

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИСПЫТАНИЮ
СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ**

МУ 34-70-001-82

СТО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1982

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИСПЫТАНИЮ
СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ**

МУ 34-70-001-82

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва

1982

РАЗРАБОТАНО предприятием "Сибтехэнерго"

ИСПОЛНИТЕЛИ В.Ф.РЫБАЛКО, В.Н.КОМАРОВ

УТВЕРЖДЕНО производственным объединением по наладке,
совершенствованию технологий и эксплуатации электростанций
и сетей "Советехэнерго"

Главный инженер Г.Г.ЯКОВЛЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИСПЫТАНИЮ СЕТЕВЫХ
ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

МУ 34-70-001-82

Срок действия установлен
с 01.01.82 г.
до 01.01.87 г.

Методические указания содержат основные положения по организации и проведению тепловых и гидравлических испытаний сетевых подогревателей в соответствии с требованиями ПТЭ.

Методические указания предназначены для персонала предприятий ПО "Союзтехэнерго", служб наладки энергоуправлений, цехов наладки электростанций и других подразделений, осуществляющих испытания, наладку и эксплуатацию сетевых подогревателей ТЭС и котельных.

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИСПЫТАНИЙ

Тепловые и гидравлические испытания сетевых подогревателей проводятся с целью определения их фактических характеристик. Испытаниям, согласно требованиям ПТЭ (§ 26.2), подлежат серийно изготовленные сетевые подогреватели всех типов (БО, БП, ПСВ, НСГ).

Знание фактических характеристик позволяет решать следующие задачи:

- осуществлять периодический контроль за техническим состоянием подогревателей;
- определять тепловую производительность при заданных режимах работы;
- определять фактический температурный напор для сравнения его с расчетным;
- оценивать степень загрязнения внутренних поверхностей трубок и фактическое сопротивление подогревателя в целом;

- оценивать результаты реконструкции и модернизации;
- выявлять дефекты в работе и разрабатывать мероприятия по их устранению и оптимизации режимов работы.

Тепловые и гидравлические испытания сетевых подогревателей целесообразно совмещать или проводить с незначительным разрывом во времени, так как сравнительный анализ результатов двух видов испытаний повышает объективность выводов и обоснованность рекомендаций и, кроме того, уменьшаются трудозатраты при проведении подготовительных работ и испытаний.

Материалы общего характера для тепловых и гидравлических испытаний излагаются в настоящих Методических указаниях без выделения в подразделы. При наличии существенных различий в подготовке, проведении и обработке результатов этих испытаний материалы излагаются раздельно по виду испытания.

Тепловые испытания головных образцов сетевых подогревателей с целью сравнения их характеристик с гарантийными данными заводов-изготовителей должны проводиться по специальным методикам с применением приборов высокой точности и при увеличенном количестве измеряемых величин.

2. ПОДГОТОВКА СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ К ИСПЫТАНИЯМ

2.1. Схема экспериментального контроля

Схема экспериментального контроля предусматривает одновременное измерение параметров теплоносителей испытуемого подогревателя.

Подготовка к тепловым (гидравлическим) испытаниям начинается с тщательного обследования всей водоподогревательной установки (ВПУ) электростанции и в первую очередь намеченных к испытаниям подогревателей. Изучается имеющаяся техническая документация по сетевым подогревателям и ВПУ. На основании материалов обследования и изучения технической документации составляется принципиальная схема ВПУ и (или) отдельных групп подогревателей (рис. I-6) с указанием мест установки и типа измерительных приборов.

Схема ВПУ должна обеспечивать возможность организации намеченных режимов испытаний с фиксированными расходами сетевой воды

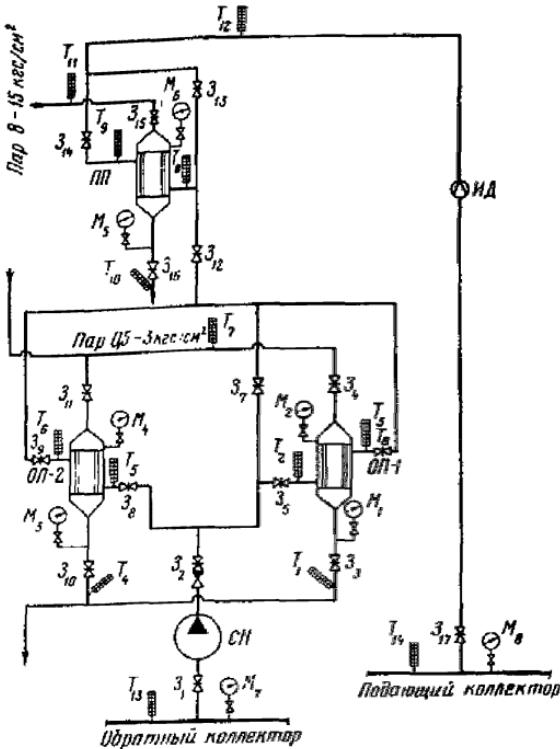


Рис. I. Принципиальная схема группы водоподогревателей:

З-3₁₇ - задвижки № I-17; Т-Т₁₄ - гильзы для термометров № I-14; М₁-М₂ - манометры № I-8; СН - сетевой насос; ИД - измерительная диафрагма; ОП - основной подогреватель; Ш - пиковый подогреватель

по каждому подогревателю. При необходимости разрабатываются мероприятия по дооборудованию подогревателей необходимыми средствами измерений, изменению схемы обвязки ВПУ и т. п.

При подготовке и проведении испытаний должна быть обеспечена требуемая точность измерения, определяемая поставленными задачами, что достигается подбором соответствующего класса приборов, правильностью их установки, полнотой введения поправок, дублированием основных измерений и т. п.

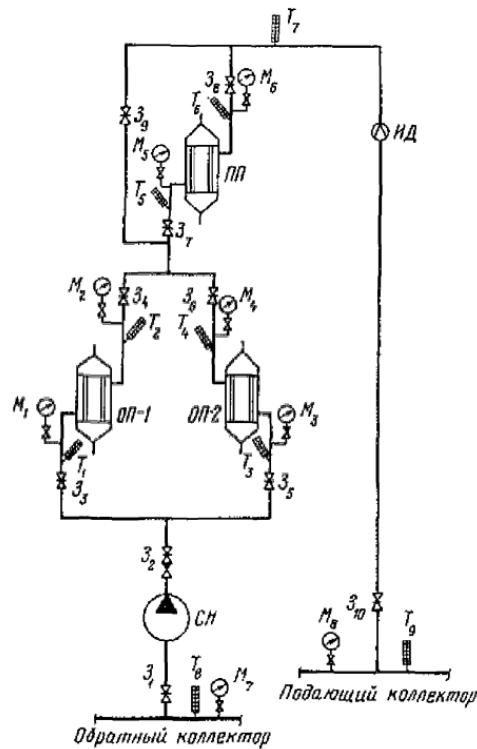


Рис.2. Вариант компоновки группы се-
тевых водоподогревателей

Обозначения см. рис. I

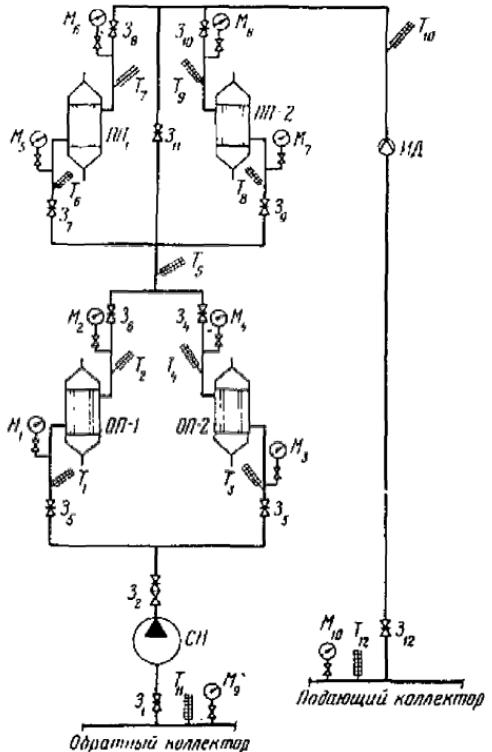


Рис.3. Вариант компоновки группы се-
тевых водоподогревателей:

Обозначения см. рис. I

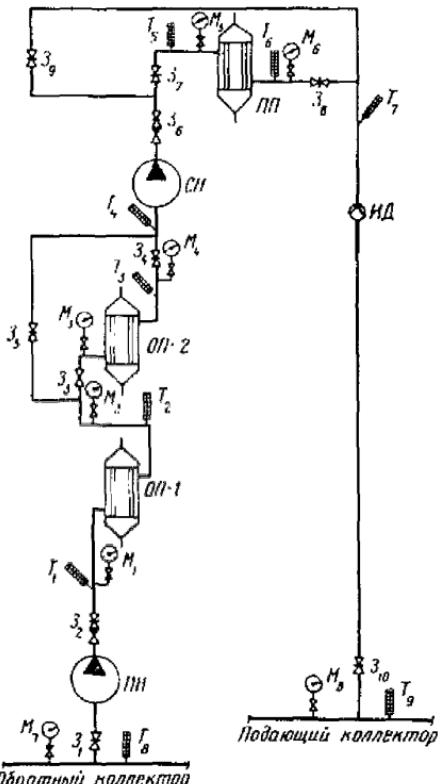


Рис. 4. Вариант компоновки группы се-
тевых водоподогревателей:

ПН - подпорный насос (насос I ступени).
Остальные обозначения см. рис. I

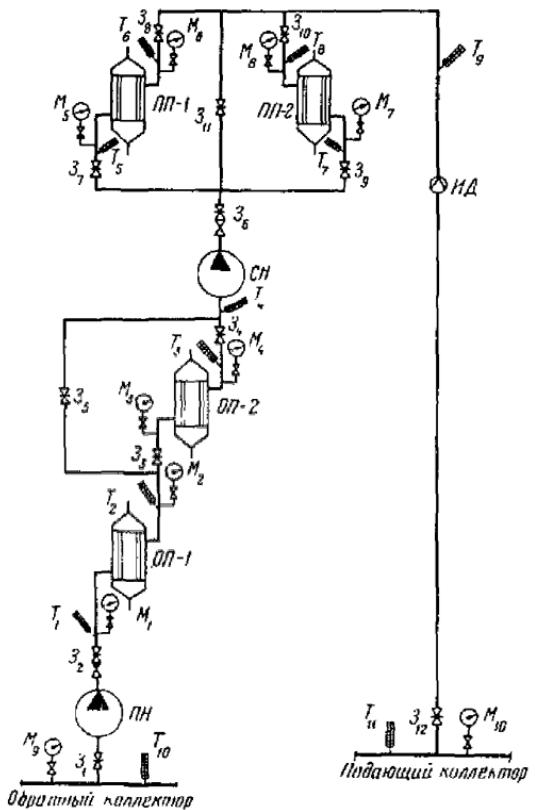


Рис. 5. Вариант компоновки группы сетевых
водоподогревателей
Обозначения см. рис. I

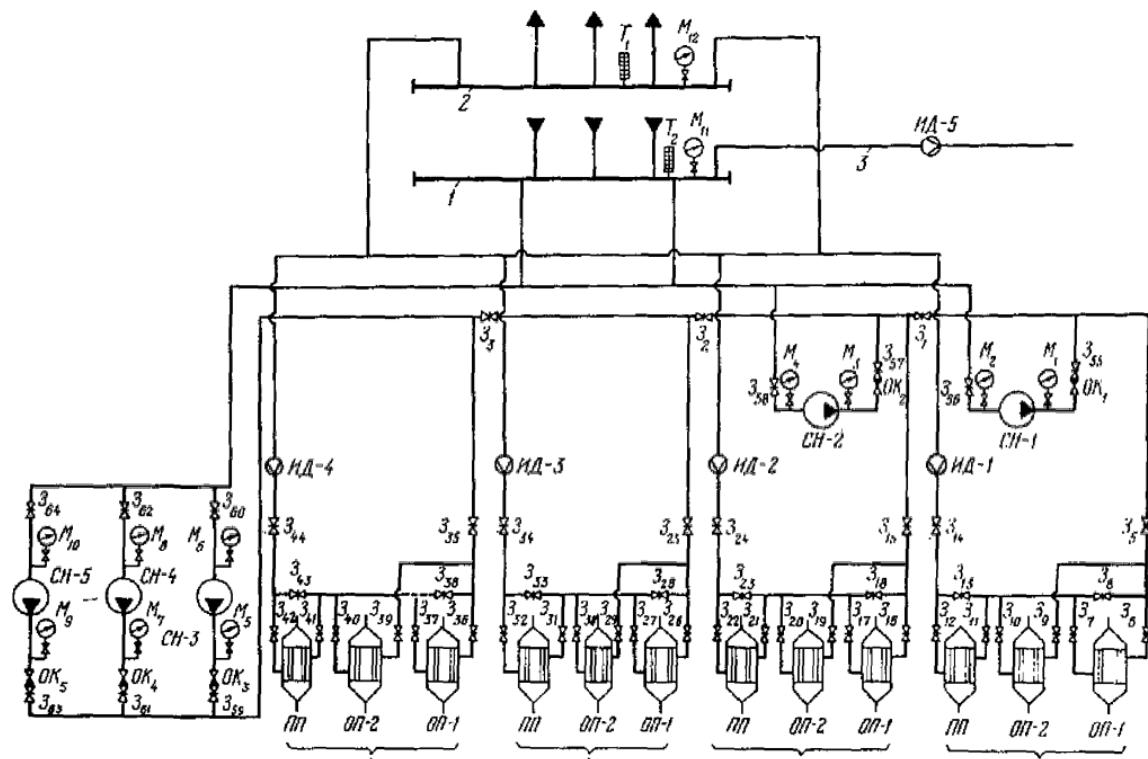


Рис. 6. Принципиальная схема вододогревательной установки ТЭЦ (ГРЭС):
 I - обратный коллектор; 2 - подающий коллектор; 3 - линия подачи; 4 - группа водоподогревателей; OK₁-OK₅ - обратные клапаны; I-5. Остальные обозначения см. рис. I

2.2. Термовые испытания

При термовых испытаниях сетевых подогревателей необходимо измерить:

- расход сетевой воды через испытываемый подогреватель;
- давление гречего пара в корпусе подогревателя;
- температуру гречего пара на входе в подогреватель;
- температуру сетевой воды во входном и выходном патрубках испытываемого подогревателя;
- температуру конденсата гречего пара.

При возможности следует продублировать измерения расхода и давления конденсата гречего пара.

2.3. Гидравлические испытания

При гидравлических испытаниях сетевых подогревателей необходимо измерить:

- расход сетевой воды через испытываемый подогреватель;
- давление сетевой воды на входе в испытываемый подогреватель и на выходе из него либо перепад давлений между входным и выходным патрубками;
- температуру сетевой воды во входном и выходном патрубках подогревателя и в месте установки измерительной диафрагмы расходомера.

2.4. Измерение расхода

Для измерения расхода сетевой воды, как правило, должны использоваться ртутные манометры, приборы типов ДМЭ, ДМЭР и им подобные, подсоединяемые к эксплуатационным измерительным диафрагмам. В отдельных случаях, при проведении эксплуатационных, оценоч-

ных испытаний, допустимо использовать штатные самодишиющие расходомеры с показывающей шкалой класса точности I,5-I,6. Во всех случаях организация измерения расходов воды должна осуществляться в соответствии с требованием "Правил 28-64. Измерение расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами" (М.: Издательство стандартов, 1964).

Диафрагметры желательно устанавливать ниже сужающего устройства, в местах, не подверженных вибрации, а также воздействию недопустимо высокой или низкой температуры и влажности воздуха. Импульсные линии должны быть герметичными; сальники вентилей не должны пропускать воду.

2.5. Измерение давления, перепада давлений

Давление выше 2 кгс/см² измеряется пружинными манометрами типа МИ класса точности 0,5 или образцовыми. Значение измеряемого давления должно соответствовать второй трети верхнего значения шкалы. Расположение манометра должно обеспечивать удобство отсчета и отсутствие ошибки из-за параллакса. Импульсная трубка прокладывается по кратчайшей трассе с непрерывным уклоном в одну сторону, без изломов и спиралей на поворотах. Внутренний диаметр трубы должен быть не менее 10-12 мм.

При измерении дульсирующего давления для уменьшения износа передаточного механизма манометра и уменьшения погрешности показаний допустимо устанавливать между манометром и трехходовым вентилем дроссельную шайбу с диаметром отверстия 0,5-1,0 мм. До и после испытания производится тарировка манометров в рабочем диапазоне на грузоршневом прессе, по данным которой строится зависимость $\Delta P = f(p_M)$ (ΔP - отклонение показания манометра от значения установленного на прессе груза).

Давление ниже 2 кгс/см² измеряется ртутным U-образным прибором с одним открытым коленом. Длина колена должна соответствовать максимальному значению измеряемого давления с учетом высоты столба воды в присоединенном колене.

При измерении давления в пределах 1-2 кгс/см² измерительный прибор следует располагать несколько ниже места отбора импульса, чтобы обеспечивался непрерывный уклон импульсной трубы в сторону

прибора не менее 1:10. Для сохранения неизменными высоты и температуры столба конденсата в трубке у места отбора импульса устанавливается конденсационный сосуд.

Обязательным условием при измерении давления выше 1 кгс/см² является заполнение конденсатом всей импульсной трубы и присоединенного колена до уровня ртути.

При измерении давления ниже 1 кгс/см² U-образный прибор или ртутный одностекольный вакуумметр должен располагаться выше точки отбора импульса. Конструкция узла присоединения прибора должна обеспечивать возможность периодической продувки импульсной линии для исключения скапливания конденсата.

Допустимо для измерения малых значений давления и разрежения пользоваться образцовыми мановакуумметрами при условии тарировки их до и после испытания.

Для введения поправок на высоту установки приборов должны быть определены отметки точек отбора импульса и "нулей" шкал ртутных приборов или штуцеров манометров.

В случае измерения непосредственно перепада давлений между входным и выходным патрубками сетевой воды подогревателя (всегда предпочтительнее измерения давления манометрами) с использованием ртутных дифманометров, приборов типа ДМЭП порядок подбора, поверки и установки этих приборов определяются "Правилами 28-64".

Штуцера для измерения давления должны быть врезаны в патрубки подогревателя, в корпус подогревателя или в паропровод за последней задвижкой по ходу пара, а также в конденсатопровод до первой задвижки по ходу конденсата.

2.6. Измерение температуры

Температура измеряется с помощью ртутных лабораторных термометров, а в труднодоступных местах – с помощью термодатчиков или термометров сопротивления, устанавливаемых в термометрических гильзах.

При гидравлических испытаниях температуру сетевой воды в патрубках подогревателя и в месте установки измерительной дифрагмы допускается измерять техническими термометрами.

Гильзы должны устанавливаться таким образом, чтобы обеспечи-

вались наиболее благоприятные условия теплопередачи от измеряемой среды к термометрической гильзе.

На трубопроводах диаметром более 200 мм гильзы устанавливаются перпендикулярно потоку. На вертикальных участках трубопроводов с восходящим потоком диаметром менее 200 мм гильзы устанавливаются под углом 30° к оси трубопровода. На вертикальных участках трубопроводов с нисходящим потоком установка гильз нежелательна.

На горизонтальных трубопроводах диаметром менее 200 мм гильзы устанавливаются под углом 45° навстречу потоку. На трубопроводах диаметром менее 50 мм врезка гильз предусматривается в специально устанавливаемые расширители.

При перпендикулярной установке конец гильзы должен заходить за ось трубы примерно на 15 мм. При установке против потока конец гильзы должен находиться в середине его.

При измерении температуры среды в трубопроводах большого диаметра целесообразно устанавливать две-три гильзы в одном сечении трубопровода. Для улучшения условий теплопередачи целесообразно на две гильзы помешать металлические опилки или наливать масло.

Гильзы для термометров должны быть врезаны в патрубки подогревателя, паропровод, конденсатопровод и трубопроводы сетевой воды в удобных для измерения местах.

2.7. Требования к схеме и оборудованию ВПУ

К началу испытаний должна быть обеспечена готовность схемы ВПУ и ее оборудования. Все намеченные к испытаниям подогреватели должны быть оборудованы штуцерами для манометров с исправными вентилями или кранами и термометрическими гильзами.

Запорная и регулирующая арматура, а также указатели уровня конденсата должны быть в исправном состоянии. Запорная арматура на обводных линиях подогревателей должна быть полностью закрыта, плотность ее закрытия желательно контролировать, например по показаниям термометров. Системы отсоса неконденсирующихся газов из парового пространства подогревателей должны быть в исправном состоянии и включены в работу.

Организация измерений должна предусматривать кроме записей значений измеряемых величин по основным приборам еще и записи

значений тех же величин по дублирующим или штатным самопишущим и показывающим приборам с целью проверки достоверности основных измерений. Запись измеряемых параметров должна вестись на специальных бланках (журналах) наблюдений с указанием даты, часа, минуты, места измерения, номера прибора, фамилии и подписи наблюдателя.

Тепловые испытания подогревателей могут проводиться только в период отопительного сезона. При этом основные подогреватели (ОП) и ливовые подогреватели (ЛП) могут испытываться одновременно или в разные периоды в зависимости от температуры наружного воздуха, обеспеченности ВЦУ паром необходимых параметров, наличия наблюдателей и т. п.

Гидравлические испытания подогревателей могут проводиться в любое время года, а также могут быть совмещены с тепловыми испытаниями либо испытаниями сетевых насосов.

3. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Тепловые и гидравлические испытания сетевых подогревателей проводятся по программам, утверждаемым главным инженером электростанции и согласованным с предприятием тепловых сетей (приложения I и 2).

В программе испытаний должны быть указаны:

- цель и задачи испытаний;
- количество и характеристика опытов;
- режимы работы сетевых подогревателей во время испытаний;
- допустимые колебания параметров;
- частота регистрации показаний приборов.

В качестве приложений к программе испытаний должны составляться:

- принципиальная схема ВЦУ ТЭС или группы подогревателей (см. рис. I-6);

- таблица режимов испытаний (табл. III. I, II. I).

Программа подписывается ее составителем, представителем подразделения (службы, группы), организующего проведение испытаний,

и представителем эксплуатационного подразделения (турбинного, котлтурбинного цеха и т.д.), назначенного ответственным за подготовку и проведение испытаний.

Цель и задачи испытаний определяются в соответствии с разд. I настоящих Методических указаний.

3.1. Термовые испытания

Термовые испытания сетевых подогревателей целесообразно проводить при одном-двух расходах сетевой воды — номинальном и уменьшенном до 60–80% номинального. При каждом расходе проводится два-три опыта с разными давлениями грекущего пара, в том числе и при номинальном давлении.

Продолжительность каждого опыта в установленном режиме должна обеспечить запись измеряемых параметров не менее 10–12 раз с интервалом в 2–3 мин.

Согласно опыту проведения аналогичных работ, колебания параметров не должны превышать: расход сетевой воды — $\pm 5\%$; температура сетевой воды — $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

С целью сокращения времени на переключения в схеме ВПУ и стабилизацию режимов целесообразно при установленном одном значении расхода сетевой воды поочередно повышать давление грекущего пара (устанавливать намеченные значения давления для испытаний), а после достижения номинального значения давления уменьшить расход сетевой воды до намеченного уровня и поэтапно снижать давление грекущего пара. При этом необходимо иметь в виду, что неизбежные колебания расхода, давления и температуры сетевой воды на выходе ТЭС в разных опытах не должны превышать допустимых ПТЭ (§ 26.1, 26.3) значений. Желательно максимально совмещать режимы испытаний подогревателей в группах.

В ходе испытаний помимо наблюдений за показаниями контрольно-измерительных приборов (основных и дублирующих) должен вестись контроль за уровнем конденсата в подогревателях и отводом неконденсирующихся газов (ПТЭ, § 26.4).

3.2. Гидравлические испытания

При гидравлических испытаниях сетевых подогревателей достаточно проведения двух опытов, в каждом из которых при установленном значении расхода сетевой воды измеряется потеря напора на участке от входного до выходного патрубка подогревателя.

В одном опыте устанавливаетсяnominalnyy расход сетевой воды для испытуемого подогревателя, а в другом – уменьшенный до 70–80% nominalnogo. Опыт (режим) с nominalnym расходом сетевой воды является основным, результаты которого используются для определения фактического сопротивления подогревателя (его гидравлической характеристики), с уменьшенным расходом – вспомогательный, используемый для оценки достоверности результатов испытаний.

Потери напора в подогревателе всегда целесообразно измерять дифманометром. При использовании для этой цели манометров в основном опыте целесообразно устанавливать максимально возможный расход сетевой воды.

Испытания основных и пиковых подогревателей могут проводиться одновременно или раздельно, в зависимости от длительности испытаний, количества наблюдателей и т. п. В каждом опыте производится не менее 8–10 измерений с интервалом в 2–3 мин.

Колебания измеряемых перепада давлений (давлений) и расхода сетевой воды в каждом опыте не должны превышать $\pm 5\%$, что соответствует требованиям ПТЭ (§ 26.1).

Режимы работы сетевых подогревателей при испытаниях определяются компоновой группой ИУ (см. рис. 2–5).

Для оценки гидравлического сопротивления отдельных групп подогревателей и ИУ в целом в режиме при включенных по воде всех подогревателях производятся дополнительные измерения давления по штатным поверенным или переносным приборам:

в обратном трубопроводе (коллекторе) электростанции;

в подающем трубопроводе (коллекторе) электростанции;

во всасывающих и нагнетательных патрубках всех находящихся в работе сетевых насосов.

При всем многообразии компоновок групп сетевых подогревателей организация основного и вспомогательного режимов испытаний принципиально схожа:

- организация основного режима испытаний при последовательной схеме обвязки подогревателей любого типа (см. рис. 4-5) не вызывает затруднений; при параллельной схеме обвязки (см. рис. 2, 3 и 5) один из параллельно включенных подогревателей должен надежно отключаться по сетевой воде (следует иметь в виду, что при трех параллельно включенных подогревателях отключаться должны два и во всех случаях отключения подогревателя по сетевой воде должна быть прекращена подача пара на отключенный подогреватель);

- организация вспомогательного режима испытаний при последовательной схеме обвязки также проста; при параллельной схеме обвязки возможны два подхода: либо отключение одного из параллельно включенных подогревателей, либо совместное испытание параллельно включенных подогревателей.

При испытании параллельно включенных подогревателей для определения расхода через каждый подогреватель используют уравнения теплового и материального балансов, а температуру сетевой воды измеряют лабораторными термометрами.

Температура измеряется на выходе из каждого основного, на входе в пиковые, на выходе из каждого пикового подогревателя и в подающем трубопроводе после точки смешения.

Для сокращения времени на испытания подогревателей целесообразно совмещать основной и вспомогательные режимы, например, для компоновок, приведенных на рис. 2 и 5, либо вспомогательные режимы для компоновки, приведенной на рис. 3.

Установление расходов в основных и вспомогательных режимах для различных типов подогревателей и схем их обвязки достигается изменением числа работающих насосов, включением или отключением параллельных ветвей (обводные линии, подогреватели) или с помощью арматуры, не влияющей на точность показаний манометров и дифманометров.

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Опыт считается пригодным для обработки результатов и анализа, если колебания параметров, периодичность записей показаний приборов и продолжительность опыта соответствуют программе испытаний.

До начала обработки результатов руководитель испытаний производит разметку опытов на основании просмотра журналов наблюдений.

В основе обработки результатов испытаний лежат средние значения величин, вычисленные по записям в журналах наблюдения в пределах опыта. Для определения действительных значений измеряемых параметров к средним значениям вводятся поправки на показания приборов.

Если при измерении расхода сетевой воды ее температура отличается от расчетной температуры для используемой измерительной диафрагмы, усредненное значение измеренного в опыте массового расхода корректируется по зависимости:

$$G = G_{оп} \sqrt{\rho_{оп}/\rho_p},$$

где G – скорректированное значение массового расхода сетевой воды, т/ч;

$G_{оп}$ – усредненное значение измеренного в опыте массового расхода сетевой воды, т/ч;

$\rho_{оп}$ – плотность сетевой воды в месте установки измерительной диафрагмы во время проведения опыта, кг/м³;

ρ_p – расчетная плотность сетевой воды для используемой измерительной диафрагмы, кг/м³.

Измеренные, усредненные и скорректированные значения массового расхода сетевой воды в каждом опыте при необходимости пересчитываются на объемный расход Q (м³/ч) по формуле

$$Q = \frac{G}{\rho} 10^3,$$

где G – массовый расход сетевой воды, т/ч;

ρ – средняя плотность воды в подогревателе, кг/м³.

При отсутствии непосредственных измерений расхода во всjomогательных режимах через отдельные подогреватели определение расхода по каждому из двух параллельно включенных подогревателей производится расчетным путем.

На основании теплового и массового балансов получим систему уравнений:

$$\begin{cases} G_1 t_1 + G_2 t_2 = G_c t_c \\ G_1 + G_2 = G_c, \end{cases}$$

где G_1 - расход сетевой воды через первый подогреватель, т/ч;
 t_1 - температура сетевой воды на выходе из первого подогревателя, $^{\circ}\text{C}$;
 G_2 - расход сетевой воды через второй подогреватель, т/ч;
 t_2 - температура сетевой воды на выходе из второго подогревателя; $^{\circ}\text{C}$;
 G_c - суммарный расход сетевой воды по двум подогревателям, т/ч;
 t_c - температура смеси сетевой воды после обоих подогревателей, $^{\circ}\text{C}$.

После решения системы уравнений получим:

$$G_1 = G_c \frac{(t_c - t_2)}{(t_1 - t_2)};$$

$$G_2 = G_c - G_1.$$

Действительное абсолютное давление среды P (кгс/см 2) у заборного отверстия, измеренное пружинным манометром, с учетом поправок определяется из выражения:

$$P = P_m + \Delta P_n + \Delta P_{уст} + P_b,$$

где P_m - показание пружинного манометра, кгс/см 2 ;

ΔP_n - поправка по протоколу тарировки, определяемая по графикам тарировки для соответствующего показания манометра, кгс/см 2 ;

$\Delta P_{уст}$ - поправка на высоту установки манометра и столба воды в соединительной трубке от места присоединения до манометра, кгс/см 2 .

$$\Delta P_{уст} = \frac{H_{уст} - H_n}{10};$$

$H_{уст}, H_n$ - соответственно отметки установки манометра (по присоединительному штуцеру) и заборного устройства, м;

P_b - барометрическое давление в месте проведения испытания, кгс/см 2 .

$$\rho_0 = \frac{B_0}{735,6};$$

B_0 — приведенное к 0°С показание барометра с учетом поправок по паспорту, мм рт. ст.

Действительное абсолютное давление, измеренное ртутным манометром, определяется из выражения:

$$p = \frac{B_0 + (H_M - \Delta h_t + \Delta h_{уст})}{735,6},$$

где H_M — средний за опыт перепад давлений, мм рт. ст.;

Δh_t — поправка на температуру столбика ртути (окружающей среды в месте установки манометра), мм рт. ст.

$$\Delta h_t = 0,0001815 \cdot t \cdot H_M;$$

t — температура столбика ртути, °С;

$\Delta h_{уст}$ — поправка на высоту установки манометра, мм рт. ст.

$$\Delta h_{уст} = \frac{H_{пр} - H_{с.в}}{13,56},$$

$H_{пр}$ — средняя за опыт высота столба воды в присоединенном колене (от заборного устройства до уровня ртути), мм;

$H_{с.в}$ — высота столба воды в свободном колене, мм.

При измерении избыточного давления и расположении манометра ниже заборного устройства поправка на высоту присоединения вводится со знаком "минус", в противном случае — со знаком "плюс".

При измерении давления с помощью ртутного гаумуметра его действительное значение определяется по формуле

$$p = \frac{B_0 - (H - \Delta h_t + \Delta h_K)}{735,6},$$

где H — средняя за опыт высота столбика ртути, мм рт. ст.;

Δh_t — поправка на температуру столбика ртути, мм рт. ст.;

$$\Delta h_t = 0,0001815 \cdot t \cdot H;$$

Δh_K — поправка на капиллярность, мм рт. ст., определяется по nomogramme рис. 7 соответственно фактическому внутреннему диаметру стеклянной трубы и измеренной высоте мензиса ртути.

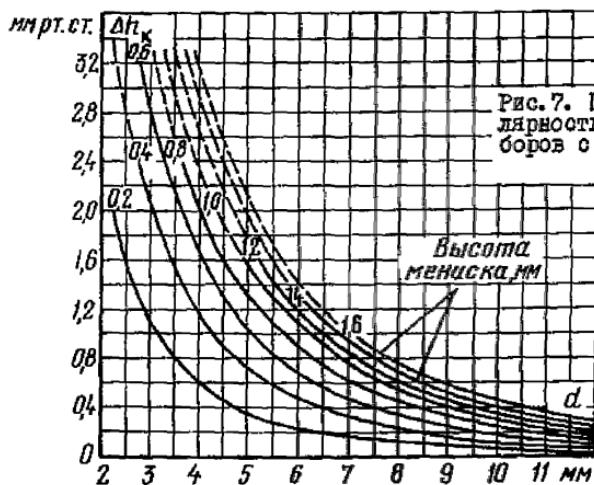


Рис. 7. Поправка на капиллярность для ртутных приборов с одним столбиком ртути

Перепад давлений, измеренных манометрами или дифманометром-перепадомером, принято выражать как потерю напора ΔH , мм вод. ст., определяемую из выражения

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho} 10^4 \pm \Delta h,$$

где ΔP – разность абсолютных давлений во входном и выходном патрубках, измеренная манометром, либо перепад давлений по дифманометру-перепадомеру, $\text{кг}/\text{см}^2$.

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вых},$$

$P_{вх}, P_{вых}$ – истинные абсолютные давления соответственно во входном и выходном патрубках с учетом поправок по протоколу тарировки и на высоту установки манометра, $\text{кг}/\text{см}^2$;

ρ – плотность сетевой воды при средней температуре в подогревателе, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Δh – разность отметок точек отбора импульса давления в патрубках, м.

Поправка Δh вносится со знаком "плюс", если точка забора импульса на входном патрубке расположена выше точки забора импульса на выходном, и со знаком "минус" - в противном случае.

После определения расхода, давления (перепада давлений) и температуры сетевой воды и греющего пара (конденсата греющего пара) по общепринятым зависимостям определяются фактические тепловые и гидравлические характеристики испытанных подогревателей.

4. I. Термовые испытания

Полученные в каждом опыте результаты используются для получения расчетным путем фактических тепловых (внешних) характеристик подогревателей (температураный напор, тепловая производительность, нагрев сетевой воды и др.) и сравнения их с расчетными (паспортными) значениями. Внешние характеристики обычно принимаются в качестве основных критериев эффективности работы подогревателя; они достаточно полно описывают его состояние, легко и быстро определяются, позволяют осуществлять контроль за показателями в период эксплуатации. При отсутствии паспортных данных по внешним характеристикам отдельных типов подогревателей они могут быть получены расчетным путем или по результатам испытаний новых подогревателей, тщательно обследованных и подготовленных к подобным испытаниям.

Фактический температурный напор (недогрев) сетевой воды δt_{φ}^n ($^{\circ}\text{C}$) определяется из выражения

$$\delta t_{\varphi}^n = t_H^n - t_1^n, \quad (1)$$

где t_H^n - температура насыщения греющего пара в опыте, $^{\circ}\text{C}$;

t_1^n - температура сетевой воды на выходе из подогревателя, $^{\circ}\text{C}$.

Фактическая тепловая производительность подогревателя в каждом режиме испытаний Q_{φ}^n ($\text{kcal}/\text{ч}$) определяется по формуле

$$Q_{\varphi}^n = G^n c (t_1^n - t_2^n) 10^{-3}, \quad (2)$$

где G^n - расход сетевой воды при испытании, $\text{т}/\text{ч}$;

c - удельная теплоемкость воды, $\text{kкал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

t_2^n - температура сетевой воды на входе в подогреватель, $^{\circ}\text{C}$.

При измерении расхода конденсата греещего пара проверяется тепловая производительность подогревателя через параметры греещего пара и дренажа.

Фактический нагрев сетевой воды в подогревателе в каждом опыте Δt_{φ}^H ($^{\circ}\text{C}$) определяется как

$$\Delta t_{\varphi}^H = t_1^H - t_2^H .$$

При необходимости результаты испытаний дают возможность определить фактический коэффициент теплопередачи в каждом опыте. Для этого сначала определяется среднелогарифмическая разность температур теплоносителей Δt_{cp}^H ($^{\circ}\text{C}$) при испытании:

$$\Delta t_{cp}^H = \frac{t_1^H - t_2^H}{\ln \frac{t_H^H - t_2^H}{t_H^H - t_1^H}} . \quad (3)$$

Фактический коэффициент теплопередачи K_{φ}^H , ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$), испытываемого подогревателя находится по формуле

$$K_{\varphi}^H = \frac{Q_{\varphi}^H \cdot 10^6}{\Delta t_{cp}^H F_{\varphi}} , \quad (4)$$

где F_{φ} - фактическая поверхность нагрева подогревателя, м^2 .

Результаты тепловых испытаний сетевых подогревателей принято оформлять в виде таблиц (см. табл. I).

В реальных эксплуатационных условиях, как правило, нет данных по расчетным (паспортным) внешним тепловым характеристикам и коэффициентам теплопередачи многих типов сетевых подогревателей, особенно старых образцов с поверхностью нагрева до 500 м^2 . Это обстоятельство исключает возможность проведения сравнительной оценки полученных фактических характеристик испытываемых подогревателей. В приложении 3 приводится методика определения рабочих внешних тепловых характеристик и коэффициента теплопередачи сетевого подогревателя.

4.2. Гидравлические испытания

После определения расходов и соответствующих им потерь напора в основном и вспомогательном режимах испытаний производится оценка достоверности результатов испытаний. Согласно опыту проведения подобных испытаний, результаты испытаний считаются достоверными, если разность отношений потерь напоров и квадратов расходов в основном и вспомогательном режимах для подогревателя не превышает $\pm 10\%$, т.е.

$$\Delta H_g / \Delta H_B \approx Q_g^2 / Q_B^2 \approx G_g / G_B ,$$

где ΔH_o , ΔH_g – фактические потери напора в подогревателе в основном и вспомогательном режимах, м вод.ст.-i.

Q_a, Q_b, G_a, G_b - соответственно объемный ($\text{м}^3/\text{ч}$) и массовый ($\text{т}/\text{ч}$) расходы через подогреватель в основном и вспомогательном режимах.

Таблица I

Результаты тепловых испытаний и расчетные характеристики сетевых волоконопогревателей

Окончание таблицы I

Наименование	Основной подогреватель ОП-1			Основной подогреватель ОП-2			Пиковый подогреватель III		
	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III
5. Температура насыщенного пара в подогревателе $t''_{\text{н}}$, °C									
6. Фактический подогрев сетевой воды $\delta t''_{\text{ср}}$, °C									
7. Тепловая производительность подогревателя $Q''_{\text{ф}}$, Гкал/ч									
8. Среднелогарифмическая разность температур пара и воды $\Delta t''_{\text{ср}}$, °C									
9. Фактический коэффициент теплопередачи $K''_{\text{ф}}$, ккал/(м ² ·ч · °C)									
10. Расчетный коэффициент теплопередачи $K''_{\text{р}}$, ккал/(м ² ·ч · °C)									
11. Расчетная тепловая производительность Q' , Гкал/ч									
12. Расчетный подогрев сетевой воды $\delta t''_{\text{ср}}$, °C									
13. Разность фактического и расчетного подогрева $\Delta \delta t = \delta t''_{\text{ф}} - \delta t''_{\text{р}}$, °C									
14. Отношение фактического и расчетного коэффициентов теплопередачи, $\beta = K''_{\text{ф}} / K''_{\text{р}}$									

Примечание. Определение величин по пп. 8-14 не является обязательным.

Фактическая гидравлическая характеристика (сопротивление) сетевого подогревателя $S_{\text{ф}}$ (м⁻²/м⁶) определяется по формуле

$$S_{\varphi} = \frac{\Delta H_o}{Q_o^2} .$$

Для сравнительной оценки полученных значений фактических сопротивлений подогревателей необходимо знать расчетное значение их сопротивлений. В паспортах пароводяных подогревателей и справочной литературе приводятся обычно данные по номинальному массовому расходу сетевой воды для данного типа и соответствующему напору или предельным потерям напора. Этими данными при условии приведения их к средней температуре сетевой воды и пересчета массового расхода в объемный можно воспользоваться для определения расчетного значения сопротивления подогревателя S_p ($\text{м} \cdot \text{ч}^2/\text{м}^6$) по зависимости

$$S_p = \frac{\Delta H_p}{Q_p^2} ,$$

где ΔH_p – потеря напора при номинальном расходе, м вод. ст.;

Q_p – объемный номинальный расход сетевой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Для более точного определения расчетного сопротивления подогревателя любого типа необходимо выполнить расчет по методике конструктивных расчетов. Расчет удобно производить в форме таблиц (см. табл. 2).

Расчет производится при соблюдении следующих условий:

- поверхность нагрева подогревателя принимается по паспортным данным;
- коэффициент загрязнения трубок поверхности нагрева подогревателя принимается равным I (чистые трубы);
- не учитываются возможные дефекты монтажа и эксплуатации подогревателя;
- средние температуры сетевой воды принимаются: для основных подогревателей 90°C , для пиковых 130°C .

Полученные при данных условиях расчетные значения сопротивлений подогревателей принимаются в качестве нормативных, с которыми и проводится сравнение фактических сопротивлений, рассчитанных по результатам испытаний.

Отношение фактического сопротивления к расчетному привято обозначать коэффициентом

$$\alpha = S_{\varphi}/S_p .$$

Таблица 2

Гидравлический расчет подогревателя

Расчетная величина	Формула для расчета или источник информации	Подогреватель		
		БО	БП	ПСВ
I. Массовый расход сетевой воды G_p , т/ч	Паспорт			
2. Средняя скорость воды в трубках w_{cp} , м/с	$w_{cp} = 0,278 \cdot G_p / (f_{tp} \rho)$			
3. Площадь живого сечения хода f_{tp} , м ²	Паспорт			
4. Кинематическая вязкость воды ν при t_{cp} , м ² /с	$\nu = \mu / \rho$ (справочник)			
5. Критерий Рейнольдса Re	$Re = w_{cp} d_{bh} / \nu$			
6. Внутренний диаметр трубок d_{bh} , м	Паспорт			
7. Коэффициент гидравлического трения λ_t	$\lambda_t = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}$			
8. Коэффициент загрязнения трубок χ_{ct}	$\chi_{ct} = 1$ (чистые трубы)			
9. Число ходов по воде Z	Паспорт			
10. Длина трубок по ходу воды $L = Z \ell_{tp}$, м	Паспорт			
11. Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Паспорт (справочник)			
12. Расчетная потеря напора ΔH_p , м	$\Delta H_p = 3,93 \cdot 10^{-6} (\lambda_t \chi_{ct} \frac{L}{d_{bh}} + \sum \xi) (\frac{G_p}{f_{tp}})^2 \cdot \frac{1}{\rho}$			
13. Расчетное сопротивление s_p , м·ч ² /м ⁵	$s_p = \Delta H_p \rho^2 / G_p^2$			

Коэффициент α является показателем состояния трубной системы и подогревателя в целом. Условно можно считать, что при $\alpha = 1,0 \pm 1,1$ состояние подогревателя хорошее, а при $\alpha > 1,7$ - неудовлетворительное.

Расчеты показывают, что увеличение сопротивления подогревателя в 1,7 раза (относительно нормативного значения) обуславливается образованием разномерного слоя отложений (накипи) толщиной в 1 мм (для латунных трубок с внутренним диаметром 17-17,5 мм).

При обработке результатов гидравлических испытаний следует иметь в виду, что причинами повышенного сопротивления подогревателя кроме отложений на внутренних стенках трубок могут быть некачественный монтаж отдельных элементов подогревателя, засорение и заглушки отдельных трубок и т. п. Для объективной оценки результатов испытаний требуется тщательное обследование подогревателя с обязательным его вскрытием.

Результаты испытаний и расчетов гидравлических характеристик подогревателей целесообразно оформить в виде таблиц (см. табл. 3).

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ

Анализ результатов испытаний сетевых подогревателей проводится путем сравнения полученных фактических тепловых (температуры напор, тепловая производительность, коэффициент теплопередачи и др.) и гидравлических характеристик с заводскими или расчетными данными. По результатам сравнения делаются выводы о необходимости вывода подогревателя в ремонт, проведения дополнительного обследования, реконструкции, изменения схемы обвязки и т. п.

Завышенные значения фактических температурных напоров для каждого типа подогревателя, как правило, обусловлены повышенными присосами воздуха, уменьшенней поверхностью теплообмена или повышенным термическим сопротивлением. Практически это означает нали-

чие отложений (накипи, грязи) в трубной системе, что снижает экономичность ТЭС в связи с уменьшением удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении и увеличением затрат на отпуск тепловой энергии.

Уменьшение тепловой производительности подогревателя (уменьшение расчетной поверхности нагрева, ее загрязнение, ухудшение работы системы отсоса неконденсирующихся газов и т. п.) снижает установленную тепловую мощность ТЭС и ее экономичность.

Сравнительный анализ результатов тепловых и гидравлических испытаний сетевых подогревателей при условии их одновременного проведения повышает достоверность выводов об их техническом состоянии и обоснованность рекомендуемых мероприятий.

Так, при повышенных гидравлических сопротивлениях подогревателя и значениях коэффициента β в пределах 0,85–0,90 можно говорить об удовлетворительном состоянии поверхностей нагрева, но наличие значительного количества заглушенных трубок.

При повышенном гидравлическом сопротивлении и значениях β в пределах 0,7–0,8 есть основание считать неудовлетворительным состояние поверхностей нагрева (наличие накипи) и наличие заглушенных трубок подогревателя.

При средних значениях гидравлического сопротивления и значениях β в пределах 0,55–0,65 следует ожидать наличие слоя накипи на трубках подогревателя с малой теплопроводностью (при отсутствии неравномерных загрязнений).

Во всех случаях повышенного гидравлического сопротивления и пониженных значений β растет недогрев сетевой воды и снижается эффективность работы ВИУ ТЭС.

В целях повышения экономичности и надежности работы отдельных подогревателей и оптимизации режимов и схем водоподогревательных установок электростанций в целом рекомендуется:

- регулярно очищать поверхности нагрева от загрязнений;
- не допускать уменьшения паспортной (расчетной) поверхности нагрева (своевременно заменять поврежденные трубы, поддерживать нормальный уровень конденсата и т. п.);
- увеличить воздушную плотность подогревателей;
- уменьшить число ходов сетевой воды при наличии запаса в поверхности нагрева;

Т а б л и ц а 3

Результаты испытаний и расчетов сопротивлений сетевых подогревателей

Тип и но- мер подо- гревателя	Расход сетевой воды, м ³ /ч		Потеря напора в подогрева- теле, м вод. ст.		Темпе- ратура сете- вой воды, °С	Расчет- ный расход сете- вой воды, м ³ /ч	Раочет- ная поте- ря напо- ра, м вод. ст.	Сопротивление подогревателя, м·ч ² /м ⁶		Коэф- фици- ент α	Приме- чание
	Основ- ной режим	Вспо- мога- тельный режим	Основ- ной режим	Вспо- мога- тельный режим				Факти- ческое S_{ϕ}	рас- чет- ное S_p		

- в случае необходимости реконструировать схему обвязки и изменить компоновку подогревателей на основании предварительных расчетов.

Приложение I

СОГЛАСОВАНО:

Главный инженер
предприятия
тепловых сетей

(подпись)

" " 198 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер
_____ ТЭС

(подпись)

" " 198 г.

ПРОГРАММА
ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

1. Цель и задачи испытаний

Тепловые испытания сетевых подогревателей проводятся с целью определения фактических внешних характеристик и коэффициентов теплопередачи для сравнения их с расчетными (паспортными) данными, а также для определения фактической тепловой производительности сетевых подогревателей.

2. Количество и характеристика опытов

При испытании водоподогревательной группы из двух параллельно включенных основных и одного никового подогревателя (см. рис. I) проводится шесть опытов, по одному с максимальным давлением пара и по одному со сниженным давлением пара в каждом подогревателе.

3. Режимы работы сетевых подогревателей во время испытаний

Первый режим (с максимальным давлением пара) для основного подогревателя ОП-1 достигается путем отключения по воде и пару основного подогревателя ОП-2.

Второй режим (со сниженным давлением пара) для основного подогревателя ОП-1 достигается путем снижения давления пара в подогревателе при отключенном по воде и пару подогревателе ОП-2.

Аналогичным образом достигаются два режима для основного подогревателя ОП-2 при отключении по воде и пару основном подогревателе ОП-1.

Первый режим (с максимальным давлением пара) для пикового подогревателя ПП достигается при включенных по воде и пару обоих основных подогревателях.

Второй режим достигается путем снижения давления пара в подогревателе.

Во всех режимах обводные линии вокруг основных и пикового подогревателя должны быть закрыты.

Последовательность режимов при испытаниях водонагревателей, необходимые переключения, точки отборов импульсов, количество наблюдателей, а также продолжительность испытаний приведены в табл. III. I.

4. Допустимые колебания параметров пара и сетевой воды

Во время испытаний допускаются следующие колебания:

- по давлению пара $\pm 5\%$;
- по расходу сетевой воды $\pm 5\%$;
- по температуре сетевой воды - не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- по параметрам сетевой воды в наружной тепловой сети - в пределах требований ПТЭ.

Регистрация параметров производится с интервалом в 1-3 мин в течение 25-40 мин после стабилизации режима.

П р и м е ч а н и е: В процессе испытаний должен быть организован контроль за общестанционным режимом работы ВНУ по штатным приборам учета и контроля.

Составитель программы

_____ (подпись)

Ответственные за организацию
и проведение испытаний:

от

(организация, ответственная за
организацию испытания)

_____ (подпись)

от

(организация, ответственная за
проведение испытания)

_____ (подпись)

Таблица III.1

Режимы тепловых испытаний сетевых подогревателей

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
1. Первый режим основного водоподогревателя ОП-1: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды: на входе ____ °C на выходе ____ °C расход воды ____ т/ч		I	25-40	Открыты задвижки 3 ₁ , 3 ₂ , 3 ₅ , 3 ₆ , 3 ₁₂ , 3 ₁₄ , 3 ₁₇ , 3 ₃ , 3 ₄ , 3 ₁₅ , 3 ₁₆ . Закрыты задвижки 3 ₈ , 3 ₉ , 3 ₇ , 3 ₁₃ , 3 ₁₀ и 3 ₁₁ .
2. Второй режим основного водоподогревателя ОП-1: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды: на входе ____ °C на выходе ____ °C расход воды ____ т/ч		I	25-40	В работе все сетевые насосы. Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины
3. Первый режим основного водоподогревателя ОП-2: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды:		I	25-40	Открыть задвижки 3 ₈ , 3 ₉ , 3 ₁₀ , и 3 ₁₁ . Закрыть задвижки 3 ₃ , 3 ₄ , 3 ₅ и 3 ₆ .
на входе ____ °C на выходе ____ °C расход воды ____ т/ч		I		
4. Второй режим основного водоподогревателя ОП-2: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды: на входе ____ °C на выходе ____ °C расход воды ____ т/ч		I	25-40	Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины
5. Первый режим пикового водоподогревателя: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды: на входе ____ °C на выходе ____ °C расход воды ____ т/ч		I	25-40	Открыть задвижки 3 ₃ , 3 ₄ , 3 ₅ и 3 ₆ . В работе все сетевые насосы
6. Второй режим пикового водоподогревателя: давление пара ____ кгс/см ² температура сетевой воды: на входе ____ °C на выходе ____ °C расходы воды ____ т/ч		I	25-40	Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины или прикрытием задвижки на паропроводе

П р и м е ч а н и я: 1. В графе "Характеристика режима" должны быть указаны численные значения рекомендуемых или намечаемых параметров при испытаниях водоподогревателей, включая и дублирующие приборы.
 2. Табл. III.1. соответствует испытаниям при одном значении расхода сетевой воды.

Приложение 2

СОГЛАСОВАНО:

Главный инженер
предприятия
тепловых сетей

(подпись)
" " 198 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер
_____ ТЭС

(подпись)
" " 198 г.

ПРОГРАММА
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

1. Цель и задачи испытаний

Гидравлические испытания сетевых подогревателей проводятся с целью определения их фактической гидравлической характеристики для сравнения с заводскими (расчетными) данными.

2. Количество и характеристика опытов

При испытании водолодогревателей группы из двух параллельно включенных основных и одного пикового подогревателя (см. рис. 2) проводится шесть опытов, по одному с максимальным расходом сетевой воды и по одному со сниженным расходом.

3. Режимы работы сетевых подогревателей во время испытаний

Основной режим для основного подогревателя ОП-1 достигается путем открытия обводной линии пикового подогревателя при отключенном по воде и пару основном подогревателе ОП-2.

Вспомогательный режим для основного подогревателя ОП-1 достигается путем закрытия обводной линии пикового подогревателя.

Основной и вспомогательные режимы для основного подогревателя ОП-2 аналогичны режимам для подогревателя ОП-1 при отключенном по воде и пару основном подогревателе ОП-1.

Основной режим для пикового подогревателя достигается путем включения по воде обоих основных подогревателей ОП-1 и ОП-2 и закрытой задвижке на обводной линии пикового подогревателя.

Вспомогательный режим обеспечивается при отключенном по воде одном из основных подогревателей.

Последовательность режимов при испытаниях подогревателей, необходимые переключения, точки отборов импульсов, количество наблюдателей, а также продолжительность испытания приведены в табл. II. I.

4. Допустимые колебания параметров сетевой воды во время испытаний:

- по расходу $\pm 5\%$;
- по давлению $\pm 5\%$;
- по температуре не более $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

5. Регистрация параметров производится с интервалом в 1-3 мин в течение 25-30 мин после стабилизации режима.

П р и м е ч а н и е. В процессе испытаний должен быть организован контроль за общестанционным режимом работы ВШУ по штатным приборам учета и контроля.

Составитель программы

_____ (подпись)

Ответственные за организацию
и проведение испытаний:

от (организация, ответственная за
организацию испытаний) _____

_____ (подпись)

от (организация, ответственная за
проведение испытаний) _____

_____ (подпись)

Таблица П2.1

Режимы гидравлических испытаний сетевых подогревателей

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
1. Основной режим основного водоподогревателя ОП-1 (см. рис. 2): давление: на входе 11,8-12,8 кгс/см ² на выходе 10,8-11,8 кгс/см ² расход воды по расчету - т/ч температура: на входе 40-70°C на выходе 70-100°C	M ₁ M ₂	I	25-30	Открыты задвижки 3 ₁ , 3 ₂ , 3 ₃ , 3 ₄ , 3 ₇ , 3 ₈ , 3 ₉ и 3 ₁₀ . Закрыты задвижки 3 ₅ и 3 ₆ . В работе все сетевые насосы
2. Вспомогательный режим основного подогревателя ОП-1: давление: на входе 12,8-13,8 кгс/см ² на выходе 12,0-13,0 кгс/см ² расход воды по расчету - т/ч температура: на входе 40-70°C на выходе 70-100°C	M ₁ M ₂	I	25-30	Дополнительно закрыта задвижка 3 ₉ . Остальное - по п.1
3. Вспомогательный режим пикового подогревателя*: давление: на входе 11,8-12,8 кгс/см ² на выходе 11,0-12,0 кгс/см ² расход воды по расчету - т/ч температура: на входе 70-100°C на выходе 100-150°C	M ₅ M ₆	I	25-30	По режиму п.2
4. Основной режим основного водоподогревателя ОП-2: давление: на входе 11,8-12,8 кгс/см ² на выходе 10,8-11,8 кгс/см ² расход воды по расчету - т/ч температура: на входе 40-70°C на выходе 70-100°C	M ₃ M ₄	I	25-30	Открыты все задвижки, кроме задвижек 3 ₃ и 3 ₄ . В работе все сетевые насосы
5. Вспомогательный режим основного подогревателя ОП-2: давление: на входе 12,8-13,8 кгс/см ² на выходе 12,0-13,0 кгс/см ² расход воды по расчету - т/ч температура: на входе 40-70°C на выходе 70-100°C	M ₃ M ₄	I	25-30	Дополнительно закрыта задвижка 3 ₉ . Остальное - по режиму п.4

Окончание таблицы П2.1

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
<p>6. Основной режим пикового подогревателя</p> <p>давление:</p> <p>на входе 11,8-12,8 кгс/см²</p> <p>на выходе 10,8-11,8 кгс/см²</p> <p>расход воды по расчету ____ т/ч</p> <p>температура:</p> <p>на входе 70-100°С</p> <p>на выходе 100-150°С</p>	M ₅ M ₆	I I	25-30	Открыты задвижки Z ₃ и Z ₄ остальное - по режиму п.5

* При наличии наблюдателей желательно совместить по времени с режимом п.2.

П р и м е ч а н и е: 1. Во всех режимах для оценки гидравлического сопротивления всей группы водоподогревательной установки поддерживается давление 2,7 кгс/см² в обратном коллекторе, 9,8-10,8 кгс/см² - в подающем коллекторе и напор, развиваемый сетевыми насосами.

2. Численные значения даны условно, для примера.

3. Расход по расчету - это ожидаемый в каждом опыте расход сетевой воды.

Приложение 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СЕТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Для определения расчетных значений тепловых характеристик сетевого подогревателя (коэффициент теплопередачи, тепловая производительность, температурный напор и др.), соответствующих условиям проведения опыта, выполняется расчет условного подогревателя (без загрязнений). При этом фактические значения расхода и температуры сетевой воды, имевшие место в каждом опыте, принимаются за расчетные параметры, т.е. $G^P = G^u$; $t_1^P = t_1^u$ и $t_2^P = t_2^u$, а температура насыщения грекшего пара определяется методом подбора до выполнения равенства $Q^P = Q^u_{\phi}$ (с задаваемой степенью точности).

Расчет начинается с определения коэффициента теплопередачи, для чего проводится проверочный тепловой расчет в следующем порядке:

1. Задаемся температурой насыщения грекшего пара, несколько меньшей, чем в рассматриваемом режиме испытаний, ибо для нового подогревателя с чистой поверхностью нагрева при прочих равных условиях среднелогарифмическая разность температур всегда меньше, чем в подогревателе с отложениями на трубках.

2. Определяем среднелогарифмическую разность температур грекшего пара и сетевой воды Δt_{cp}^P , °C:

$$\Delta t_{cp}^P = \frac{\frac{t_1^P - t_2^P}{\ln \frac{t'_H - t_2^P}{t'_H - t_1^P}}}{}, \quad (\text{ПЗ. 1})$$

где t'_H - заданная оценочно температура насыщения грекшего пара, °C.

3. Определяем среднюю температуру сетевой воды t_{cp}^P (°C) в подогревателе:

$$t_{cp}^P = t'_H - \Delta t_{cp}^P. \quad (\text{ПЗ. 2})$$

4. Определяем температуру стенки трубок t_{cp} ($^{\circ}\text{C}$) в подогревателе:

$$t_{cr} = \frac{t'_H + t_{cp}}{2}. \quad (\text{ПЗ.3})$$

5. Определяем скорость сетевой воды w (м/с) в трубках подогревателя:

$$w = \frac{G^{\rho} \cdot D^3}{3600 \cdot f_{tr} \cdot \rho^u}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где f_{tr} – площадь сечения трубок одного хода воды, м^2 ;

ρ^u – плотность сетевой воды при средней температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$.

6. Определяем коэффициент теплоотдачи от пара к стенкам трубок a_1 , ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$), по формулам:

– для подогревателя с вертикальными трубками

$$a_1 = \frac{5689 + 76,34 \cdot t'_H - 0,2118(t'_H)^2}{[H(t'_H - t_{cr})]^{0,22}} = \frac{\phi_1(t'_H)}{[H(t'_H - t_{cr})]^{0,22}}, \quad (\text{ПЗ.5})$$

где H – длина трубок между двумя соседними перегородками, м.

– для подогревателя с горизонтальными трубками:

$$a_1 = \frac{4320 + 47,54 \cdot t'_H - 0,14(t'_H)^2}{[Z_M d_H(t'_H - t_{cr})]^{0,25}} = \frac{\phi_2(t'_H)}{[Z_M d_H(t'_H - t_{cr})]^{0,25}}, \quad (\text{ПЗ.6})$$

где Z_M – максимальное количество рядов трубок по вертикали в диаметральном сечении пучка горизонтальных трубок;

d_H – наружный диаметр трубок, м.

7. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенок трубок к воде a_2 , ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$), по формуле:

$$a_2 = (1230 + 20t_{cp} - 0,041t_{cp}^2) \frac{W^{0,2}}{d_{bh}^{0,2}} = \phi_3(t_{cp}) \cdot \frac{W^{0,8}}{d_{bh}^{0,2}}, \quad (\text{ПЗ.7})$$

где d_{bh} – внутренний диаметр трубок, м.

Значения вспомогательных величин, используемых в расчетах для определения коэффициентов теплоотдачи, приведены в табл. ПЗ. I-ПЗ.3.

8. Определяем расчетный коэффициент теплопередачи по формуле

$$K^P = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{\delta}{\lambda}}, \quad (\text{ПЗ.8})$$

где δ – толщина стенки трубок подогревателя, м;

λ – коэффициент теплопроводности металла трубок подогревателя, ккал/(м·ч·°C).

9. Определяем расчетную тепловую производительность подогревателя по формуле

$$Q^P = K^P \Delta t_{cp}^P F^P. \quad (\text{ПЗ.9})$$

Если величина Q^P будет отличаться от тепловой мощности Q_ϕ^u определенной по результатам испытаний, не более чем на $\pm 10\%$, то расчет можно считать законченным. В противном случае необходимо задаться новым значением температуры насыщения гречего пара t_H'' и повторить расчет до получения указанной степени точности.

После завершения расчета о принятой степени точности определяется расчетный напор (недогрев) сетевой воды по формуле (I):

$$\delta t^P = t_H'' - t_1^P,$$

где t_H'' – температура насыщения гречего пара (задаваемая) в окончательном варианте проверочного расчета, °C.

В связи с вероятностью неоднократного повторения расчетов их удобно вести в форме таблиц (см. табл. ПЗ.4).

Таким образом, результаты испытаний и расчетов позволяют путем сравнения фактических ($Q_\phi, \delta t_\phi$ и др.) и расчетных тепловых характеристик количественно оценить состояние испытанного подогревателя.

10. Определяем отношение фактического и расчетного коэффициентов теплопередачи для проведенных опытов:

$$\beta = K_\phi^u / K^P:$$

Для одного и того же подогревателя в различных режимах испытаний коэффициент β недостоинен, поэтому позволяет лишь оценочно характеризовать техническое состояние подогревателя – ухудшение его тепловых характеристик в процессе эксплуатации.

По справочным данным, для сетевых подогревателей с латунными трубками значения коэффициента β принимаются в пределах 0,75–0,85.

Для приближенного расчета фактической тепловой производительности испытанного подогревателя при номинальных расчетных условиях его работы необходимо выполнить проверочный тепловой расчет в последовательности, приведённой в табл. ПЗ. 4. При этом номинальные расчетные параметры теплоносителей (t_H, t_1^P, t_2^P, G^P) и конструктивные данные ($F, d_{\beta H}, d_H, f_{tp}, H$ и Z_M) принимаются по ОСТ ИС 108.271.101-76, паспортным, справочным данным или результатам обследования, а зависимость (ПЗ.8) для определения расчетного коэффициента теплопередачи принимает вид:

$$K^P = \frac{\beta_{cp}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{\delta}{\lambda}},$$

где β_{cp} — усредненное значение коэффициента по проведенным режимам испытаний.

Результаты расчётов тепловых характеристик сетевых подогревателей целесообразно оформлять в виде таблиц (см. табл. I).

Таблица ПЗ.1

Численные значения $\Phi_1(t'_H)$; $\Phi_2(t'_H)$ и $\Phi_3(t_{cp})$

Величина	Температура пара или воды, °C							
	20	30	40	50	60	70	80	90
$\Phi_1(t'_H)$	7131	7788	8404	8976	9507	9995	10440	10845
$\Phi_2(t'_H)$	5215	5620	5993	6347	6668	6962	7227	7465
$\Phi_3(t_{cp})$	1614	1793	1964	2127	2282	2429	2568	2698

Величина	Температура пара или воды, °C							
	100	110	120	130	140	150	160	170
$\Phi_1(t'_H)$	11205	11524	11800	12034	12225	12375	12481	12546
$\Phi_2(t'_H)$	7674	7855	8009	8134	8232	8301	8342	8356
$\Phi_3(t_{cp})$	2820	2934	3040	3137	3226	3308	3380	3445

Таблица ПЗ.2

Численные значения $1/d_{\beta H}^{0,2}$

Величина	Внутренний диаметр трубок, мм							
	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
$1/d_{\beta H}^{0,2}, M^{-0,2}$	2,512	2,466	2,422	2,383	2,348	2,316	2,286	2,233

Величина	Внутренний диаметр трубок, мм							
	I8	I9	20	21	22	23	24	
$1/d_{\beta H}^{0,2}, M^{-0,2}$	2,223	2,210	2,187	I,166	I,146	2,126	2,108	

Таблица ПЗ.3

Численные значения $W^{0,8}$

Величина	Скорость воды в трубках, м/с							
	0,7	0,8	0,9	I,0	I,I	I,2	I,3	I,4
$W^{0,8} (M/c)^{0,8}$	0,752	0,836	0,919	I,000	I,079	I,157	I,234	I,309

Величина	Скорость воды в трубках, м/с							
	I,5	I,6	I,7	I,8	I,9	2,0	2,1	2,2
$W^{0,8} (M/c)^{0,8}$	I,383	I,456	I,529	I,600	I,671	I,741	I,810	I,879

Величина	Скорость воды в трубках, м/с			
	2,3	2,4	2,5	2,6
$W^{0,8} (M/c)^{0,8}$	I,947	2,014	2,081	2,148

Таблица ПЗ.4

Проверочный тепловой расчет
сетевого водонагревателя

Величина	Формула или ис- точник информа- ции	Численное значение
I. Термовая мощность подогревателя $Q_{\text{р}}^{\text{н}}$, Гкал/ч	Испытания Формула (2)	
2. Расчетная температура сетевой воды на входе t_2' , °С	Испытания	
3. Расчетная температура сетевой воды на выходе t_1' , °С	Испытания	
4. Расчетный расход сетевой воды G' , т/ч	Испытания	
5. Температура насыщенного пара $t_{\text{н}}'$, °С	Задается (подле- жит уточнению)	
6. Среднелогарифмическая разность температуры пара и воды $\Delta t_{cp}'$, °С	Формула (ПЗ.1)	
7. Средняя температура сетевой воды t_{cp}' , °С	Формула (ПЗ.2)	
8. Температура стенки трубы t_{ct} , °С	Формула (ПЗ.3)	
9. Скорость сетевой воды в труб- ках ω , м/с	Формула (ПЗ.4)	
10. Средняя плотность сетевой воды ρ' , кг/м ³	Справочник	
II. Площадь сечения трубок одного хода сетевой воды f_{tp} , м ²	Паспорт, справочник	
12. Величина $\Phi_1(t_{\text{н}}')$	Табл. ПЗ.1	
13. Величина H	Паспорт, справочник	
14. Расчетный коэффициент теплоот- дачи от пара к стенке a_1 , ккал/(м ² .ч. °С)	Формулы (ПЗ.5), (ПЗ.6)	
15. Величина $\Phi_3(t_{cp}')$	Табл. ПЗ.1	
16. Величина $I/d_{\text{ш}}^{0,2}$, м ^{-0,2}	Табл. ПЗ.2	
17. Величина $\omega^{0,8}$, (м/с) ^{0,8}	Табл. ПЗ.3	
18. Расчетный коэффициент теплоот- дачи от трубок к сетевой воде a_2 , ккал/(м ² .ч. °С)	Формула (ПЗ.7)	
19. Толщина стенки трубок δ , м	Паспорт	

Окончание таблицы ПЗ.4

Величина	Формула или источник информации	Численное значение
20. Коэффициент теплопроводности материала трубы λ , ккал/(м·ч·°С)	Справочник	
21. Расчетный коэффициент теплопередачи K_P , ккал/(м ² ·ч·°С)	Формула (ПЗ.8)	
22. Расчетная производительность (мощность) подогревателя Q_P , ккал/ч	Формула (ПЗ.9)	

С п и с о к и с п о л ь з о в а н н о й л и т е р а т у р ы

1. ШУБИН Е.П., ЛЕВИН Б.И. Проектирование теплоизделятельных установок ТЭЦ и котельных. - М.: Энергия, 1970.
 2. ГРИГОРЬЕВ В.А. и др. Краткий справочник по теплообменным аппаратам. - М.-Л.: Энергоиздат, 1962.
 3. ЛЕВИН Б.И., ШУБИН Е.П. Теплообменные аппараты систем теплооснабжения. - М.: Энергия, 1965.
 4. БЕРМАН С.С. Расчет теплообменных аппаратов турбоустановок. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.
 5. КИЯМКИН С.Л. Термовые испытания паротурбинных установок электростанций. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Цель и задачи испытаний	3
2. Подготовка сетевых подогревателей к испытаниям	4
2.1. Схема экспериментального контроля	4
2.2. Тепловые испытания	9
2.3. Гидравлические испытания	9
2.4. Измерение расхода	9
2.5. Измерение давления, перепада давлений	10
2.6. Измерение температуры	11
2.7. Требования к схеме и оборудованию ВПУ	12
3. Программа испытаний и порядок проведения опытов ..	13
3.1. Тепловые испытания	14
3.2. Гидравлические испытания	15
4. Обработка результатов испытаний	16
4.1. Тепловые испытания	21
4.2. Гидравлические испытания	23
5. Анализ результатов испытаний и разработка рекомендаций по повышению надежности и экономичности работы	27
Приложение I. Программа тепловых испытаний сетевых подогревателей	30
Приложение 2. Программа гидравлических испытаний сетевых подогревателей	34
Приложение 3. Определение расчетных значений тепловых характеристик сетевого подогревателя	39
Список использованной литературы	46

Ответственный редактор Л.С.Моргулис
Литературный редактор Ф.С.Кузьминская
Технический редактор Н.Т.Леонтьева
Корректор К.И.Миронова

Л 83604 Подписано к печати 24.03.82 Формат 60x84 I/16
Печ. л. 3,0 (усл. печ. л. 2,79) Уч.-изд. л. 2,6 Тираж 1050 экз.
Заказ № 93/82 Издат. № 450/81 Цена 39 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Советтехэнерго
105023, Москва, Семёновский пер., д. 15

Участок оперативной полиграфии СПО Советтехэнерго
117292, Москва, ул. Ивана Бабушкина, д. 23, корп. 2