходов среды в элементах пароперегревателей от исходных стационарных значений (по величине и скорости изменения). Поэтому результаты обработки представляются в виде графиков в функции от времени.

Режимы пуска и останова обрабатываются также в форме графиков по времени.

## 9. ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

9.1. Результаты испытаний оформляются в виде технического отчета или заключения. Отчеты оформляются в соответствии с ГОСТ 7.32-81 и содержат:

обоснование проведения испытаний, их цели и задачи;

краткую характеристику оборудования; значения проектных (расчетных или заданных техническими условиями) характеристик котла;

программу и методику испытаний с конкретным описанием схемы экспериментального контроля и перечнем использованных средств измерений;

характеристики состояния оборудования, режимов эксплуатации и условий проведения опытов;

результаты испытаний в виде графиков функциональных зависимостей, сводных таблиц и их анализ;

заключение по результатам испытаний, выводы и рекомендации;

акты осмотров оборудования с оценкой состояния его отдельных элементов и в целом, если это оговорено в технической программе.

9.2. Таблицы результатов испытаний должны содержать результаты прямых измерений величин, необходимых для расчета характеристик пароперегревателей, величин, характеризующих режим работы котла и режим сжигания топлива и включенных в объем экспериментального контроля.

9.3. Выводы о причинах несоответствия характеристик пароперегревателей требованиям вышеперечисленной документации должны быть обоснованы данными результатов испытаний, а в случае необходимости, результатами дополнительных расчетных или экспериментальных данных.

9.4. Рекомендации по повышению уровня надежности и других показателей пароперегревателей и устранению выявленных недостатков должны быть конкретными и обоснованы расчетами их эффективности.

## IO. ПРАВИЛА ПРИНЯТИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ И РЕШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

IO.I. По результатам испытаний делаются выводы:

об уровне надежности и других показателях работы пароперегревателей и средств регулирования температуры перегретого пара;

о причинах несоответствия характеристик пароперегревателей требованиям нормативно-технической документации и технических условий, если такое несоответствие имеется;

о возможных путях повышения надежности и улучшения работы пароперегревателей и конкретных мероприятиях, если таковые можно обосновать по результатам испытаний, направленных на устранение причин неудовлетворительной работы пароперегревателей;

о выявленных недостатках в состоянии и эксплуатации котельной установки или ее отдельных узлов и возможных путях их устранения.

IO.2. Выводы об уровне надежности и других показателей работы пароперегревателей должны делаться на основании сравнения их характеристик, полученных при испытаниях (с учетом погрешностей), со значениями технических расчетов на прочность, теплового и гидравлического расчетов, нормативно-технической (ГОСТ 3619-82) документации, а также техническими условиями на поставку котла.

Выводы должны быть конкретными, однозначными и исключать возможность принятия несовместимых решений.

## II. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Лица, участвующие в проведении испытаний, должны знать и выполнять требования, изложенные в действующих "Правилах техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей", и иметь запись в удостоверении о проверке знаний.

Приложение
Справочное

## СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ ГОЛОВНОГО КОТЛА ТГМЕ-206

В качестве примера выполнения схемы измерений при испытаниях пароперегревателей на головных образцах котлов в настоящем приложении приведена схема ЭК применительно к котлу ТГМЕ-206, различные модификации которого были испытаны на Джамбулской и Навоийской ГРЭС, ТЭЦ г.Шевченко и г.Красноводска.

Котел П-образной компоновки, газомазутный, однокорпусный, с естественной циркуляцией, промежуточным перегревом пара предназначен для работы под наддувом. На задней стене топки установлено в два яруса 12 вихревых двухпоточных газомазутных горелок.

В топочной камере (на стенах) размещены нижняя и верхняя радиационные ступени пароперегревателя, в верхней ее части - ширмовая ступень, состоящая из двух рядов вертикальных унифицированных ширм: I ряд - входные ширмы, II ряд - выходные.

По ходу дымовых газов в переходном горизонтальном газоходе расположены:

I конвективная ступень пароперегревателя;

II конвективная ступень пароперегревателя;

две ступени промежуточного пароперегревателя, первая по ходу газов ступень - выходная по пару, вторая - входная.

Ширмовая, конвективные ступени пароперегревателя и промперегреватель выполнены недренируемыми.

Пароперегреватель - двухпоточный, симметричный (рис.П.I). На выходе из барабана пар каждого потока разделяется на два подпотока. В одном из них пар параллельно поступает в экраны фронтовой и боковой стен опускного конвективного газохода и боковой стены переходного горизонтального газохода, после чего направляется в подовый экран горизонтального газохода, а затем в нижнюю радиационную ступень пароперегревателя.

В другом подпотоке пар из барабана поступает в потолочно-настенную ступень пароперегревателя, откуда отводится в верхнюю

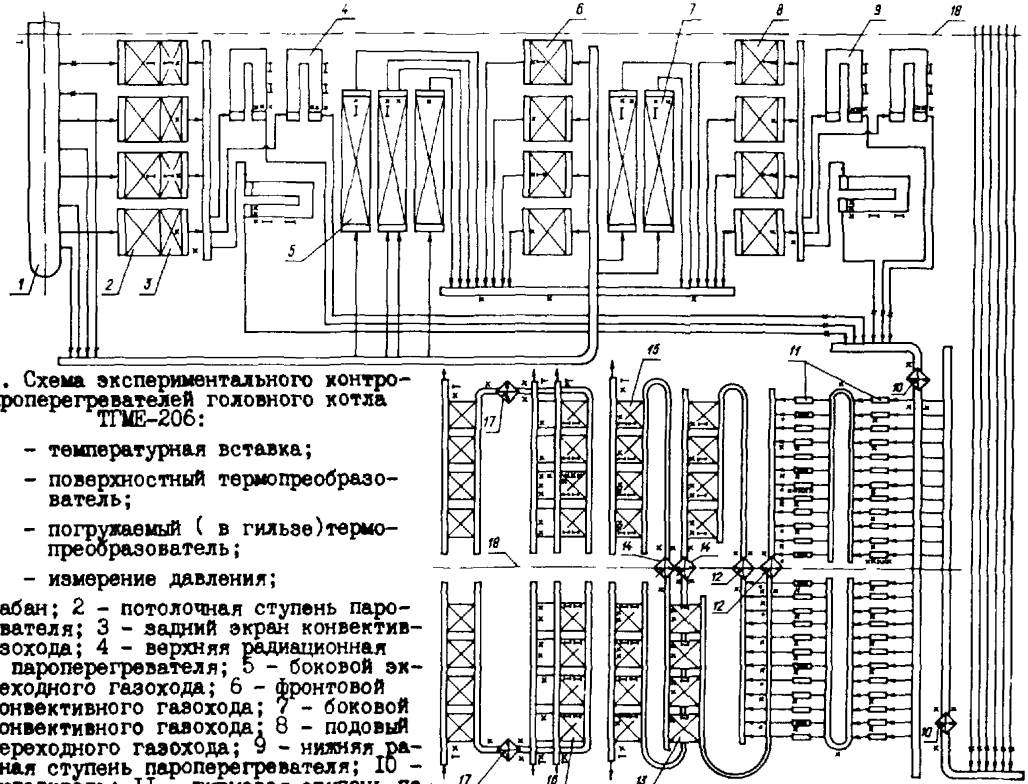


Рис.П.I. Схема экспериментального контроля пароперегревателей головного котла ТГМЕ-206:

⟷ – температурная вставка;

× – поверхностный термопреобразователь;

• – погружаемый ( в гильзе)термопреобразователь;

⊥ – измерение давления;

I – барабан; 2 – потолочная ступень пароперегревателя; 3 – задний экран конвективного газохода; 4 – верхняя радиационная ступень пароперегревателя; 5 – боковой экран переходного газохода; 6 – фронтовой экран конвективного газохода; 7 – боковой экран конвективного газохода; 8 – подовый экран переходного газохода; 9 – нижняя радиационная ступень пароперегревателя; I0 – I пароохладитель; II – ширмовая ступень пароперегревателя (ШПП); I2 – П пароохладитель; I3 – конвективный пароперегреватель I ступени (КПП-I); I4 – Ш пароохладитель; I5 – конвективный пароперегреватель П ступени (КПП-П); I6 – промежуточный пароперегреватель П ступени (ПрПП-П); I7 – пароохладитель; I8 – ось котла;

⟶ – направление движения пара.

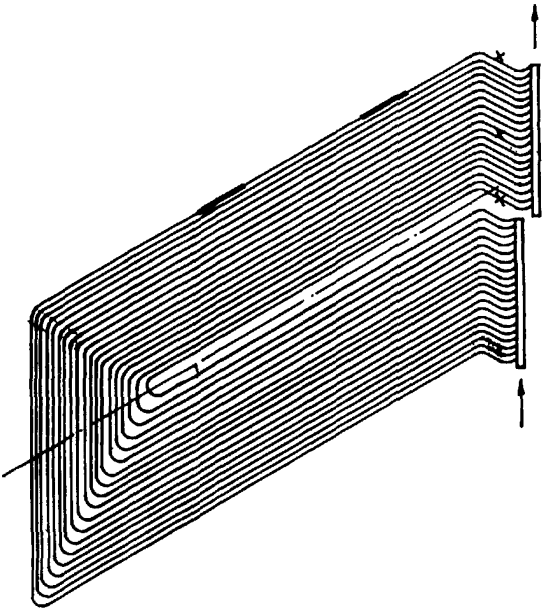

Рис.П.2. Расположение термопреобразователей на змеевиках панелей радиационной ступени пароперегревателя головного котла ТГМЕ-206:

—— - температурная вставка; × - поверхностный термопреобразователь

радиационную ступень.

После радиационных ступеней пар собирается в одном трубопроводе, после чего последовательно проходит ширмовую и конвективную ступени пароперегревателя. Движение пара и газов в этих поверхностях нагрева, кроме ширм I ступени, выполнено по схеме прямотока.

Регулирование температуры перегретого пара осуществляется впрыском собственного конденсата. Пароохладители установлены

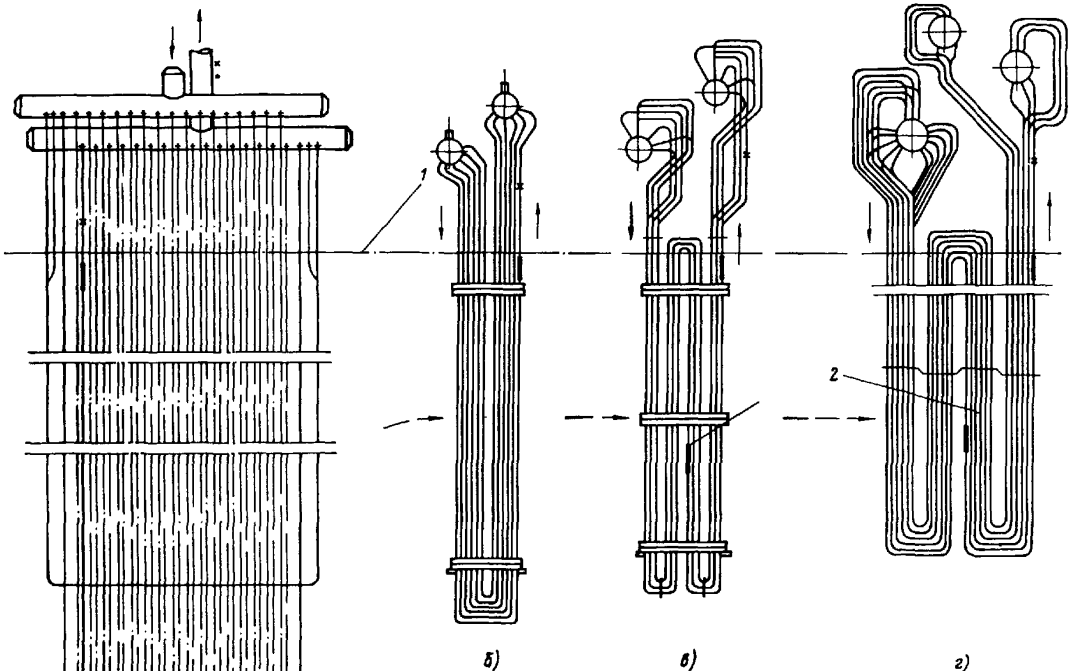


Рис.П3. Расположение термопреобразователей на змеевиках ступеней пароперегревателей (а-г) головного котла ТГМЕ-206:

⟵⟶ - температурная вставка; × - поверхностный термопреобразователь; • - погружаемый (в гильзе) термопреобразователь;

I - ось потолочного ПП; 2 - комбинированный стык

на каждом потоке в трех местах по ходу пара:

I - между РШП и ШШП;

II - между ШШП и КШП-I;

III - между КШП-I и КШП-II.

После каждого пароохладителя осуществляется переброс потока на другую половину котла.

В I и II пароохладители предусмотрен также впрыск питательной воды.

Промперегреватель - двухступенчатый, двухпоточный с симметричными потоками пара.

Входная ступень - противоточная, выходная - прямоточная. Между ступенями предусмотрен пароохладитель с впрыском питательной воды.

Схемой измерений, разработанной совместно с заводом-изготовителем ПО "Красный котельщик", предусмотрена проверка температурного режима всех ступеней пароперегревателя и толстостенных элементов, за исключением входной ступени промежуточного пароперегревателя, с установкой 94 температурных вставок, 194 поверхностных и 8 гильзовых термопреобразователей.

Размещение преобразователей на поверхностях нагрева представлено на рис.II.1, II.2, II.3. Для изучения неравномерности тепловосприятия по глубине ширм и пакетов выходной ступени промежуточного пароперегревателя поверхностные термопреобразователи были установлены на выходных змеевиках (через один змеевик) ширмы № 13 ШШП-I и ширмы № 18 ШШП-II, а также на выходе всех змеевиков пакета № 110 ПРШП-II.

Для определения влияния поля температур потока дымовых газов на температурную развертку в сечении опускного газохода перед экономайзером установлено 18 газовых термопреобразователей, равномерно размещенных по сечению газохода.

Предусмотрено также измерение давления пара в барабане, в выходных коллекторах перегретого пара, на входе и выходе промежуточного пароперегревателя.

## О Г Л А В Л Е Н И Е


| | | |
|---|---|---|
| I. | Общие положения | 3 |
| 2. | Показатели точности измерений | 7 |
| 3. | Схема измерений | 8 |
| 4. | Средства измерений | I4 |
| 5. | Подготовка к испытаниям | 24 |
| 6. | Проведение испытаний | 29 |
| 7. | Условия испытаний | 34 |
| 8. | Обработка результатов испытаний | 37 |
| 9. | Форма представления результатов испытаний | 46 |
| I0. | Правила принятия заключения и решений по результатам испытаний | 47 |
| II. | Требования техники безопасности | 47 |
| П р и л о ж е н и е . | Схема экспериментального контроля пароперегревателей головного котла ТГМЕ-206 | 48 |



Ответственный редактор Т.П.Леонова
Технический редактор Т.Ю.Савина
Корректор В.Д.Алексеева

Подписано к печати 27.0I.89 Формат 60x84 I/I6
Печать офсетная Усл.печ.л.3,02Уч.-изд.л. 3,0 Тираж I050 экз.
Заказ №142/89 Издат. № 8871Г

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий Союзтехэнерго
I05023, Москва, Семеновский пер., д.I5

ик оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6


gost.e-ecolog.ru