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

СПО
СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1982

gost.e-ecolog.ru

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

Р А З Р А Б О Т А Н О предприятием "Сибтехэнерго"

И С П О Л Н И Т Е Л И В.Ф.РЫБАЛКО, В.Н.КОМАРОВ

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

Главный инженер Г.Г.ЯКОВЛЕВ

© СПО Союзтехэнерго, 1982.

УДК 697.328.001.4

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, ПСГ).

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 по 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

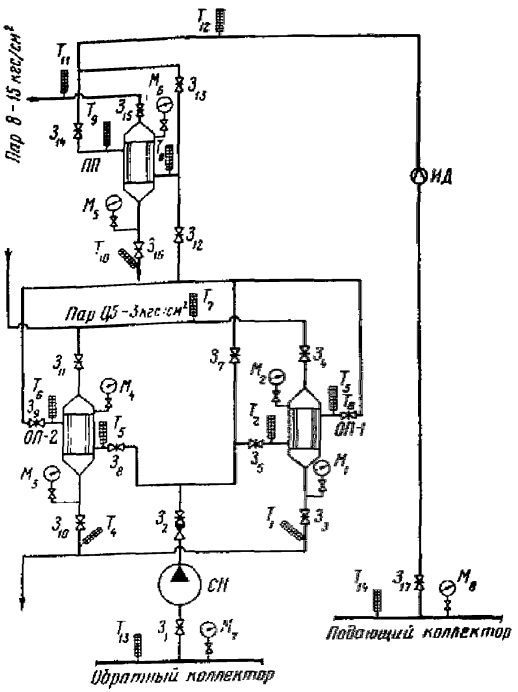


Рис. I. Принципиальная схема группы водоподогревателей:

$З_1$–$З_{17}$ – задвижки № I–I7; $Т_1$–$Т_{14}$ – гильзы для термометров № I–I4; $М_1$–$М_8$ – манометры № I–8; СН – сетевой насос; ИД – измерительная диафрагма; ОП – основной подогреватель; ПП – 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.д.

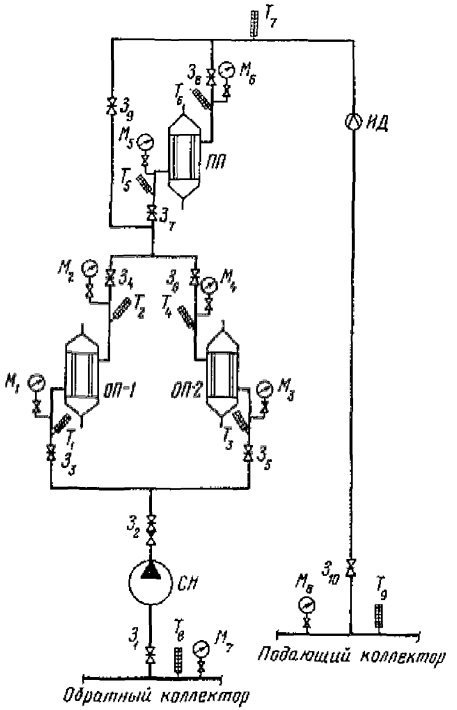


Рис.2. Вариант компоновки группы сетевых водоподогревателей

Обозначения см. рис. I

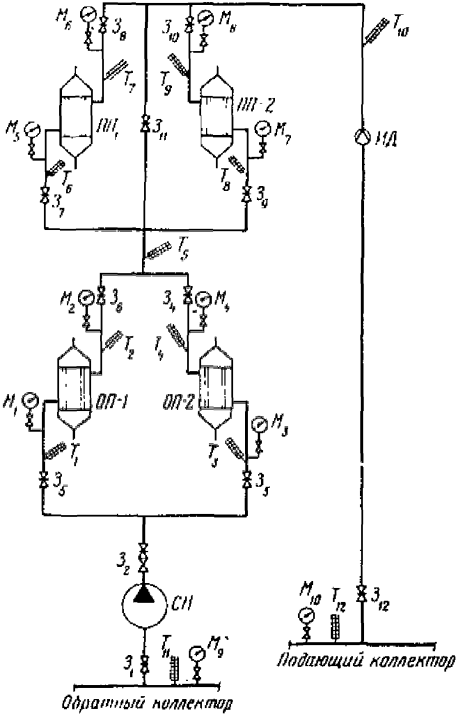


Рис.3. Вариант компоновки группы сетевых водоподогревателей:

Обозначения см. рис. I

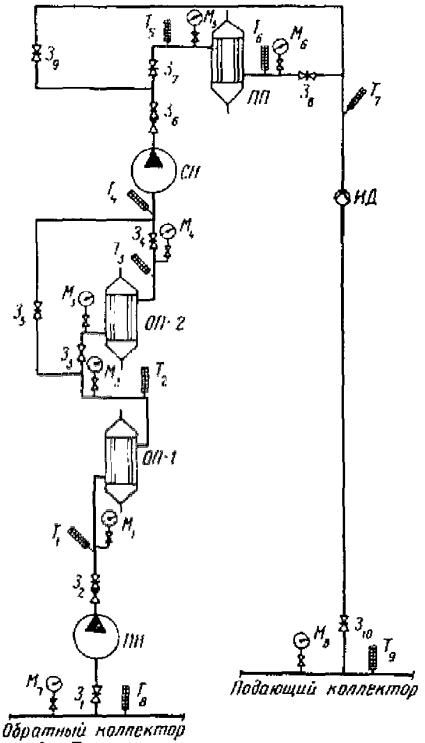


Рис. 4. Вариант компоновки группы сетевых водоподогревателей:

ПН – подпорный насос (насос I ступени).

Остальные обозначения см. рис. I

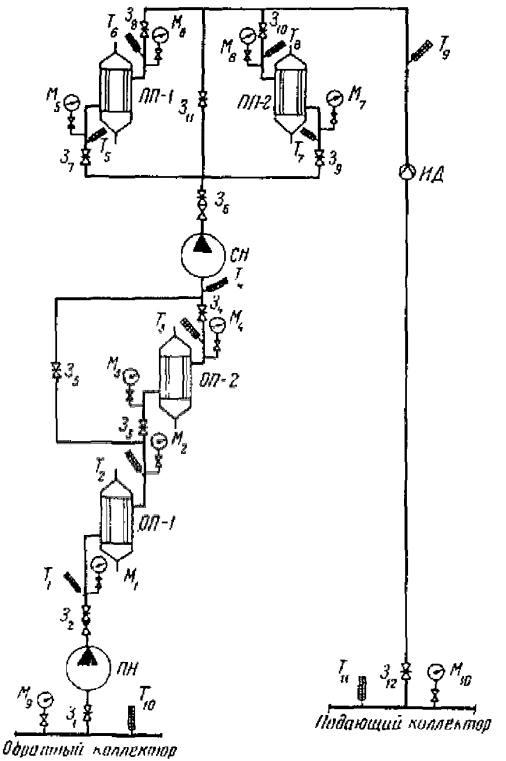


Рис. 5. Вариант компоновки группы сетевых водоподогревателей

Обозначения см. рис. I

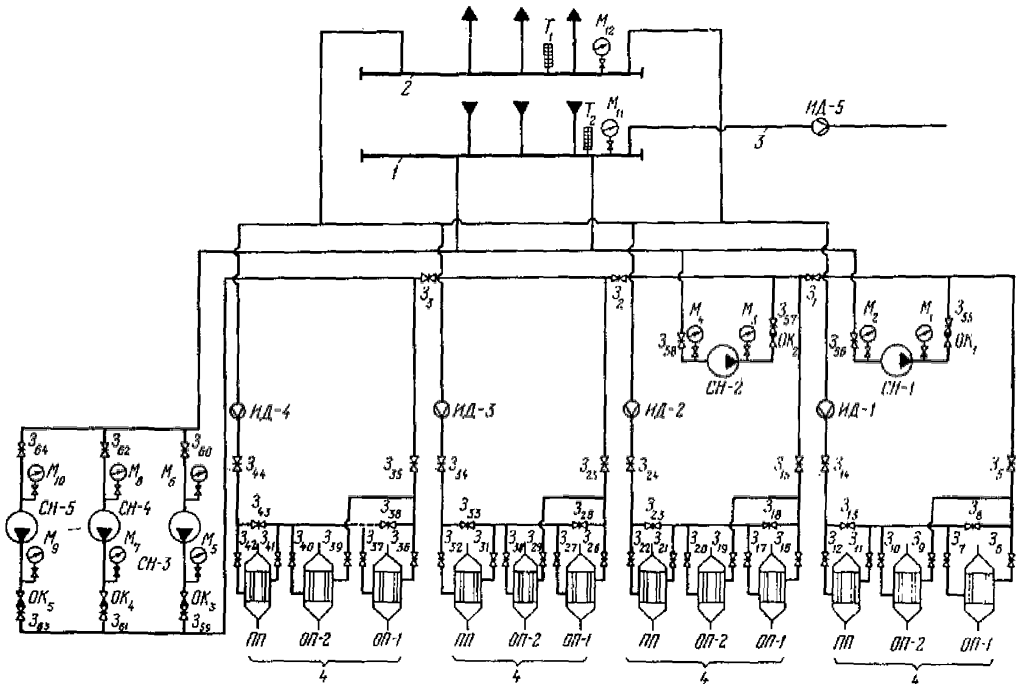


Рис. 6. Принципиальная схема водоподогревательной установки ТЭЦ (ГРЭС):
I – обратный коллектор; 2 – подающий коллектор; 3 – линия подпитки; 4 – группа водоподогревателей; $ОК_1$–$ОК_5$ – обратные клапаны № I–5.
Остальные обозначения см. рис. I

2.2. Тепловые испытания

При тепловых испытаниях сетевых подогревателей необходимо измерить:

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

При возможности следует продублировать измерения расхода и давления конденсата греющего 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 дифманометры, приборы типов ДМЭ, ДМЭР и им подобные, подсоединяемые к эксплуатационным измерительным диафрагмам. В отдельных случаях, при проведении эксплуатационных, оценоч-

ных испытаний, допустимо использовать штатные самопишущие 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, I964).

Дифманометры 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/см^2 измеряется пружинными манометрами типа МТИ 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 сплющиваний на поворотах. Внутренний диаметр трубки должен быть не менее I0-I2 мм.

При измерении пульсирующего 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-I,0 мм. До и после испытания производится тарировка манометров в рабочем диапазоне на грузопоршневом прессе, по данным которой строится зависимость $\Delta P = f(P_м)$ (ΔP – отклонение показания манометра от значения установленного на прессе груза).

Давление ниже 2 кгс/см^2 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 I-2 кгс/см^2 измерительный прибор следует располагать несколько ниже места отбора импульса, чтобы обеспечивалось непрерывный уклон импульсной трубки в сторону

прибора не менее I:I0. Для сохранения неизменными высоты и температуры столба конденсата в трубке у места отбора импульса устанавливаются конденсационный сосуд.

Обязательным условием при измерении давления выше I кгс/см^2 является заполнение конденсатом всей импульсной трубки и присоединенного колена до уровня ртути.

При измерении давления ниже I кгс/см^2 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 давлений 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 термопар или термометров сопротивления, устанавливаемых в термометрических гильзах.

При гидравлических испытаниях температуру сетевой воды в патрубках подогревателя и в месте установки измерительной диафрагмы 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 I5 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 дно гильзы помещать 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 записи значений измеряемых величин по основным приборам еще и запись

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 пиковые подогреватели (ПП) могут испытываться одновременно или в разные периоды в зависимости от температуры наружного воздуха, обеспеченности ВПУ 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 ВПУ ТЭС или группы подогревателей (см.рис.I-6);
- таблица режимов испытаний (табл.П1.I, П2.I).

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

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

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

3.I. Тепловые испытания

Тепловые 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 греющего пара, в том числе и при номинальном давлении.

Продолжительность каждого опыта в установившемся режиме должна обеспечить запись измеряемых параметров не менее I0-I2 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 - $\pm 2^{\circ}$C.

С целью сокращения времени на переключения в схеме ВПУ и стабилизацию режимов целесообразно при установленном одном значении расхода сетевой воды поочередно повышать давление греющего пара (устанавливать намеченные значения давления для испытаний), а после достижения номинального значения давления уменьшить расход сетевой воды до намеченного уровня и поэтапно снижать давление греющего 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.I, 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 устанавливается номинальный расход сетевой воды для испытываемого подогревателя, а в другом - уменьшенный до 70-80% номинального. Опыт (режим) с номинальным 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.

Потерю 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-I0 измерений с интервалом в 2-3 мин.

Колебания измеряемых перепада давлений (давлений) и расхода сетевой воды в каждом опыте не должны превышать ±5%, что соответствует требованиям ПТЭ (§ 26.I).

Режимы работы сетевых подогревателей при испытаниях определяются компоновкой групп ВПУ (см. рис.2-5).

Для оценки гидравлического сопротивления отдельных групп подогревателей и ВПУ 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 схожи:

- 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:

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

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/м^3;

$\rho_{р}$ – расчетная плотность сетевой воды для используемой измерительной диафрагмы, кг/м^3.

Измеренные, усредненные и скорректированные значения массового расхода сетевой воды в каждом опыте при необходимости пересчитываются на объемный расход Q (м^3/ч) по формуле

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

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

ρ – средняя плотность воды в подогревателе, кг/м^3.

При отсутствии непосредственных измерений расхода во вспомогательных 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, °С;

G_2 – расход сетевой воды через второй подогреватель, т/ч;

t_2 – температура сетевой воды на выходе из второго подогревателя; °С;

G_c – суммарный расход сетевой воды по двум подогревателям, т/ч;

t_c – температура смеси сетевой воды после обоих подогревателей, °С.

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:

$$P = P_м + \Delta P_п + \Delta P_{уст} + P_б ,$$

где $P_м$ – показание пружинного манометра, кгс/см^2;

$\Delta P_п$ – 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.

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

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

$P_б$ – барометрическое давление в месте проведения испытания, кгс/см^2.

$$p_б = \frac{B_0}{735,6};$$

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:

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

где $H_м$ – средний за опыт перепад давлений, мм. рт. ст.;

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

$$\Delta h_t = 0,000I8I5 \cdot t\, H_м;$$

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 вакуумметра его действительное значение определяется по формуле

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

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

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

$$\Delta h_t = 0,000I8I5 \cdot t\, H;$$

$\Delta h_к$ – поправка на капиллярность, мм рт. ст., определяется по номограмме рис. 7 соответственно фактическому внутреннему диаметру стеклянной трубки и измеренной высоте мениска ртути.

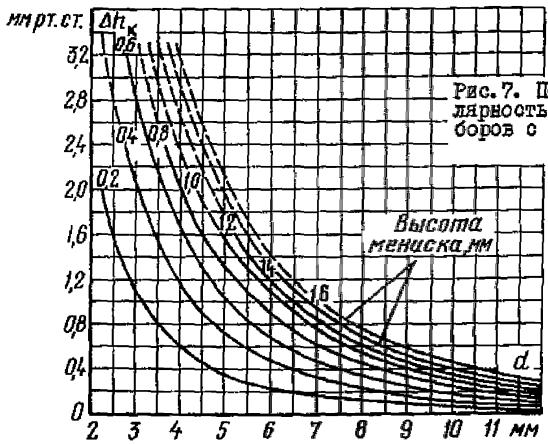


Рис. 7. Поправка на капиллярность для ртутных приборов с одним столбиком ртути

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, кгс/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, кгс/см^2;

ρ – плотность сетевой воды при средней температуре в подогревателе, кг/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.

4.1. Тепловые испытания

Полученные в каждом опыте результаты используются для получения расчетным путем фактических тепловых (внешних) характеристик подогревателей (температурный 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 $\delta t_{ф}^{и}$ (°С) определяется из выражения

$$\delta t_{ф}^{и} = t_{н}^{и} - t_{1}^{и}, \qquad (1)$$

где $t_{н}^{и}$ – температура насыщения греющего пара в опыте, °С;

$t_{1}^{и}$ – температура сетевой воды на выходе из подогревателя, °С.

Фактическая тепловая производительность подогревателя в каждом режиме испытаний $Q_{ф}^{и}$ (Гкал/ч) определяется по формуле

$$Q_{ф}^{и} = G^{и} c (t_{1}^{и} - t_{2}^{и}) 10^{-3}, \qquad (2)$$

где $G^{и}$ – расход сетевой воды при испытании, т/ч;

c – удельная теплоемкость воды, ккал/(кг·°С);

$t_{2}^{и}$ – температура сетевой воды на входе в подогреватель, °С.

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

Фактический нагрев сетевой воды в подогревателе в каждом опыте $\Delta t_{ф}^{и}$ (^{o}C) определяется как

$$\Delta t_{ф}^{и} = t_{1}^{и} - t_{2}^{и} .$$

При необходимости результаты испытаний дают возможность определить фактический коэффициент теплопередачи в каждом опыте. Для этого сначала определяется среднелогарифмическая разность температур теплоносителей $\Delta t_{ср}^{и}$ (^{o}C) при испытании:

$$\Delta t_{ср}^{и} = \frac{t_{1}^{и} - t_{2}^{и}}{\ell n \frac{t_{н}^{и} - t_{2}^{и}}{t_{н}^{и} - t_{1}^{и}}} . \qquad (3)$$

Фактический коэффициент теплопередачи $K_{ф}^{и}$, ккал/(м^{2}·ч·^{o}C), испытываемого подогревателя находится по формуле

$$K_{ф}^{и} = \frac{Q_{ф}^{и}\, 10^{6}}{\Delta t_{ср}^{и}\, F_{ф}} , \qquad (4)$$

где $F_{ф}$ – 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 расчетных 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 ±10%, т.е.

$$\Delta H_o/\Delta H_в \approx Q_o^2/Q_в^2 \approx G_o/G_в ,$$

где $\Delta H_o, \Delta H_в$ – фактические потери напора в подогревателе в основном и вспомогательном режимах, м вод.ст.;

$Q_o, Q_в, G_o, G_в$ – соответственно объемный ($м^3/ч$) и массовый (т/ч) расходы через подогреватель в основном и вспомогательном режимах.

Таблица I

Результаты тепловых испытаний и расчетные характеристики сетевых водоподогревателей

Наименование	Основной подогреватель ОП-I			Основной подогреватель ОП-2			Пиковый подогреватель ПП		
	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III
I. Расход сетевой воды $G^н$, т/ч									
2. Температура сетевой воды на выходе из подогревателя $t_1^н$, °С									
3. Температура сетевой воды на входе в подогреватель $t_2^н$, °С									
4. Давление пара в подогревателе P, кгс/см²									

Окончание таблицы I

Наименование	Основной подогреватель ОП-I			Основной подогреватель ОП-2			Пиковый подогреватель ПП		
	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III	Режим I	Режим II	Режим III
5. Температура насыщенного пара в подогревателе $t_н^и$, °С									
6. Фактический недогрев сетевой воды $\delta t_ф^и$, °С									
7. Тепловая производительность подогревателя $Q_ф^и$, Гкал/ч									
8. Среднелогарифмическая разность температур пара и воды $\Delta t_{ср}^и$, °С									
9. Фактический коэффициент теплопередачи $K_ф^и$, ккал/(м².ч.°С)									
I0. Расчетный коэффициент теплопередачи $K^р$, ккал/(м².ч.°С)									
II. Расчетная тепловая производительность $Q^р$, Гкал/ч									
I2. Расчетный недогрев сетевой воды $\delta t^р$, °С									
I3. Разность фактического и расчетного недогрева $\Delta\delta t = \delta t_ф^и - \delta t^р$, °С									
I4. Отношение фактического и расчетного коэффициентов теплопередачи, $\beta = K_ф^и / K^р$									

Примечание. Определение величин по пп. 8–I4 не является обязательным.

Фактическая гидравлическая характеристика (сопротивление) сетевого подогревателя $S_ф$ (м·ч²/м⁶) определяется по формуле

$$S_{ф}=\frac{\Delta H_{o}}{Q_{o}^{2}} .$$

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 $S_{р}$ (м·ч^2/м^6) по зависимости

$$S_{р}=\frac{\Delta H_{р}}{Q_{р}^{2}} ,$$

где $\Delta H_{р}$ – потеря напора при номинальном расходе, м вод.ст.;

$Q_{р}$ – объемный номинальный расход сетевой воды, м^3/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 трубки);

– не учитываются возможные дефекты монтажа и эксплуатации подогревателя;

– средние температуры сетевой воды принимаются: для основных подогревателей 90^{o}С, для пиковых I30^{o}С.

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 принято обозначать коэффициентом

$$\alpha = S_{ф} / S_{р} .$$

Таблица 2

Гидравлический расчет подогревателя

Расчетная величина	Формула для расчета или источник информации	Подогреватель		
		БО	ЕП	ПСВ
I. Массовый расход сетевой воды G_p, т/ч	Паспорт			
2. Средняя скорость воды в трубках $w_{ср}$, м/с	$w_{ср}=0{,}278\cdot G_p/(f_{тр}\rho)$			
3. Площадь живого сечения хода $f_{тр}$, м²	Паспорт			
4. Кинематическая вязкость воды ν при $t_{ср}$, м²/с	$\nu=\mu/\rho$ (справочник)			
5. Критерий Рейнольдса Re	$Re=w_{ср}d_{вн}/\nu$			
6. Внутренний диаметр трубок $d_{вн}$, м	Паспорт			
7. Коэффициент гидравлического трения $\lambda_т$	$\lambda_т=\frac{1}{(1{,}8\lg Re-1{,}5)^2}$			
8. Коэффициент загрязнения трубок $\varkappa_{ст}$	$\varkappa_{ст}=$ I (чистые трубки)			
9. Число ходов по воде z	Паспорт			
I0. Длина трубок по ходу воды $L=z\,l_{тр}$, м	Паспорт			
II. Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\xi$	Паспорт (справочник)			
I2. Расчетная потеря напора ΔH_p, м	$\Delta H_p=3{,}93\cdot10^{-6}(\lambda_т\varkappa_{ст}\frac{L}{d_{вн}}+\Sigma\xi)(\frac{G_p}{f_{тр}})^2\cdot\frac{1}{\rho}$			
I3. Расчетное сопротивление S_p, м·ч²/м⁶	$S_p=\Delta H_p\rho^2/G_p^2$			

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

Расчеты показывают, что увеличение сопротивления подогревателя в 1,7 раза (относительно нормативного значения) обуславливается образованием равномерного 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 заглушка 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 оформлять 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 (температурный 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, уменьшенной 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 наличии 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 ВПУ 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 трубки, поддерживать нормальный уровень конденсата и т.п.);
- увеличить воздушную плотность подогревателей;
- уменьшить число ходов сетевой воды при наличии запаса в поверхности нагрева;

Таблица 3

Результаты испытаний и расчетов сопротивлений сетевых подогревателей

Тип и номер подогревателя	Расход сетевой воды, $м^3/ч$		Потеря напора в подогревателе, м вод. ст.		Температура сетевой воды, °С	Расчетный расход сетевой воды, $м^3/ч$	Расчетная потеря напора, м вод. ст.	Сопротивление подогревателя, $м \cdot ч^2/м^6$		Коэффициент α	Примечание
	Основной режим	Вспомогательный режим	Основной режим	Вспомогательный режим				фактическое $S_ф$	расчетное $S_р$		

– 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

I. 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 пикового 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-I достигается путем отключения по воде и пару основного подогревателя ОП-2.

Второй режим (со сниженным давлением пара) для основного подогревателя ОП-I 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 отключенном по воде и пару основном подогревателе ОП-I.

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 водоподогревателей, необходимые переключения, точки отборов импульсов, количество наблюдателей, а также продолжительность испытаний приведены в табл. II. 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 $\pm 2^{\circ}C$;
- по параметрам сетевой воды в наружной тепловой сети - в пределах требований ПТЭ.

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

Примечание: В процессе испытаний должен быть организован контроль за общестанционным режимом работы ВПУ 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.I

Режимы тепловых испытаний сетевых подогревателей

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
I. Первый режим основного водоподогревателя ОП-I:			25-40	Открыты задвижки 3_I, 3_2, 3_5, 3_6, 3_{I2}, 3_{I4}, 3_{I7}, 3_3, 3_4, 3_{I5}, 3_{I6}. Закрыты задвижки 3_8, 3_9, 3_7, 3_{I3}, 3_{I0} и 3_{II}.
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расход воды ___ т/ч		I		В работе все сетевые насосы
2. Второй режим основного водоподогревателя ОП-I:			25-40	Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расход воды ___ т/ч		I		
3. Первый режим основного водоподогревателя ОП-2:			25-40	Открыть задвижки 3_8, 3_9, 3_{I0} и 3_{II}. Закрыть задвижки 3_3, 3_4, 3_5 и 3_6.
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расход воды ___ т/ч		I		В работе все сетевые насосы
4. Второй режим основного водоподогревателя ОП-2:			25-40	Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расход воды ___ т/ч		I		
5. Первый режим пикового водоподогревателя:			25-40	Открыть задвижки 3_3, 3_4, 3_5 и 3_6.
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		В работе все сетевые насосы
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расход воды ___ т/ч		I		
6. Второй режим пикового водоподогревателя:			25-40	Без переключений. Давление пара устанавливается регулятором давления в отборе турбины или прикрытием задвижки на паропроводе
давление пара ___ кгс/см^2		I		
температура сетевой воды:		I		
на входе _____ °С				
на выходе _____ °С				
расходы воды ___ т/ч		I		

Примечания: I. В графе "Характеристика режима" должны быть указаны численные значения рекомендуемых или намечаемых параметров при испытаниях водоподогревателей, включая и дублирующие приборы.
2. Табл. III. I. 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 водоподогревателей 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-I достигается путем открытия обводной линии пикового подогревателя при отключенном по воде и пару основном подогревателе ОП-2.

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

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

Основной режим для пикового подогревателя достигается путем включения по воде обоих основных подогревателей ОП-I 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. П2. I.

4. Допустимые колебания параметров сетевой воды во время испытаний:

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

5. Регистрация параметров производится с интервалом в I-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 обестанционным режимом работы БПУ 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 П2.I

Режимы гидравлических испытаний сетевых подогревателей

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
I. Основной режим основного водоподогревателя ОП-I (см. рис.2):			25-30	Открыты задвижки $З_I$, $З_2$, $З_3$, $З_4$, $З_7$, $З_8$, $З_9$ и $З_{IO}$. Закрыты задвижки $З_5$ и $З_6$.
давление:		I		
на входе II,8-I2,8 кгс/см^2	$М_I$			
на выходе I0,8-II,8 кгс/см^2	$М_2$			В работе все сетевые насосы
расход воды по расчету - т/ч		I		
температура:		I		
на входе 40-70^{0}С	$Т_I$			
на выходе 70-I00^{0}С	$Т_2$			
2. Вспомогательный режим основного подогревателя ОП-I:			25-30	Дополнительно закрыта задвижка $З_9$. Остальное - по п.I
давление:		I		
на входе I2,8-I3,8 кгс/см^2	$М_I$			
на выходе I2,0-I3,0 кгс/см^2	$М_2$			
расход воды по расчету - т/ч		I		
температура:		I		
на входе 40-70^{0}С	$Т_I$			
на выходе 70-I00^{0}С	$Т_2$			
3. Вспомогательный режим пикового подогревателя*:			25-30	По режиму п.2
давление:		I		
на входе II,8-I2,8 кгс/см^2	$М_5$			
на выходе II,0-I2,0 кгс/см^2	$М_6$			
расход воды по расчету___т/ч		I		
температура:		I		
на входе 70-I00^{0}С	$Т_5$			
на выходе I00-I50^{0}С	$Т_6$			
4. Основной режим основного водоподогревателя ОП-2:			25-30	Открыты все задвижки, кроме задвижек $З_3$ и $З_4$.
давление:		I		В работе все сетевые насосы
на входе II,8-I2,8 кгс/см^2	$М_3$			
на выходе I0,8-II,8 кгс/см^2	$М_4$			
расход воды по расчету ____т/ч		I		
температура:		I		
на входе 40-70^{0}С	$Т_3$			
на выходе 70-I00^{0}С	$Т_4$			
5. Вспомогательный режим основного подогревателя ОП-2:			25-30	Дополнительно закрыта задвижка $З_9$.
давление:		I		Остальное - по режиму п.4
на входе I2,8-I3,8 кгс/см^2	$М_3$			
на выходе I2,0-I3,0 кгс/см^2	$М_4$			
расход воды по расчету ____т/ч		I		
температура:		I		
на входе 40-70^{0}С	$Т_3$			
на выходе 70-I00^{0}С	$Т_4$			

Окончание таблицы 12.1

Характеристика режима	Точка отбора импульсов (место установки приборов)	Количество наблюдателей	Продолжительность режима, мин	Организация режима
6. Основной режим пикового подогревателя			25-30	Открыты задвижки $З_3$ и $З_4$
давление:		I		Остальное - по режиму п.5
на входе 11,8-12,8 кгс/см^2	$М_5$			
на выходе 10,8-11,8 кгс/см^2	$М_6$			
расход воды по расчету ___т/ч		I		
температура:		I		
на входе 70-100°С	$Т_5$			
на выходе 100-150°С	$Т_6$			

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

Примечание: 1. Во всех режимах для оценки гидравлического сопротивления всей группы водоподогревательной установки поддерживается давление 2,7 кгс/см^2 в обратном коллекторе, 9,8-10,8 кгс/см^2 - 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 греющего пара определяется методом подбора до выполнения равенства $Q^{p}=Q_{\phi}^{u}$ (с задаваемой степенью точности).

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

1. Задаемся температурой насыщения греющего 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 греющего пара и сетевой воды Δt_{cp}^{p}, °С:

$$\Delta t_{cp}^{p}=\frac{t_1^{p}-t_2^{p}}{\ell n\dfrac{t_н'-t_2^{p}}{t_н'-t_1^{p}}}, \qquad (П3.1)$$

где $t_н'$ – заданная оценочно температура насыщения греющего пара, °С.

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

$$t_{cp}=t_н'-\Delta t_{cp}^{p}. \qquad (П3.2)$$

4. Определяем температуру стенки трубок $t_{ср}$ (°С) в подогревателе:

$$t_{ст} = \frac{t'_н + t_{ср}}{2}. \qquad (П3.3)$$

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

$$w = \frac{G^{р} \cdot 10^3}{3600 \cdot f_{тр} \rho^{ц}}, \qquad (П3.4)$$

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

$\rho^{ц}$ – плотность сетевой воды при средней температуре, кг/м^3.

6. Определяем коэффициент теплоотдачи от пара к стенкам трубок a_1, ккал/(м^2·ч·°С), по формулам:

– для подогревателя с вертикальными трубками

$$a_1 = \frac{5689 + 76{,}34 \cdot t'_н - 0{,}2118 (t'_н)^2}{[H(t'_н - t_{ст})]^{0{,}22}} = \frac{\Phi_1 (t'_н)}{[H(t'_н - t_{ст})]^{0{,}22}}, \qquad (П3.5)$$

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

– для подогревателя с горизонтальными трубками:

$$a_1 = \frac{4320 + 47{,}54 \cdot t'_н - 0{,}14 (t'_н)^2}{[Z_м d_н (t'_н - t_{ст})]^{0{,}25}} = \frac{\Phi_2 (t'_н)}{[Z_м d_н (t'_н - t_{ст})]^{0{,}25}}, \qquad (П3.6)$$

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

$d_н$ – наружный диаметр трубок, м.

7. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенок трубок к воде a_2, ккал/(м^2·ч·°С) по формуле:

$$a_2 = (1230 + 20 t_{ср} - 0{,}04 t^2_{ср}) \frac{w^{0{,}2}}{d^{0{,}2}_{вн}} = \Phi_3 (t_{ср}) \cdot \frac{w^{0{,}8}}{d^{0{,}2}_{вн}}, \qquad (П3.7)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубок, м.

Значения вспомогательных величин, используемых в расчетах для определения коэффициентов теплоотдачи, приведены в табл. П3.1–П3.3.

8. Определяем расчетный коэффициент теплопередачи по формуле

$$K^{p} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{\delta}{\lambda}}, \qquad (П3.8)$$

где δ – толщина стенки трубок подогревателя, м;

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

9. Определяем расчетную тепловую производительность подогревателя по формуле

$$Q^{p} = K^{p} \Delta t^{p}_{cp} F^{p}. \qquad (П3.9)$$

Если величина Q^{p} будет отличаться от тепловой мощности $Q^{u}_{ф}$ определенной по результатам испытаний, не более чем на $\pm 1\%$, то расчет можно считать законченным. В противном случае необходимо задаться новым значением температуры насыщения греющего пара $t''_{н}$ и повторить расчет до получения указанной степени точности.

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

$$\delta t^{p} = t^{n}_{н} - t^{p}_{1},$$

где $t^{n}_{н}$ – температура насыщения греющего пара (задаваемая) в окончательном варианте проверочного расчета, °С.

В связи с вероятностью неоднократного повторения расчетов их удобно вести в форме таблиц (см. табл. П3.4).

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

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

$$\beta = K^{u}_{ф} / K^{p};$$

Для одного и того же подогревателя в различных режимах испытаний коэффициент β непостоянен, 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. П3.4. При этом номинальные расчетные параметры теплоносителей ($t_н, t_1^р, t_2^р, G^р$) и конструктивные данные ($F^р, d_{вн}, d_н, f_{тр}, H$ и $Z_м$) принимаются по ОСТ 108.271.101-76, паспортным, справочным данным или результатам обследования, а зависимость (П3.8) для определения расчетного коэффициента теплопередачи принимает вид:

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

где $\beta_{ср}$ - усредненное значение коэффициента по проведенным режимам испытаний.

Результаты расчётов тепловых характеристик сетевых подогревателей целесообразно оформлять в виде таблиц (см. табл. 1).

Таблица П3.1

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

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

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

Таблица П3.2

Числовые значения $1/d_{вн}^{0,2}$

Величина	Внутренний диаметр трубок, мм							
	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
$1/d_{вн}^{0,2}, м^{-0,2}$	2,5I2	2,466	2,422	2,383	2,348	2,3I6	2,286	2,233

Величина	Внутренний диаметр трубок, мм						
	I8	I9	20	2I	22	23	24
$1/d_{вн}^{0,2}, м^{-0,2}$	2,223	2,2I0	2,I87	I,I66	I,I46	2,I26	2,I08

Таблица П3.3

Числовые 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
$W^{0,8}, (м/с)^{0,8}$	0,752	0,836	0,9I9	I,000	I,079	I,I57	I,234	I,309

Величина	Скорость воды в трубках, м/с							
	I,5	I,6	I,7	I,8	I,9	2,0	2,I	2,2
$W^{0,8}, (м/с)^{0,8}$	I,383	I,456	I,529	I,600	I,67I	I,74I	I,8I0	I,879

Величина	Скорость воды в трубках, м/с			
	2,3	2,4	2,5	2,6
$W^{0,8}, (м/с)^{0,8}$	I,947	2,0I4	2,08I	2,I48

Таблица П3.4

Проверочный тепловой расчет
сетевого водоподогревателя

Величина	Формула или источник информации	Численное значение
I. Тепловая мощность подогревателя Q_{ϕ}^{u}, Гкал/ч	Испытания, формула (2)	
2. Расчетная температура сетевой воды на входе t_2^p, °С	Испытания	
3. Расчетная температура сетевой воды на выходе t_1^p °С	Испытания	
4. Расчетный расход сетевой воды G^p, т/ч	Испытания	
5. Температура насыщенного пара $t_н^I$, °С	Задается (подлежит уточнению)	
6. Среднелогарифмическая разность температуры пара и воды $\Delta t_{ср}^p$, °С	Формула (П3. I)	
7. Средняя температура сетевой воды $t_{ср}$, °С	Формула (П3.2)	
8. Температура стенки трубки $t_{ст}$, °С	Формула (П3.3)	
9. Скорость сетевой воды в трубках ω, м/с	Формула (П3.4)	
I0. Средняя плотность сетевой воды ρ^{u}, кг/м^3	Справочник	
II. Площадь сечения трубок одного хода сетевой воды $f_{тр}$, м^2	Паспорт, справочник	
I2. Величина $\Phi_1(t_н^I)$	Табл. П3. I	
I3. Величина H	Паспорт, справочник	
I4. Расчетный коэффициент теплоотдачи от пара к стенке α_1, ккал/(м^2·ч·°С)	Формулы (П3. 5), (П3. 6)	
I5. Величина $\Phi_3(t_{ср})$	Табл. П3. I	
I6. Величина $I/d_{вн}^{0,2}$, м$^{-0,2}$	Табл. П3.2	
I7. Величина $\omega^{0,8}$, $(м/с)^{0,8}$	Табл. П3.3	
I8. Расчетный коэффициент теплоотдачи от трубок к сетевой воде α_2, ккал/(м^2·ч·°С)	Формула (П3.7)	
I9. Толщина стенки трубок δ, м	Паспорт	

Окончание таблицы П3.4

Величина	Формула или источник информации	Численное значение
20. Коэффициент теплопроводности материала трубки λ, ккал/(м·ч·°С)	Справочник	
21. Расчетный коэффициент теплопередачи K^P, ккал/(м²·ч·°С)	Формула (П3.8)	
22. Расчетная производительность (мощность) подогревателя Q^P, Гкал/ч	Формула (П3.9)	

Список использованной литературы

1. ШУБИН Е.П., ЛЕВИН Б.И. Проектирование теплоподготовительных 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 теплоснабжения. – М.: Энергия, 1965.
4. БЕРМАН С.С. Расчет теплообменных аппаратов турбоустановок. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.
5. КЛЯМКИН С.Л. Тепловые испытания паротурбинных установок электростанций. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Цель и задачи испытаний 3
2. Подготовка сетевых подогревателей к испытаниям ... 4
2.I. 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 I0
2.6. Измерение температуры II
2.7. Требования к схеме и оборудованию ВПУ I2
3. Программа испытаний и порядок проведения опытов .. I3
3.I. Тепловые испытания I4
3.2. Гидравлические испытания I5
4. Обработка результатов испытаний I6
4.I. Тепловые испытания 2I
4.2. Гидравлические испытания 23
5. Анализ результатов испытаний и разработка рекомендаций по повышению надежности и экономичности работы 27
П р и л о ж е н и е I. Программа тепловых испытаний сетевых подогревателей 30
П р и л о ж е н и е 2. Программа гидравлических испытаний сетевых подогревателей 34
П р и л о ж е н и е 3. Определение расчетных значений тепловых характеристик сетевого подогревателя 39
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 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 1/16
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 Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д. 15

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

gost.e-ecolog.ru