МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА и ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено
Учебно-методическим управлением МЭИ
в качестве учебного пособия
для студентов

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по курсу

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБУЧЕНИЕ НА ТЭЦ МЭИ

ПАРОГЕНЕРАТОРНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ТЭЦ МЭИ

МЭИ
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ Б-КА

Под редакцией Ю. М. ЛИПОВА

Москва

1980

В учебном пособии описаны конструкции парогенераторов № 2 и 4 ТЭЦ МЭИ, показано их место в общей тепловой схеме ТЭЦ. Большое внимание уделено эксплуатации парогенераторов: рассмотрены схемы автоматического управления режимом горения, регулирования температуры перегретого пара, поддержания уровня воды в барабане, меры защиты парогенераторов в аварийных ситуациях. Описаны процессы пуска и останова парогенератора и его вспомогательное оборудование.

Приведены основные правила поведения студентов во время занятий на работающей ТЭЦ МЭИ.

Первое издание книги вышло в 1977 г. Второе издание переработано с учетом изменений, происшедших в структуре оборудования ТЭЦ МЭИ и правилах эксплуатации.

Пособие предназначено для студентов IV курса специальностей 0305, 0306, 0649, проходящих производственное обучения на ТЭЦ МЭИ согласно учебным планам 1978 г.

© Московский энергетический институт, 1980 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производственное обучение студентов на ТЭЦ МЭИ входит в учебный план специальностей 0305, 0306, 0649 теплоэнергетического факультета. Оно базируется на изучении студентами профилирующих курсов специальности и составляет органическую часть учебного процесса, способствуя тем самым улучшению общей подготовки инженеров-энергетиков.

В процессе производственного обучения на ТЭЦ МЭИ студенты изучают характеристики работающего оборудования, технологические процессы и получают возможность внутреннего осмотра всего оборудования котельного (парогенераторного) отделения в нерабочем состоянии, чего в большинстве случаев нельзя обеспечить во время практики на промышленных электростанциях.

Занятия учебной группы студентов проходят в котельном отделении двумя-тремя бригадами на различных рабочих местах одновременно и подчиняются заранее составленному графику. Для подготовки к изучению оборудования ТЭЦ студент пользуется данным учебным пособием.

Книга является вторым изданием пособия по ТЭЦ МЭИ (первое вышло в свет в 1977 г.) и учитывает как опыт проведения занятий со студентами по материалу первого издания, так и изменение места изучения этого предмета в учебном плане 1978 г.

Пособие предназначено для обучения в парогенераторном отделении ТЭЦ МЭИ студентов специальностей 0305, 0306, 0649 теплоэнергетического факультета МЭИ. Оно может быть использовано при обучении на ТЭЦ МЭИ студентов других теплотехнических специальностей.

В конце пособия приведена дополнительная литература, позволяющая более детально ознакомиться с конструкциями

элементов и принципами работы барабанных парогенераторов.

В подготовке к изданию данного учебного пособия приняли участие Ю. М. Липов, А. П. Вяткин (гл. 1, 6), Ю. Ф. Самойлов (гл. 2), Ю. М. Третьяков (гл. 3), В. М. Аверин, М. Г. Лысков (гл. 4, 5).

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЭЦ МЭИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБУЧЕНИЯ

1.1. Общие технические данные ТЭЦ МЭИ

Теплоэлектроцентраль Московского энергетического института (ТЭЦ МЭИ) представляет собой небольшую промышленную электростанцию, которая вырабатывает электро- и теплоэнергию и отдает ее в систему Мосэнерго. В организационном отношении она разделена на два цеха (котлотурбинный и эксплуатационный) и входящие в них лаборатории (химическая, электротехническая, тепловой автоматики и измерений).

В парогенераторном (котельном) отделении ТЭЦ МЭИ установлены два барабанных парогенератора с естественной циркуляцией (№ 2 и 4) на параметры перегретого пара (40 кгс/см^2 и 440°С) с суммарной паропроизводительностью до 90 т/ч и один парогенератор специальной конструкции, имитирующий работу двухконтурной атомной электростанции, в котором нагрев воды высокого давления в первом контуре происходит за счет сжигания органического топлива. Парогенераторы ТЭЦ работают на газовом топливе, получаемом из Московской городской газовой сети.

Пар от работающих парогенераторов поступает в общие паровые магистрали и затем направляется на две паровые теплофикационные турбины, установленные в турбинном отделении ТЭЦ. Турбогенераторы имеют суммарную электрическую мощность 10 МВт и обеспечивают отбор части пара с давлением 5 кгс/см^2 для нагрева сетевой воды системы теплофикации.

Конденсация отработанного пара турбин осуществляется водой по схеме замкнутой циркуляции с использованием воздушного охладителя воды — двух градирен. Питание парогенераторов обеспечивается в основном конденсатом пара турбин и сетевых подогревателей системы теплофикации.

Потери конденсата на станции восполняются в водоподготовительной обессоливающей установке.

Электрическая часть станции имеет распределительное устройство 6 кВ. Для передачи электроэнергии в сеть Мосэнерго используются два трансформатора 6/10 кВ. Работа основного и вспомогательного оборудования станции контролируется многочисленными контрольно-измерительными приборами. Общее управление электростанцией сосредоточено на главном щите. В котлотурбинном цехе ТЭЦ установлено несколько экспериментальных стендов и установок, используемых для выполнения научных работ кафедрами МЭИ.

1.2. Организация производственного обучения на ТЭЦ МЭИ

Производственное обучение на ТЭЦ МЭИ имеет целью повысить уровень подготовки будущих инженеров-энергетиков путем сочетания изучения базовых и специальных курсов с наглядным и непосредственным изучением энергетического оборудования электростанции, а также технологических процессов и режимов его эксплуатации. Находясь в производственных условиях действующей электростанции, студенты не только детально знакомятся с характеристиками работы оборудования и приемами его обслуживания, но в известной мере и воспринимают организационно-производственную обстановку на рабочих местах, подчиняются установленному распорядку во время занятий на станции. В связи с этим они обязательно проходят вводный и повторные (на рабочих местах) инструктажи по правилам поведения и технике безопасности и подчиняются правилам внутреннего распорядка для студентов на ТЭЦ МЭИ. Основные требования правил внутреннего распорядка сводятся к следующему:

1. Студенты приходят на занятия на ТЭЦ в точно установленное время и покидают ТЭЦ только по разрешению преподавателя. Они являются на занятия в одежде, соответствующей рабочим условиям, и обязаны сохранять чистоту на рабочем месте, выполнять все требования внутреннего распорядка в помещениях ТЭЦ.

2. Во время занятий на ТЭЦ студент должен находиться на обусловленном учебным расписанием рабочем месте. Самовольное хождение по цеху, уход без разрешения с рабочего места не допускаются. Категорически запрещается самовольный осмотр работающего оборудования. Внешний и внутренний осмотры парогенератора и другого оборудования ТЭЦ производятся вместе с преподавателем или дежурным

персоналом ТЭЦ с разрешения старшего по смене. На возникшие вопросы студент может получить ответы у преподавателя или дежурного персонала.

3. При работе на ТЭЦ студент ведет дневник, внося в него все необходимые записи, зарисовки и схемы. По окончании рабочего дня студент предъявляет дневник преподавателю для просмотра. После каждого дня обучения студент обязан дома привести дневник в порядок, внести нужные исправления и подготовить указанный преподавателем материал для следующего занятия.

4. При проведении испытаний оборудования и изучении переменных режимов его работы студент не имеет права без разрешения преподавателя и дежурного персонала ТЭЦ выполнять какие-либо операции на пульте управления или у регулирующих органов. При изучении щита и пульта управления следует быть очень внимательным, не трогать ключей управления и кнопок во избежание вывода из строя основных механизмов парогенератора.

5. Студент должен твердо знать, что эксплуатация энергооборудования осуществляется по «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ) и нарушение этих правил и ошибки при обслуживании могут привести к повреждениям дорогостоящего оборудования, а также вызвать аварию и как следствие — несчастные случаи с людьми.

6. Нарушение студентом правил внутреннего распорядка дает право администрации ТЭЦ отстранить его от производственного обучения впредь до разбора проступка деканом факультета. За повреждение оборудования или несчастные случаи с людьми, вызванные самовольными действиями студента, ответственность несет студент.

2. ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО И ЕГО СЖИГАНИЕ

2.1. Состав и характеристика сжигаемого топлива

Топливом для ТЭЦ МЭИ служит газ, поступающий из городской сети Москвы. Он представляет собой смесь природных газов различных месторождений и включает небольшие добавки промышленных газов (коксового, нефтяного). Поэтому свойства газа, сжигаемого на ТЭЦ, близки к свойствам природных газов.

Основным горючим элементом газа является метан (CH_4). Его содержание в сжигаемом газе доходит до 92—95% (по объему), содержание других горючих газов, как правило, невелико: этана (C_2H_6) — 1—3%, пропана (C_3H_8) — 0,8—0,9%, бутана (C_4H_{10}) — до 0,3%, пентана (C_5H_{12}) — до 0,2%. Химический балласт в составе сжигаемого газа представляет азот (N_2) — 1,4—2,6% и двуокись углерода (CO_2) — 0,5—1%, кроме этого, содержится кислород (O_2) — 0,02—3%.

Добавление промышленных газов может приводить к появлению в горючем газе небольших количеств окиси углерода (CO), сероводорода (H_2S) и водорода (H_2).

Каждый нормальный кубический метр сожженного горючего газа (при 0°С и 760 мм рт. ст.) выделяет 34,2—37,3 МДж тепла. При этом расходуется от 9,0 до 10 $м^3$ воздуха. За счет горения водорода в продуктах сгорания образуется около 2 $м^3$ водяных паров.

Горючий газ легче воздуха, его массовая плотность — 0,75—0,78 $кг/м^3$ (при 0°С и 760 мм рт. ст.), что составляет около 0,6 плотности воздуха. В газе имеется небольшое количество влаги (около 3 $г/м^3$ или 0,0037 $м^3/м^3$ газа). Средняя температура поступающего газа зависит от времени года и составляет 5—10°С.

С воздухом (4—20% газа от объема смеси) газ образует взрывоопасные смеси, легко воспламеняющиеся от открытого огня.

Присутствие в горючем газе окиси углерода (CO) и сероводорода (H_2S) делает его токсичным, т. е. способным оказывать отравляющее воздействие на живые организмы.

Газ бесцветен и не имеет запаха. Чтобы легче было обнаружить его присутствие в окружающей атмосфере, к нему добавляют небольшое количество (не более 16 г на 1000 м^3) газа меркаптана — вещества с сильным и устойчивым специфическим запахом, что позволяет обнаружить даже ничтожное присутствие газа в воздухе.

Содержащиеся в газе пары воды при низких температурах могут конденсироваться, конденсат скапливается в нижних участках газопровода. Во избежание разрушения оборудования при замерзании конденсата газопроводы имеют специальные дренажные устройства для удаления влаги.

2.2 Газорегуляторный пункт

Газоснабжение ТЭЦ МЭИ осуществляется по газовой линии (условный диаметр $D_у$=250 мм) от городского газопровода среднего давления ($p_{изб} \leqslant 100$ кПа или 10 000 мм вод. ст.) (рис. 2.1). Газ поступает к газорегуляторному пункту (ГРП), расположенному в специальном помещении ТЭЦ. Газовая линия оборудована дренажным устройством для удаления конденсата и запорной задвижкой перед входом в ГРП. Максимальный расход газа на ТЭЦ составляет 7200 м^3/ч, в том числе на парогенератор № 2 — 4800 м^3/ч и на парогенератор № 4 — 2400 м^3/ч.

В ГРП производится снижение давления газа до давления, необходимого для нормальной работы горелок (в зависимости от нагрузки ТЭЦ), т. е. до 300—2000 мм вод. ст. Для этого в ГРП установлены два узла редуцирования (понижения давления), один — на парогенератор № 2, другой — на парогенераторы № 3 и 4. Кроме того, имеется перемычка, позволяющая снабжать газом любой парогенератор от любого узла редуцирования.

В ГРП первым по ходу газа установлен фильтр для очистки газа от механических включений. Степень засорения фильтра определяется по перепаду давления газа на фильтре. При перепаде более 5 кПа (500 мм вод. ст.) фильтр отключается для очистки фильтрующей кассеты.

Предохранительно-запорные клапаны ПКН-200 служат для прекращения подачи газа к парогенераторам при снижении его давления после редуцирования ниже 300 мм вод. ст. или повышении выше 2200 мм вод. ст. Сжигание газа при

очень низком давлении сопряжено с затягиванием пламени в газовые горелки парогенераторов и их обгоранием, чрезмерное давление газа может вызвать механические повреждения газопроводов.

Предохранительно-сбросные клапаны ПСК-50 открываются при давлении газа 2000 мм вод. ст., через них газ сбра-

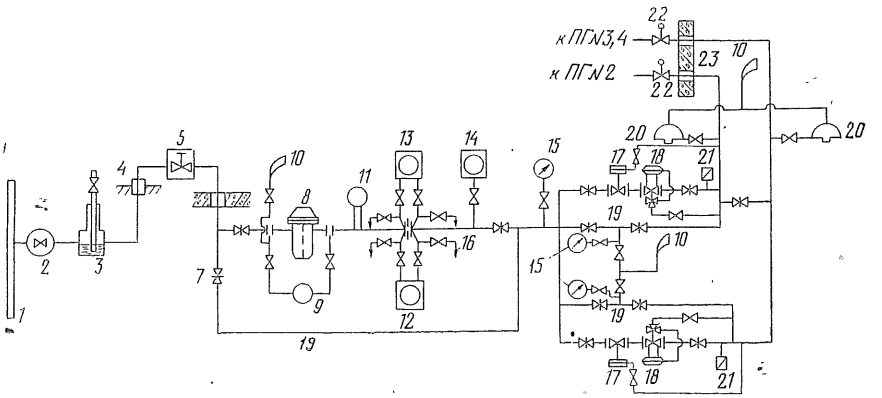


Рис. 2.1. Схема газовых магистралей в пределах газорегуляторного пункта (ГРП): *1* — магистральный газопровод; *2* — запорная газовая задвижка в колодце; *3* — устройство для отвода конденсата на газовой магистрали; *4* — вывод газопровода из земли; *5* — входная запорная задвижка, установленная в металлическом шкафу у стены здания ТЭЦ МЭИ; *6* — ввод газопровода в помещение ГРП; *7* — задвижка запорная; *8* — фильтр для очистки газа от механических загрязнений; *9* — дифференциальный манометр фильтра; *10* — сбросно-продувочная линия; *11* — термометр манометрический газовый (регистрирующий); *12* — дифференциальный манометр для измерения малых расходов газа (регистрирующий) на $\Delta p = 6{,}3$ кПа (630 мм вод. ст.); *13* — то же при больших расходах газа на $\Delta p = 25$ кПа (250 мм вод. ст.); *14* — манометр регистрирующий; *15* — манометр технический; *16* — линия для удаления конденсата; *17* — предохранительно-запорный клапан (ПКН-200); *18* — регулятор давления газа (РДУК-2М-200); *19* — байпасная линия; *20* — пружинный предохранительно-сбросный клапан (ПСК-50); *21* — напоромер; *22* — задвижка с электроприводом; *23* — ввод газопровода в главное здание ТЭЦ

сывается в атмосферу (сбросная линия выведена на крышу ТЭЦ). Если этот сброс газа не обеспечивает прекращения дальнейшего роста давления, то срабатывают клапаны ПКН-200, перекрывая газопроводы. При этом, естественно, прекращается подача газа к парогенераторам ТЭЦ.

В случае ремонта оборудования ГРП (фильтра, клапанов ПКН-200, ПСК-50, регуляторов давления, задвижек) подача газа осуществляется по байпасным (обводным) линиям.

2.2.1. Регулятор давления газа

Регулятор давления конструкции Казанцева (типа РДУК-2-200) с регулятором управления КН-2-200 (рис. 2.2) предназначены для редуцирования газов среднего давления. Он позволяет автоматически поддерживать выходное давле-

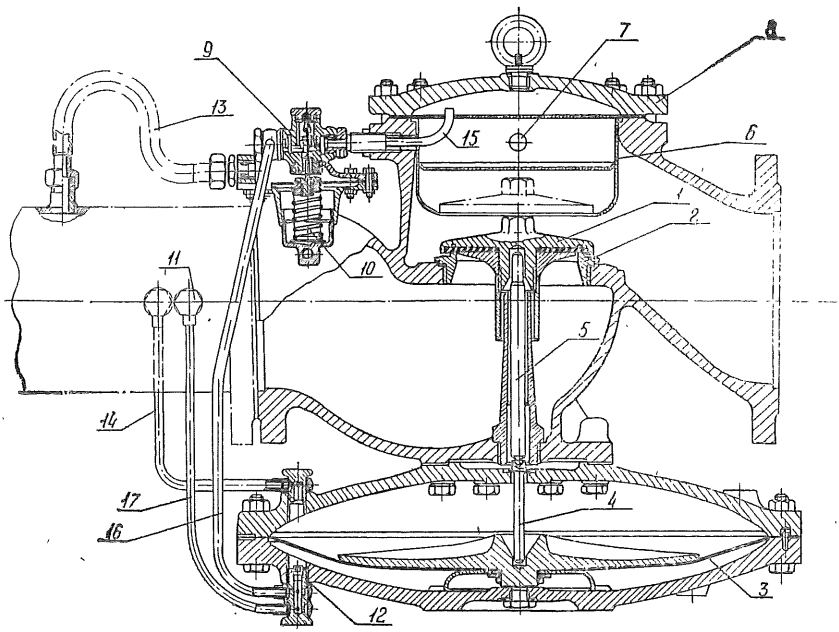


Рис. 2.2. Регулятор давления газа: *1* — основной регулирующий клапан; *2* — седло; *3* — большая рабочая мембрана; *4* — толкатель; *5* — шток клапана; *6* — фильтр-отстойник; *7* — вход газа в фильтр; *8* — съемная крышка корпуса регулятора; *9* — регулятор управления; *10* — регулирующая пружина; *11* — дроссель сбросной ∅ 2 мм; *12* — дроссель демпфирующий ∅ 1,5 мм; *13* — трубка передачи импульса выходного давления к регулятору управления; *14* — линия подачи выходного давления к рабочей мембране; *15* — линия подачи газа высокого давления к регулятору управления; *16* — линия подачи газа от регулятора управления к рабочей мембране; *17* — линия сброса газа, прошедшего регулятор управления, в выходную линию (низкого давления)

ние в пределах 300—2000 мм вод. ст. (рабочее давление 1600—1800 мм вод. ст.) при входном давлении 7000—8500 мм вод. ст. и различном потреблении газа парогенераторами (150—5000 м³/ч).

К нижней части корпуса регулятора давления крепится мембранная коробка с большой рабочей мембраной и подвижной тарелкой. В центральное гнездо тарелки упирается толкатель, связанный со штоком клапана. Он передает вертикальное перемещение тарелки мембраны основному регулирующему клапану регулятора.

В верхней части корпуса регулятора давления установлен регулятор управления, имеющий головку с клапаном, свою мембранную коробку и стакан с регулирующей пружиной. Положение клапана регулятора управления определяется перемещением его мембраны под воздействием усилия регулирующей пружины и давления газа, отбираемого за регулятором (выходное давление) и поступающего в верхнюю полость над мембраной.

Газ входного давления (до регулятора) после фильтра, расположенного над основным клапаном регулятора, поступает в головку регулятора управления, в полость над его клапаном, пройдя который, частично дросселируется и направляется в сбросную линию через специальный демпфирующий (сглаживающий быстрые колебания давления) дроссель. Таким образом, давление этого газа передается в пространство под большой рабочей мембраной. Пространство над этой мембраной соединено с выходным трубопроводом газа после регулятора. Следовательно, положение клапана основного регулятора определяется перемещением большой рабочей мембраны под воздействием промежуточного давления газа после регулятора управления и редуцированного давления газа за регулятором.

Регулятор управления является командным прибором, а основной регулирующий клапан — исполнительным механизмом. Работа регулятора давления осуществляется только за счет энергии (разности давлений) проходящей рабочей среды — газа.

Рост начального давления газа при том же положении основного клапана регулятора давления неизбежно приведет к повышению выходного давления за регулятором. Изменение этого давления вызовет перемещение малой мембраны регулятора управления вниз, и его клапан прикроется. Произойдет понижение давления за этим клапаном и, следова-

тельно, в пространстве под большой рабочей мембраной. В то же время давление над рабочей мембраной возрастет одновременно с ростом выходного давления. В итоге рабочая мембрана переместится вниз, регулирующий клапан прикроется, что приведет к стабилизации выходного давления газа. То же самое будет иметь место при уменьшении расхода газа на ТЭЦ, в результате чего (при неизменном вначале положении регулирующего клапана) временно немного увеличится выходное давление за регулятором и в пространстве над рабочей мембраной; клапан регулятора прикроется и восстановит выходное давление. Для преодоления веса подвижных частей регулирующего клапана при его открывании и сопротивления малого клапана необходим минимальный перепад давления на регуляторе, составляющий примерно 2—3 кПа (200—300 мм вод. ст.).

При отсутствии потребления газа на станции оба клапана регулятора герметично закрываются под действием входного давления на клапаны.

2.2.2. Малогабаритный предохранительно-запорный клапан

Клапан типа ПНК-200 (рис. 2.3) автоматически закрывается и прекращает подачу газа при выходе контролируемого давления газа за установленные верхний или нижний пределы. Открытие клапана производится только вручную. Газ подается на клапан сверху и при его открытом положении свободно проходит по газопроводу. Настройку предохранительного клапана на нужный уровень верхнего и нижнего давления газа осуществляют с помощью двух пружин, расположенных в верхней части клапана и связанных с мембраной. Со штоком мембраны также связан один конец коромысла, другой конец которого сцеплен со штифтом молотка, находящегося в вертикальном положении (рабочее состояние). Под мембрану подводится импульс давления газа. Когда давление под мембраной превысит установленный предел, мембрана со штоком поднимется, сжимая одну из пружин. Вместе со штоком переместится внутренний конец коромысла, а его наружный конец выйдет из зацепления со штифтом молотка. Молоток упадет и ударит по концу анкерного крючка, стопорящего клапан в открытом положении, в результате чего клапан закроется.

Если давление под мембраной упадет ниже установленного предела, мембрана со штоком опустится, растягивая другую пружину, наружный конец коромысла переместится

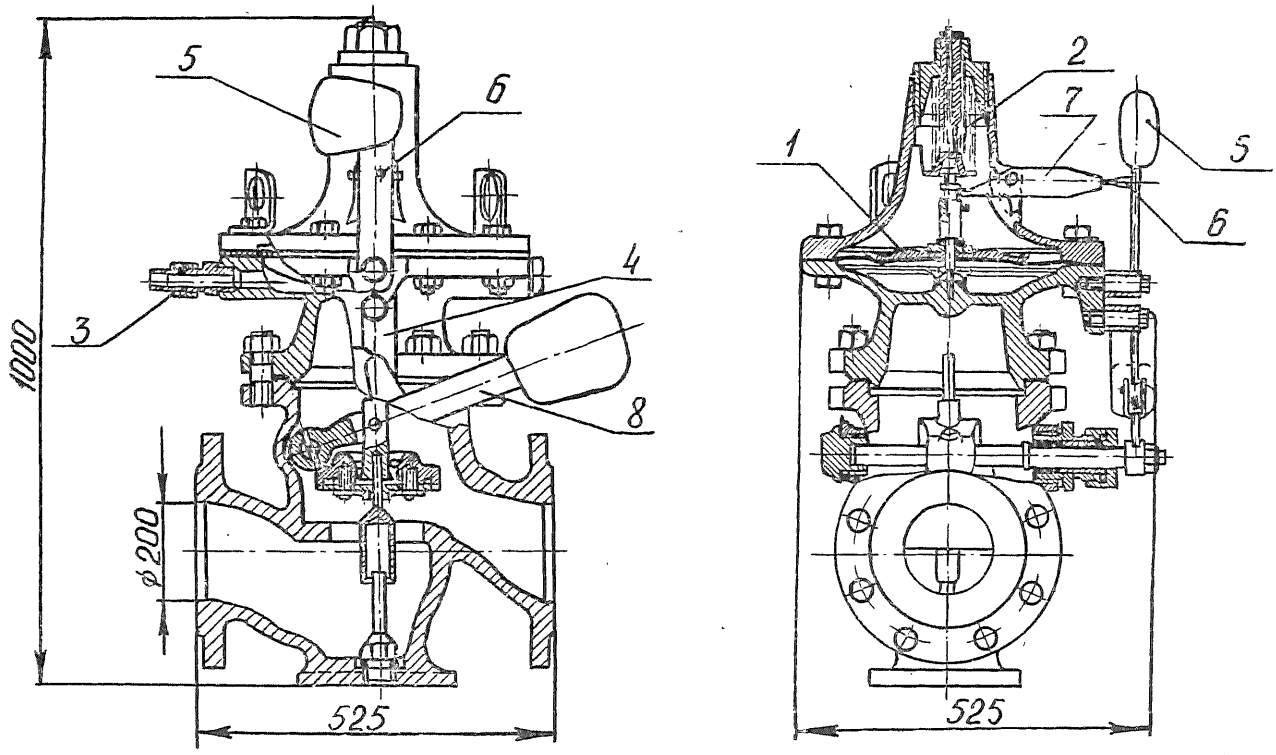


Рис. 2.3. Предохранительно-запорный клапан: *1* — мембрана с тарелкой; *2* — пружины для настройки рабочего диапазона давления; *3* — ниппель подачи импульса давления газа под мембрану; *4* — крючок анкерного рычага; *5* — молоток; *6* — штифт молотка; *7* — коромысло; 8 — рычаг с грузом

вверх и также выйдет из зацепления со штифтом молотка. В результате, как и в предыдущем случае, клапан окажется перекрытым.

В закрытом положении на клапан воздействует полное давление газа, что обеспечивает достаточное уплотняющее усилие и создает герметичное перекрытие газопровода. Для повторного открытия клапана необходимо сначала выровнять давление с обеих сторон клапана. В этих целях в основной клапан встроен малый перепускной клапан. При открывании предохранительного клапана сначала в движение приходит шток и открывается малый перепускной клапан, при этом выравнивается давление в обеих полостях корпуса, что дает возможность открыть основной клапан. Он фиксируется в открытом положении анкерным крючком. Для последующего срабатывания взводится молоток и сцепляется с коромыслом. После этого предохранительный клапан снова готов к работе.

2.3. Газопроводы в пределах парогенератора

Газ из ГРП поступает к парогенераторам по двум газопроводам ($D_у$=200 и 250 мм). Газооборудование обоих парогенераторов выполнено аналогично, поэтому более детально рассмотрена схема подвода газа к горелкам парогенератора № 2 (рис. 2.4). На линии подвода газа к парогенератору установлена задвижка с электроприводом, позволяющая дистанционно перекрыть газопровод при остановке парогенератора. Для определения потребления газа парогенератором установлена диафрагма с показывающим и самопишущим приборами. Далее на газовой линии в пределах площадки обслуживания установлены два предохранительно-запорных клапана (ПКН-200): один общий и один на верхний ярус горелок. Клапаны мгновенно прекращают подачу газа в горелки в случае предельного отклонения давления газа (минимальное давление 50 мм вод. ст., максимальное — 2100 мм вод. ст.), а также при возникновении аварийных ситуаций: отключение вентилятора, разрыв экранной трубы, погасание факела. Регулирующая заслонка обеспечивает подачу нужного по тепловыделению количества газа для сжигания и управляется электронным регулятором расхода топлива. Возможно также ручное дистанционное управление газовой заслонкой при отключении системы автоматики.

Непосредственно перед горелками имеются задвижки для подрегулирования раздачи газа по горелкам и отключения

отдельных горелок при частичных нагрузках парогенератора.

Важную роль играют продувочные линии газопровода, включенные вблизи горелок (так называемые «свечи»). Через

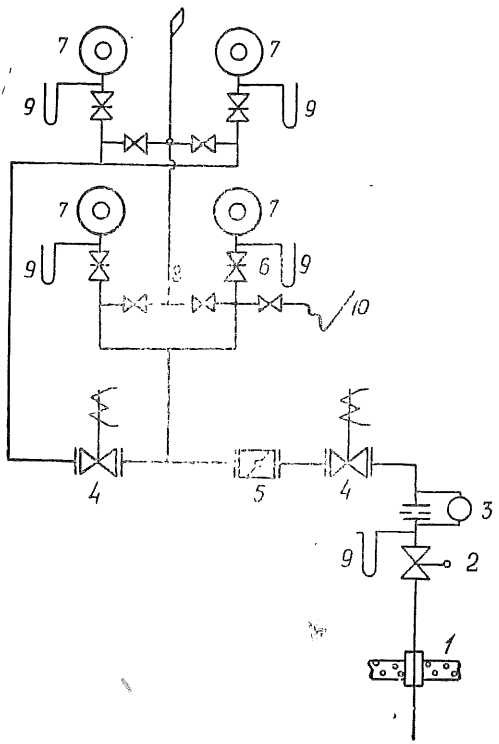


Рис. 2.4. Схема газовой магистрали в пределах парогенератора № 2: *1* — ввод газопровода из ГРП; *2* — задвижка с электроприводом; *3* — диафрагма расходомера; *4* — предохранительно-запорный клапан; *5* — газовая заслонка регулятора расхода топлива; *6* — задвижка; *7* — газовая горелка; *8* — продувочный газопровод (свеча); *9* — манометр для измерения давления газа перед горелкой; *10* — запальное устройство

них удаляется газ из газопровода при выводе последнего в ремонт или вытесняется газовоздушная смесь, образующаяся в газопроводе при останове парогенератора. Если этого не сделать, то при воспламенении смеси газа и воздуха мо-

жет произойти взрыв в топке или газопроводе. Для устранения этой опасности перед пуском парогенератора газопровод некоторое время (~15 мин) через «свечи» продувается газом. При этом, естественно, задвижки у горелок перекрыты. Выброс газа из «свечей» производят выше уровня крыши здания ТЭЦ.

На выходных участках газопроводов у горелок установлены напоромеры для определения давления газа.

2.4. Горелочные устройства

Парогенераторы № 2 и 4 оснащены вихревыми газовыми горелками системы Мосэнергопроект с центральной раздачей газа.

На парогенераторе № 2 установлено четыре горелки производительностью каждая по 1200 м³/ч (рис. 2.5). Газ про-

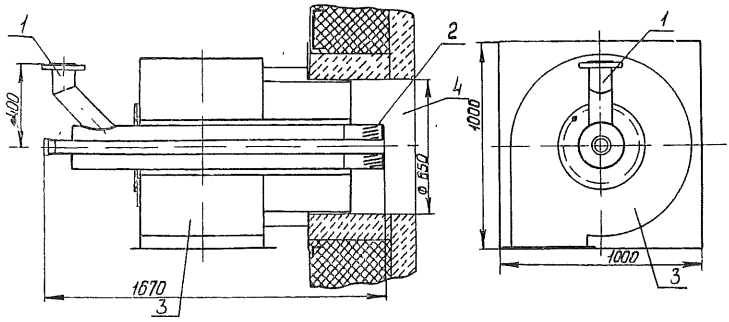


Рис. 2.5. Газовая горелка парогенератора № 2: *1* — подача газа от газопровода; *2* — щели для подачи газа в поток воздуха; *3* — улиточный ввод горячего воздуха; *4* — амбразура (выходное сечение) горелки

ходит в кольцевом межтрубном пространстве и через продольные (косые) щели поступает в завихренный поток воздуха. Скорость газа на выходе из щелей около 100 м/с, аксиальная скорость воздуха в амбразуре — 15 м/с.

Для улучшения перемешивания газа с воздухом, что обеспечивает более полное сгорание газа, воздух перед поступлением в амбразуру горелки завихривается в улиточном вводе горелки. Наклон щелей, через которые выходит газ, сделан с учетом угла закручивания воздуха. В период пуска

МЭИ
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ Б-КА

парогенератора расход газа на горелки небольшой, а его необходимая выходная скорость поддерживается перемещением подвижного «стакана», перекрывающего часть сечения отверстий для выхода газа.

На парогенераторе № 4 установлены две основные горелки производительностью по газу 1100 м³/ч (рис. 2.6) и одна

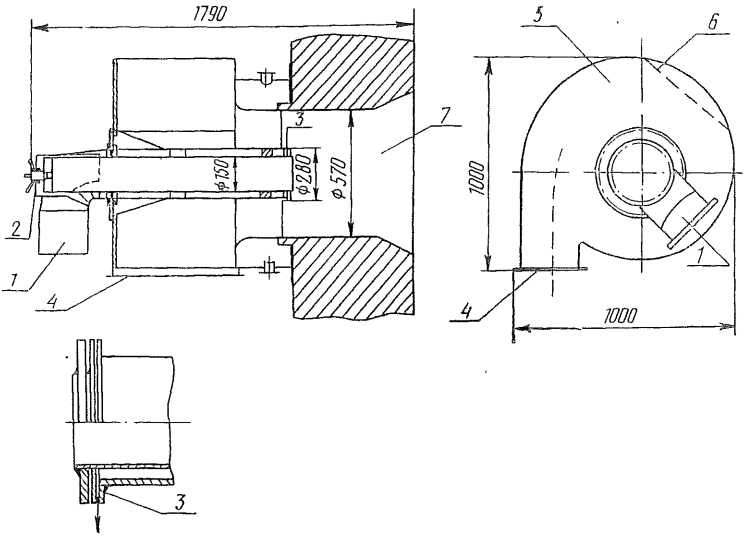


Рис. 2.6. Основная газовая горелка парогенератора № 4: *1* — подвод газа; *2* — винтовой привод для регулирования сечения щели выхода газа в поток воздуха; *3* — щель для выхода газа; *4* — подвод воздуха; *5* — улитка для завихривания воздуха; *6* — шибер регулирования завихривания воздуха; *7* — амбразура (выходное сечение) горелки

вспомогательная производительностью около 360 м³/ч (рис. 2.7).

В основных горелках газ поступает в коаксиальный канал между центральной трубой и воздушной камерой. Выход газа осуществляется через кольцевую щель, образованную торцевой шайбой и срезом трубы, по которой движется газ. Имеется возможность регулировать зазор кольцевой щели для подбора оптимальных скоростей выхода газа при разных нагрузках парогенератора. Для поддержания вращательного движения воздуха в улитке на сниженных нагрузках ис-

пользуется шибер, уменьшающий проходное сечение. Оси основных горелок скошены примерно на 7° в горизонтальной плоскости к центру, что обеспечивает лучшее смесеобразование и заполнение факелом топочного пространства.

Вспомогательная горелка установлена выше основных (отметка 12,8 м) и предназначена для повышения темпера-

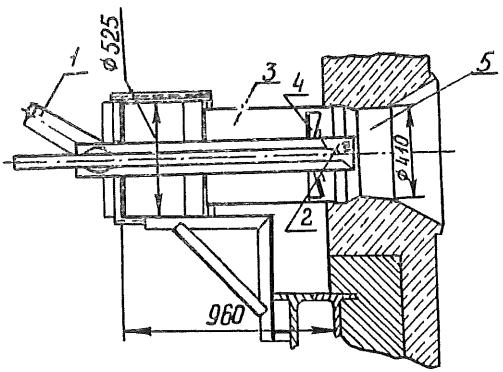


Рис. 2.7. Вспомогательная газовая горелка парогенератора № 4: *1* — подвод газа; *2* — щели для подачи газа в поток воздуха; *3* — цилиндрический канал для воздуха; *4* — лопатки для завихривания воздуха; *5* — амбразура (выходное сечение) горелки

туры газов на выходе из топки и тем самым для обеспечения заданного перегрева пара при нагрузках выше 14 т/ч. Эта горелка выполнена без улиточного ввода воздуха, а его завихривание осуществляется в лопаточном аппарате. Подача газа осуществляется по центральной трубе, в конце которой имеются косые щели для выхода газа в поток завихренного воздуха.

Контрольные вопросы к главе № 2

1. Почему недопустимо повышение (снижение) давления газа перед горелками выше (ниже) установленных пределов?
2. Что произойдет, если давление газа после ГРП окажется выше (ниже) предельных значений?
3. Можно ли обеспечить необходимые расход и давление газа при выходе из строя одного или обоих регуляторов давления?

4. Зачем нужны предохранительно-запорные клапаны перед горелками?

5. Назовите устройства, установленные на газопроводах ТЭЦ в целях предотвращения опасности взрыва газо-воздушной смеси.

6. Почему в горелках газ вводят перпендикулярно потоку воздуха узкими струями, а не вдоль потока воздуха? Для чего завихривается воздух?

7. Давление какого потока (воздуха или газа) выше на входе в горелку и почему?

3. КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

3.1. Парогенератор № 2

Парогенератор № 2 ТЭЦ МЭИ типа БМ-35-РФ выполнен однобарабанным с естественной циркуляцией, изготовлен Белгородским котельным заводом.

Номинальные параметры парогенератора:

паропроизводительность $D=50$ т/ч [1];

давление перегретого пара $p_{пе}=40$ кгс/см^2;

температура перегретого пара $t_{пе}=440$°С;

топливо — природный газ.

Парогенератор имеет П-образную компоновку поверхностей нагрева (рис. 3.1). В его топочной камере расположены испарительные поверхности нагрева, в поворотной камере находятся ступени пароперегревателя, а в опускной конвективной шахте — экономайзер и воздухоподогреватель.

После конвективной шахты дымовые газы по восходящему дымоходу направляются к дымососу, расположенному на отметке +22,40, затем — в дымовую трубу, откуда выбрасываются в атмосферу. Низ топочной камеры находится на отметке обслуживания +5,15, барабан — на отметке +17,55.

На отметке обслуживания расположены: узел питания парогенератора, щит контрольно-измерительных приборов и автоматики, пульт управления, щиты электрические, узел фосфатирования и другое оборудование.

Дутьевой вентилятор, сепаратор непрерывной продувки и растопочный сепаратор расположены на нулевой отметке.

3.1.1. Топочная камера и парообразующие экраны

Ширина и глубина топочной камеры в свету (до стен обмуровки) составляют: $a=4400$ мм, $b=4140$ мм (см. рис. 3.1). Высота топки от пода до середины выходного окна топки (первого ряда фестона) — 8500 мм. Объем топочной камеры

[1] После усовершенствования горелок парогенератор может нести нагрузку до 60 т/ч.

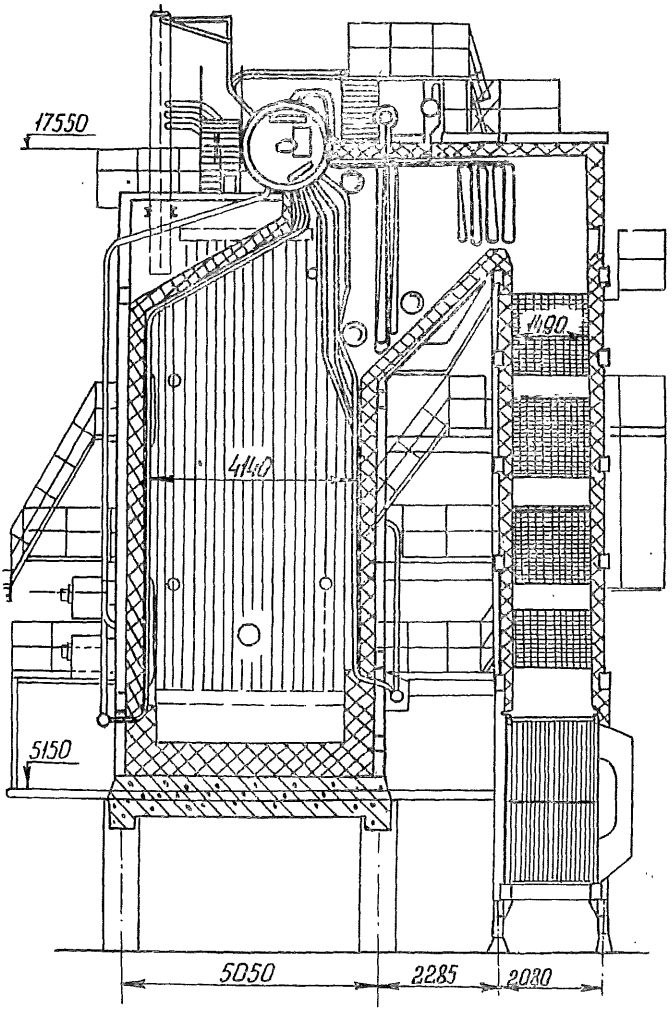


Рис. 3.1. Общая компоновка парогенератора № 2

$V_т = 147$ м³. Тепловое напряжение топочного объема при работе парогенератора на природном газе с теплотой сгорания $Q_н^р = 37{,}4$ МДж/м³ (8435 ккал/м³) и расходе топлива $B = 1{,}137$ м³/с (4091 м³/ч) составляет

$$q_V = \frac{B\,Q_н^р}{V_т} = \frac{4091 \cdot 8435}{147} = 234 \cdot 10^3 \text{ ккал/(м}^3\text{/ч)} \text{ или } 271 \text{ кВт/м}^3.$$

Температура газов на выходе из топки (расчетная) $\vartheta_т'' = 1050°C$.

Все стены топочной камеры, за исключением пода, экранированы трубами, входящими в систему контуров циркуляции.

Горелки в количестве 4 штук установлены на фронтовой стене топки в два яруса (по 2 горелки в ярусе). Компоновка горелок и их конструкция рассматриваются в гл. 2.

В верхней части топочной камеры и в горизонтальном газоходе установлены взрывные клапаны, предназначенные для аварийного выброса части дымовых газов из парогенератора в случае внезапного повышения давления дымовых газов. Повышение давления (хлопки в топке и газоходах) может привести к выбиванию факела и продуктов сгорания через лючки в помещение или даже к разрушению обмуровки.

К парообразующим поверхностям нагрева в парогенераторе относятся поверхности, расположенные в топочной камере, а также выходные змеевики экономайзера.

Парообразующие поверхности топочной камеры представляют собой экраны, выполненные из одного ряда труб на фронтовой, задней и двух боковых стенках топки. Обеспечивая получение нужного количества пара, экраны в то же время защищают обмуровку топки от интенсивного теплового потока и преждевременного разрушения огнеупорной изоляции стен. Все экраны топки изготовлены из труб с наружным диаметром 60 мм и толщиной стенки 3 мм и отстоят от стен топки на 60 мм, считая от оси труб. Материал труб — качественная углеродистая сталь марки 20.

Экранные трубы имеют подвижные крепления, которые позволяют им свободно перемещаться в вертикальном направлении при тепловом удлинении, но препятствуют их горизонтальному (в сторону топки) перемещению. Верхние коллекторы боковых экранов и нижний коллектор фронтового экрана закреплены неподвижно. Нижние коллекторы боковых и заднего экранов имеют возможность перемещаться в вертикальном направлении.

Экранные трубы собраны в 8 секций, являющихся элементами контуров циркуляции рабочей среды (вода, пар). Контур циркуляции представляет собой замкнутую систему, по которой движется рабочая среда: вода из барабана (или двух выносных циклонов) по опускным трубам поступает в нижний коллектор и далее — в подъемные экранные трубы. За счет подвода тепла к экранным трубам топочной камеры в них происходит испарение части воды. Пароводяная смесь по подъемным трубам из шести контуров циркуляции поступает непосредственно в барабан, а из двух контуров — в верхний коллектор, откуда направляется в выносные циклоны.

При одном проходе рабочей средой контура циркуляции испаряется в среднем лишь одна двадцатая часть воды. Таким образом, для полного испарения первоначально поступившего 1 кг воды нужно совершить 20 циклов. Это число циклов называется кратностью циркуляции.

Опускная система выполнена из труб диаметром 83×4 и 102×3,5 мм. Нижние коллекторы всех экранов имеют диаметр 219×16 мм, верхние коллекторы основных боковых экранов — 273×20 мм. По числу секций экранов парогенератор БМ-35-РФ имеет 8 контуров циркуляции: фронтовой, задний и 6 боковых (по 3 на каждой из сторон).

Для повышения качества пара (снижения в нем концентрации примесей) экраны парогенератора выполнены по схеме двухступенчатого испарения: часть воды в количестве 25—30% поступает из барабана в 2 выносных циклона и образует вторую ступень циркуляции. При этом в первой ступени испарения («чистом» отсеке) — барабане и присоединенных к нему контурах циркуляции — количество примесей в воде оказывается относительно небольшим и основная масса пара (~75%) получается менее загрязненной. Только пар, поступающий из второй ступени испарения («солевых» отсеков) — циклонов, имеет такое же количество примесей, как и при одноступенчатой схеме испарения. Но такого пара имеется только 25%. Насыщенный пар из всех 8 контуров циркуляции смешивается и собирается в верхней части барабана.

Пароводяная смесь, поступающая из экономайзера в барабан, содержит растворенные и взвешенные примеси. Образовавшийся из воды пар уносит с собой незначительное количество примесей, основная масса их остается в водном объеме парогенератора. Следовательно, по мере упаривания

концентрация примесей в воде увеличивается. Рост концентрации примесей в котловой воде приводит к увеличению перехода их в пар, а также к отложению части примесей на внутренней поверхности труб. Чтобы не допустить ухудшения качества пара и отложения примесей на интенсивно обогреваемых трубах, необходимо организовать постоянный вывод примесей из парогенератора вместе с некоторым количеством воды, называемой продувочной водой.

Продувка водяного объема парогенератора производится из второй ступени испарения — циклонов. Количество продувочной воды составляет обычно 0,5—1% паропроизводительности парогенератора.

В барабан парогенератора (первая ступень испарения) включены фронтовой и задний экраны топки, крайние секции труб боковых экранов. В выносные циклоны (вторая ступень испарения) включены центральные секции боковых экранов.

3.1.2. Циркуляционные контуры парогенератора

Схема циркуляционных контуров представлена на рис. 3.2 (см. вклейку в конце пособия).

а) *Фронтовой экран.* Он состоит из 36 труб диаметром 60×3 мм с шагом $s=110$ мм (шаг — расстояние между осями двух соседних труб). Питание его осуществляется по 4 опускным трубам из барабана в нижний коллектор. Общая высота экрана (от оси нижнего коллектора до оси барабана) составляет 11 150 мм. Подъемные трубы фронтового экрана входят непосредственно в барабан парогенератора.

б) *Задний экран и фестон.* Подъемные трубы заднего контура циркуляции можно условно разделить по высоте на две части: плотный задний экран вдоль стены топки и разреженный трехрядный фестон, через который топочные газы проходят в поворотную камеру.

Задний экран состоит из 48 труб диаметром 60×3 мм, расположенных с шагом 80 мм.

Фестон образуется из труб заднего экрана путем разведения их по ходу газов в три ряда. При этом шаг труб в ряду равен $s_1=3\times80=240$ мм, а расстояние между рядами $s_2=220$ мм. Увеличенное расстояние между трубами ряда обеспечивает проход газов к перегревателю.

Питание заднего контура циркуляции производится по 6 опускным трубам. Задний контур циркуляции включен в

первую ступень испарения, его подъемные трубы входят в барабан. Общая высота экрана — 10 650 мм. Она несколько меньше, чем высота фронтового экрана за счет более высокого расположения нижнего коллектора.

в) *Дополнительные боковые экраны.* На левой и правой боковых стенках, ближе к углам топки, расположено по два дополнительных экрана, относящихся к первой ступени испарения и включенных в барабан. Передний (со стороны фронта) дополнительный боковой экран имеет 4, а задний — 6 подъемных труб диаметром 60×3 мм, шаг труб $s=110$ мм.

Питание каждого из дополнительных экранов производится по одной опускной трубе. Высота этих экранов 10 650 мм.

г) *Основной боковой экран.* Бóльшую часть поверхности боковых стен закрывают основные боковые экраны, входящие в контуры циркуляции второй ступени испарения. Таких контуров циркуляции на парогенераторе БМ-35-РФ два (левый и правый). Они замыкаются на два выносных вертикальных циклона, расположенных по обе стороны барабана. Циклон имеет диаметр 377×13 мм и высоту 5085 мм. Из циклона вода по 4 опускным трубам диаметром 83×4 мм направляется в нижний коллектор, из которого выходят 24 подъемных трубы диаметром 60×3 мм с шагом 110 мм. Пароводяная смесь из подъемных труб поступает в верхний коллектор, откуда по 3 пароотводящим трубам диаметром 83×4 мм попадает в циклон. Подвод ее в циклон производят тангенциально. За счет возникающего при этом центробежного эффекта происходит разделение смеси на паровую и жидкую фазы. Большая высота парового пространства в циклоне способствует более полному разделению фаз (происходит дополнительно «естественная» сепарация за счет гравитационных сил). Вода снова идет в опускные трубы, а пар тремя трубами диаметром 83×4 мм направляется в паровое пространство барабана, где смешивается с паром, образовавшимся в первой ступени испарения.

Вода из барабана поступает в выносной циклон по водоподводящей трубе диаметром 83×4 мм. Высота основного бокового экрана (по осям коллекторов) равна 8780 мм.

В основном боковом контуре циркуляции имеются две рециркуляционные трубы диаметром 83×4 мм, соединяющие верхний и нижний коллекторы между собой, что способствует увеличению подачи воды в нижний коллектор и в подъемные трубы и повышает надежность их работы.

3.1.3. Барабан и внутрибарабанные устройства

Барабан парогенератора с внутренним диаметром 1500 мм выполнен сварным из качественной стали 20К с толщиной стенки 40 мм (рис. 3.3 см. на вклейке в конце пособия).

Для эффективного разделения пароводяной смеси барабан имеет 12 внутрибарабанных циклонов *9*. Вся пароводяная смесь, поступающая в барабан, собирается в приемные камеры *8* и проходит через внутрибарабанные циклоны. Центробежный принцип сепарации влаги в циклонах в несколько раз эффективнее, чем гравитационная сепарация в паровом объеме барабана. Из циклонов пар направляется к дополнительным очистным устройствам.

Для более тонкой сепарации влаги на выходе пара из барабана установлены жалюзийные сепараторы *1*. Здесь при прохождении пара по узким каналам с изменением направления движения влага, оставшаяся в паре, выделяется на стенках сепаратора и стекает вниз на уровень воды. За жалюзийными сепараторами размещены два дырчатых листа (*2*, *3*), обеспечивающие равномерное поступление пара в трубы пароперегревателя по всей длине барабана, а также исключение проскока отдельных капель влаги с насыщенным паром. Пар из выносных циклонов поступает в барабан парогенератора, смешивается с паром, выдаваемым первой ступенью испарения, и направляется через жалюзийные сепараторы в пароперегреватель. Вода или пароводяная смесь из экономайзера подается в барабан по трубам *4*, введенным в паровое пространство барабана. После выхода пароводяной смеси из трубы *4* происходит отделение пара. Для лучшей сепарации пара от захваченных им капелек влаги установлен отбойный щит *5*. Питательные жалюзи *6* служат для гашения кинетической энергии потока воды, а также для улавливания оставшихся пузырьков пара. Фосфатирование котловой воды производится по трубе *7*.

3.1.4. Пароперегреватель, регулятор перегрева и паропровод в пределах парогенератора

а) *Пароперегреватель.* Схема пароперегревателя представлена на рис. 3.4.

Из барабана насыщенный пар поступает в 40 труб диаметром 38×3 мм. Эти трубы экранируют потолок горизонтального газохода и переходят в змеевики первой конвективной ступени пароперегревателя *3*. Затем пар поступает в

пароохладитель 2, а оттуда — во вторую конвективную ступень пароперегревателя 4. Из выходной камеры 1 перегретый пар направляется в турбинное отделение ТЭЦ. Движение пара в конвективных ступенях по отношению к газам смешанное — противоточно-прямоточное. Поверхность нагре-

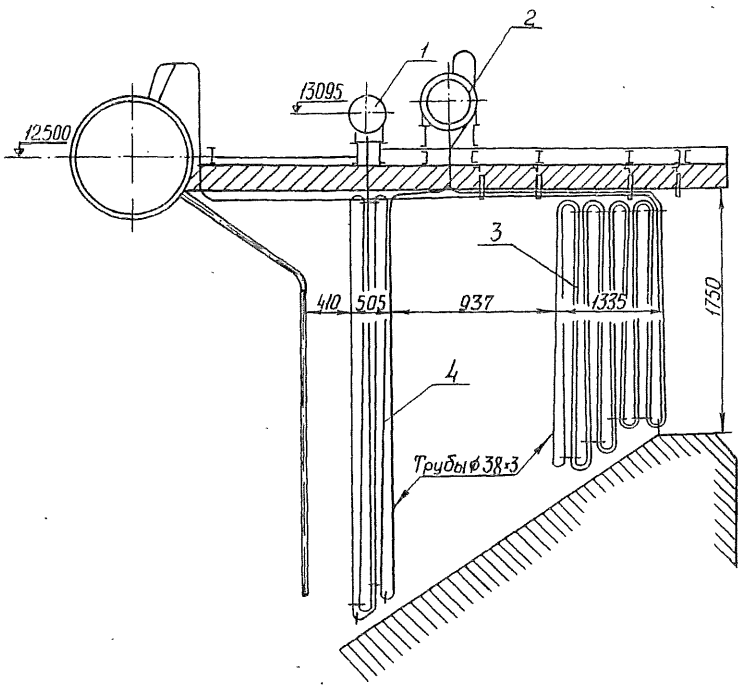


Рис. 3.4. Схема пароперегревателя парогенератора № 2

ва пароперегревателя второй ступени составляет 110 м², она выполнена из труб диаметром 42×3 мм. Пароперегреватель первой ступени изготовлен из труб диаметром 38×3 мм и имеет поверхность нагрева 140 м².

Выходная часть второй ступени выполнена из легированной стали 15ХМ, остальная часть труб второй ступени и трубы первой ступени конвективного перегревателя — из углеродистой стали 20. Обе ступени конвективного перегревателя имеют коридорное расположение змеевиков. Змеевики первой ступени пароперегревателя с помощью металлических хомутов подвешены к потолочным трубам, а потолочные тру-

бы закреплены на балках верхнего перекрытия каркаса. Трубы второй ступени пароперегревателя крепятся к выходному коллектору. Выходной коллектор через свои опоры передает нагрузку на балки каркаса. По ходу газа соседние змеевики пароперегревателя фиксированы с помощью стальных хомутов. В поперечном (по отношению потока газов) направлении шаг между змеевиками выдерживается с помощью гребенок из жаропрочного металла. Эти же гребенки придают жесткость всей конструкции пароперегревателя.

б) *Пароохладитель.* Регулирование температуры перегрева пара осуществляется поверхностным пароохладителем, который установлен за первой ступенью пароперегревателя. Схема пароохладителя показана на рис. 3.5.

Поверхность охлаждающих труб пароохладителя $H=7$ м^2. Змеевики пароохладителя выполнены из труб диаметром

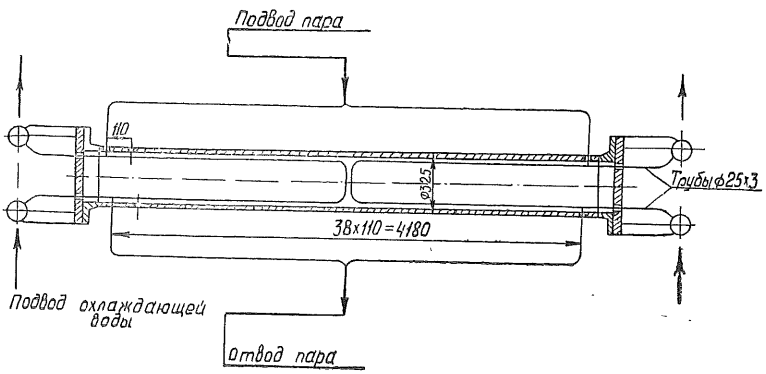


Рис. 3.5. Схема пароохладителя парогенератора № 2

25×3 мм из стали марки 20. Общее число змеевиков 2×11=22. Наружный диаметр камеры 325 мм. Змеевики пароохладителя проходят через торцевые крышки и внутри камеры фиксируются в шахматном порядке дистанционирующими поперечными диафрагмами. Подвод и отвод охлаждающей воды производится через четыре коллектора, закрепленных по два на торцевых крышках корпуса пароохладителя. К ним крепятся змеевики пароохладителя.

Изменение температуры пара регулируется расходом воды через змеевики. Доля воды, поступающей на пароохладитель, изменяется регулирующим клапаном, получающим им-

пульс от регулятора температуры перегретого пара (см. рис. 3.6).

в) *Паропровод.* Паропровод острого пара выполнен из легированной стали 12Х1МФ с учетом возможного в дальнейшем перехода на более высокую температуру пара. Диаметр паропровода 219×15 мм.

Непосредственно над выходным коллектором пароперегревателя установлена главная парозапорная задвижка, снабженная электрическим и ручным дистанционными приводами. На паропроводе установлены датчики для измерения температуры и давления пара и его расхода.

г) *Предохранительные клапаны.* При резком (аварийном) снижении нагрузки потребление пара турбиной также резко снижается. В то же время парогенератор вследствие большой аккумулирующей емкости не может быстро снизить свою паропроизводительность, поэтому некоторое время количество вырабатываемого пара будет превышать потребление. При этом давление пара в паропроводе и, следовательно, во всем парогенераторе будет повышаться. Рост давления может превысить допустимое значение для барабана и сопровождается снижением скорости пара в змеевиках пароперегревателя, что вызовет повышение температуры металла труб. Это может привести к аварии (появление трещин в корпусе барабана или разрыв труб пароперегревателя). Для снижения давления в этом случае производят частичный сброс пара в атмосферу через предохранительные клапаны, которые установлены на барабане и выходной камере пароперегревателя.

Установленный на барабане предохранительный клапан отрегулирован на давление, превышающее рабочее на 5%.

Два клапана на выходной камере пароперегревателя отрегулированы на открытие при давлении, которое на 2—3% больше рабочего на выходе из пароперегревателя. Следовательно, при повышении давления пара выше нормы вначале открываются клапаны на выходе из перегревателя, обеспечивая тем самым охлаждение металла змеевиков перегревателя. И только при дальнейшем росте давления дополнительно открывается клапан большего сечения на барабане.

3.1.5. Водяной экономайзер

Парогенератор имеет одноступенчатый водяной экономайзер с поверхностью нагрева 768 м^2. Он изготовлен из труб

диаметром 32×3 мм (сталь марки 20) и выполнен в виде четырех пакетов.

Из коллектора трубы выходят в два ряда со смещением по высоте для образования шахматного расположения змеевиков с поперечным шагом $s_1=60$ мм и продольным $s_2=40$ мм. Для дистанционирования змеевиков и их крепления используют специальные металлические полосы, передающие одновременно вес змеевиков экономайзера на опорные балки. Для снижения температуры металла опорные балки изнутри охлаждаются воздухом. Движение воды в экономайзере — подъемное. В этом случае выделяющиеся при нагреве воды газы (в том числе кислород) будут сноситься потоком воды вдоль поверхности труб, не создавая очагов локальной коррозии металла. Скорость течения воды в трубах должна быть больше 0,5 м/с.

В растопочных режимах для постоянного движения воды в экономайзере включается линия рециркуляции, если в это время через экономайзер не подается питательная вода. На входе в змеевики (у нижнего коллектора) установлены подпорные шайбы, создающие равномерное распределение воды по всем параллельным трубам. Для установки и замены шайб нижний коллектор снабжен лючковыми затворами.

Расчетная температура питательной воды при включенных подогревателях высокого давления $t_{пв}=150°C$. При этом на выходе из экономайзера будет получаться пароводяная смесь с относительным количеством пара $x=13\%$. Парогенератор может работать и при отключенных подогревателях высокого давления. Тогда температура поступающей в экономайзер воды после деаэратора будет 104°С.

Коллекторы экономайзера диаметрами 219×16 (нижний) и 159×11 мм (верхний) расположены на правой боковой стенке конвективной шахты.

3.1.6. Питательные трубопроводы в пределах парогенератора

Схема питательных трубопроводов с основной арматурой в пределах парогенератора представлена на рис. 3.6. Схема продувки барабана, коллекторов и дренажей рассматривается в гл. 4.

Питательная вода поступает в парогенератор по двум трубопроводам диаметром 89×4 мм. Регулирование количества подаваемой воды в парогенератор производится клапанами, получающими импульсы от регуляторов питания, или

дистанционно с пульта управления парогенератором при помощи электромеханического привода к вентилям, расположенным на питательных трубопроводах перед регулирующими клапанами.

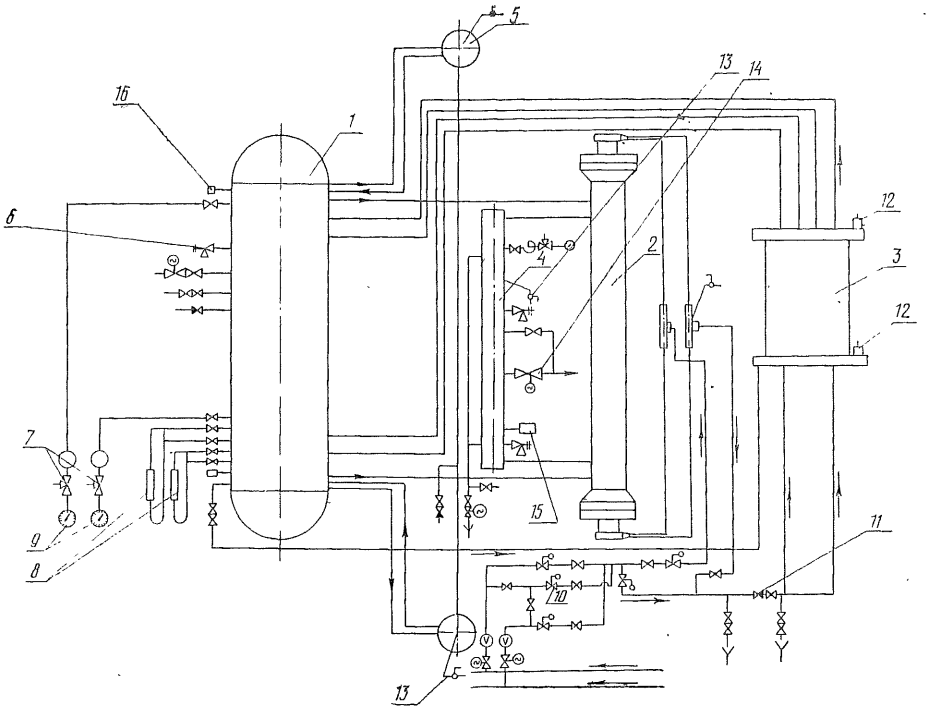


Рис. 3.6. Схема трубопроводов в пределах парогенератора № 2: *1* — барабан; *2* — регулятор перегрева; *3* — водяной экономайзер; *4* — камера перегретого пара; *5* — выносной циклон; *6* — клапан предохранительный; *7* — вентиль трехходовой к манометрам; *8* — сниженный водоуказатель; *9* — манометр; *10* — вентиль регулирующий; *11* — клапан обратный; *12* — термометр; *13* — вентиль воздушный; *14* — главная паровая задвижка; *15* — термометр на камере перегретого пара; *16* — водоуказательный прибор на барабане

Подача воды к пароохладителю (регулятору перегрева) обеспечивается за счет повышенного перепада давления на подпорном клапане, установленном между местом отбора воды на пароохладитель и точкой возврата ее. Расход воды к пароохладителю регулируется своим регулирующим клапаном. После пароохладителя вода поступает в питательный

трубопровод перед водяным экономайзером. При пуске парогенератора питательная вода подается по растопочной линии, байпасирующей регулирующие клапаны.

3.1.7. Воздухоподогреватель

Воздухоподогреватель размещен в опускной конвективной шахте за водяным экономайзером. Воздухоподогреватель одноступенчатый имеет высоту 3380 мм и поверхность нагрева 1000 м^2, образованную 2500 вертикальными трубами. Трубы воздухоподогревателя собраны в секции. Для выполнения воздухоподогревателей применяют электросварные трубы диаметром 40×1,5 мм, закрепленные в верхних и нижних трубных досках. Воздух проходит в горизонтальном направлении между трубами, расположенными в шахматном порядке. Дымовые газы проходят сверху вниз внутри труб. Для обеспечения двух ходов воздуха на середине высоты секций установлены промежуточные трубные доски. Разворот потока воздуха из первого хода во второй происходит в воздухоперепускном коробе. Таким образом, в воздухоподогревателе имеет место перекрестное противоточное движение газов и воздуха.

Нижние трубные доски устанавливаются на опорную раму каркаса, а тепловые расширения труб направлены вверх. Для обеспечения теплового расширения труб (около 10 мм) и исключения притоков внешнего воздуха в газоход в верхней части воздухоподогревателя устанавливают линзовые компенсаторы. Снаружи воздухоподогреватель по всей высоте обшит металлическим кожухом.

3.1.8. Обмуровка

Обмуровка парогенератора кирпичная, облегченной конструкции и выполнена в два слоя.

Первый слой — футеровка из шамотного кирпича, толщина слоя 125 мм (по всему парогенератору); второй слой — изоляция из диатомового (трепельного) кирпича, толщина слоя 250 мм в топке и горизонтальном газоходе и 125 мм в конвективной шахте.

Уплотнение обмуровки против присосов воздуха осуществляется за счет металлической обшивки. Между слоем тепловой изоляции и обшивкой проложен асбестовый лист толщиной 5 мм для предотвращения протечек воздуха между обшивкой и изоляцией.

Крепление обмуровки к каркасу и передача ее веса осуществляются с помощью приварных кронштейнов и закладных стальных плит, установленных горизонтально. От непосредственного воздействия облучения плиты и кронштейны защищены специальным фасонным кирпичом.

Для компенсации температурных расширений обмуровки слои ее выполнены без перевязки друг с другом. Между поясами обмуровки и в углах газоходов имеются горизонтальные и вертикальные температурные швы. Для уплотнения в температурных швах проложен асбестовый шнур. Амбразуры горелок выложены фасонным шамотным кирпичом, амбразуры под гарнитуру сделаны из шамотобетона.

Под топки сделан горячим (без охлаждения трубами) и выполнен двухслойным из кирпича (шамот 250 мм и диатом 380 мм). По контуру пода топки сделан температурный шов с закладкой асбестовым шнуром.

Потолок выполнен бетонным, двухслойным (шамотобетон, затем асбестодиатомовый бетон). Поверх изоляционного бетона уложена уплотнительная штукатурка.

Горизонтальные температурные швы выполняются в местах установки разгрузочных кронштейнов и стальных плит.

Часть барабана, омываемая горячими газами, покрыта огнеупорной массой (торкрет).

3.2. Парогенератор № 4

Однобарабанный парогенератор № 4 с естественной циркуляцией спроектирован и изготовлен для работы на твердом топливе (на пыли донецкого тощего угля).

Проектные номинальные параметры парогенератора:

паропроизводительность $D=20$ т/ч;

давление перегретого пара $p_{пе}=40$ кгс/см^2;

температура перегретого пара $t_{пе}=450$°С;

температура питательной воды $t_{пв}=104/150$°С.

Так как на ТЭЦ МЭИ парогенераторы работают на газовом топливе, появилась возможность повышения их паропроизводительности без конструктивного изменения поверхностей нагрева. Для этого была повышена производительность газовых горелок и тягодутьевых машин. В результате парогенератор № 4 может вырабатывать до 30 т/ч перегретого пара тех же параметров при температуре питательной воды как 150°С, так и 104°С.

Парогенератор установлен в основном пролете помещения (рис. 3.7) и опирается на железобетонный фундамент. Он

имеет П-образную компоновку. Фронт парогенератора обращен к наружной стенке здания ТЭЦ. Перед фронтом на ос-

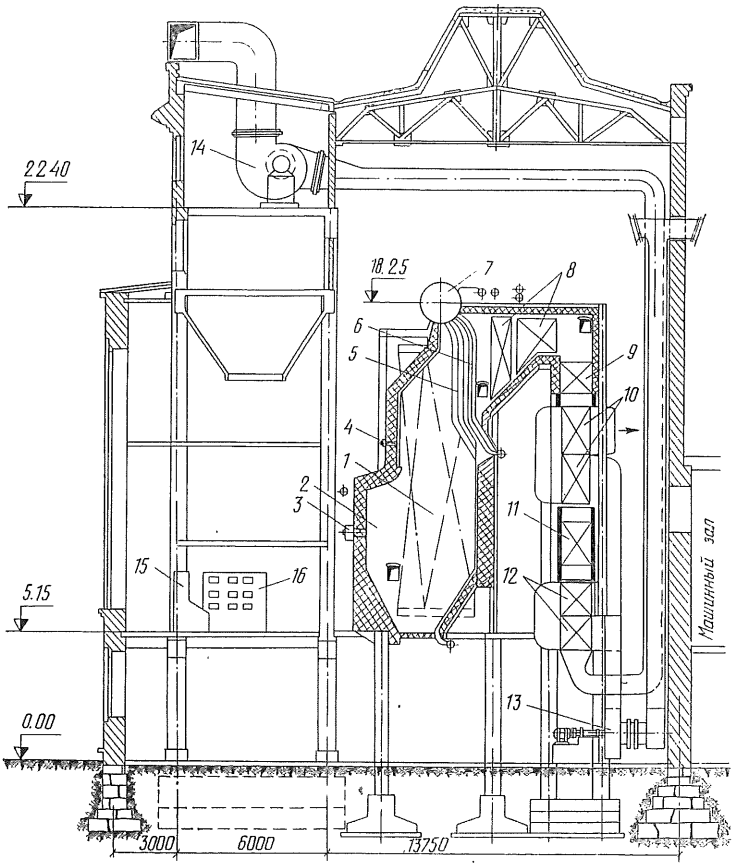


Рис. 3.7. Общий вид парогенератора № 4: *1* — топка; *2* — предтопок; *3* — основные горелки; *4* — вспомогательная горелка; *5* — фестон; *6* — котельный пучок; *7* — барабан, *8* — пакеты пароперегревателя; *9* — вторая ступень водяного экономайзера; *10* — вторая ступень воздухоподогревателя; *11* — первая ступень водяного экономайзера; *12* — первая ступень воздухоподогревателя; *13* — дутьевой вентилятор, *14* — дымосос, *15* — щит управления; *16* — щит регулирующих приборов

новной площадке обслуживания (отметка 5,15 м) расположены щит измерительных приборов и управления и щит ав-

томатики. В связи с работой парогенератора на газе вспомогательное оборудование, предназначенное для пылевидного сжигания твердого топлива (пылеприготовление, шлакоудаление и золоулавливание), отсутствует, нижняя часть холодной воронки перекрыта шамотным кирпичом.

Однако конструкция парогенератора сохранила особенности, связанные с исполнением его на сжигание такого малореакционного топлива, как донецкий тощий уголь: зафутерована часть боковых экранов в области ядра факела, топка имеет неэкранированный предтопок. Это было направлено на улучшение условий воспламенения тощего угля, повышение температуры газовой среды в зоне воспламенения топлива.

На выходе из топки дымовые газы, пройдя фестон (разводку труб заднего экрана), омывают трубы конвективного котельного пучка, представляющего собой дополнительный контур естественной циркуляции. Установка в этом месте конвективного пучка выполнена с целью дополнительно снизить температуру дымовых газов перед змеевиками пароперегревателя. Это обусловлено высокой расчетной температурой продуктов сгорания донецкого тощего угля на выходе из топки. При сжигании газового топлива температура продуктов сгорания вверху топки значительно ниже. Чтобы обеспечить заданный нагрев пара в пароперегревателе (особенно при сниженных нагрузках парогенератора), в верхней части топки на фронтовой стенке была установлена дополнительная газовая горелка, поддерживающая необходимую температуру дымовых газов на выходе из топки.

Пароперегреватель конвективного типа расположен в горизонтальном соединительном газоходе. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель выполнены двухступенчатыми по высоте опускной конвективной шахты. Вторая ступень подогрева воздуха помещена между ступенями водяного экономайзера. Это было запроектировано и выполнено для получения более высокой температуры воздуха, необходимой для успешного сжигания донецкого тощего угля.

Дымовые газы после воздухоподогревателя отводятся теплоизолированным металлическим коробом, поднимающимся вдоль задней стены выше парогенератора, и затем по потолочным фермам помещения к дымососу. Дымосос установлен в пролете бункерной галереи на отметке 22,4 м (см. рис. 3.7). Он выбрасывает дымовые газы через соедини-

тельный короб в металлическую дымовую трубу, общую с парогенератором № 3.

Дутьевой вентилятор установлен внизу на отметке 0,00. Он забирает воздух в верхней части помещения и прогоняет его через воздухоподогреватель к горелкам топочной камеры.

Для наблюдения за работой, обслуживания и ремонта парогенератора стены топки, горизонтального газохода и опускной конвективной шахты имеют гляделки и лазы, а для безопасности при возникновении взрыва в топке в верхней части боковых стен горизонтального газохода установлены взрывные клапаны.

Вес всех деталей парогенератора передается на металлический каркас, который не связан с несущими конструкциями здания и опирается на самостоятельный фундамент. Каркас состоит из колонн, опорных горизонтальных балок, соединительных ригелей, стоек, кронштейнов и т. п. Колонны обрамляют по углам предтопок, топку и конвективную шахту. Все элементы каркаса выполнены из стального фасонного проката (двутавров, швеллеров, уголков, полос, прутков) и жестко скреплены электросваркой.

3.2.1. Топочная камера и парообразующие экраны

Геометрия топки в разрезе видна на рис. 3.7. Топочная камера выполнена с предтопком, на фронтовой стене которого расположены основные горелки. Стены предтопка и передний скат холодной воронки не экранированы. Остальная поверхность топочной камеры (верхняя часть фронтовой стены, обе боковые и задняя стены топки, включая задний скат холодной воронки) экранирована. Нижние части боковых экранов на высоту 3,7 м закрыты огнеупорным фасонным шамотным кирпичом, образуя зажигательный пояс. Огнеупором закрыты также трубы фронтового экрана в области верхнего свода предтопка.

При сжигании газа зажигательный пояс и неэкранированный предтопок помогают поднять температуру продуктов сгорания в области пароперегревателя.

Топка оборудована двумя основными и одной вспомогательной газовыми горелками. Основные горелки установлены на фронтовой стене предтопка на отметке 9 м. Для улучшения смесеобразования и интенсификации горения в центре топки оси основных горелок направлены под углом 10° по отношению друг к другу в горизонтальной плоскости. Вспо-

могательная газовая горелка установлена необычно высоко — на отметке 13 м.

Ширина и глубина топки в свету (по обмуровке) равны: $a=3{,}25$ м, $b=3{,}4$ м. Высота топки от верхней кромки холодной воронки (места, где трубы заднего экрана становятся вертикальными) до середины фестона $\sim 8{,}8$ м. Объем топочной камеры 97 м^3. Тепловое напряжение объема топки при производительности парогенератора 30 т/ч составляет 270 кВт/м^3.

Парообразующие (или парогенерирующие) поверхности нагрева парогенератора расположены на стенах топочной камеры и состоят из семи самостоятельных контуров циркуляции: по два контура в каждом из боковых экранов, контур фронтового экрана, контур заднего экрана и контур конвективного котельного пучка. Общая эффективная радиационная поверхность топки составляет 94 м^2, радиационная поверхность экранов — 76 м^2.

Парогенератор № 4 имеет двухступенчатую схему испарения. Преимущества ступенчатого испарения изложены в п. 3.1.1. В отличие от парогенератора № 2 здесь второй отсек испарения выполнен внутри барабана, в левом его торце, за счет установки разделительной перегородки.

3.2.2. Циркуляционные контуры парогенератора

Рассмотрим схемы циркуляции каждого контура отдельно.

а) *Контур циркуляции фронтового экрана* (рис. 3.8). Опускные трубы контура циркуляции фронтового экрана (4 шт. диаметром 108×5 мм) выходят из чистого отсека барабана. По ним вода поступает в нижний коллектор экрана диаметром 273×24 мм и длиной 3,05 м, который находится над основными горелками на отметке 10,5 м.

Подъемные трубы проходят по своду предтопка (здесь они закрыты огнеупорным составом), далее экранируют верхнюю часть передней стены топки и входят в чистый отсек барабана. Экран состоит из 20 подъемных труб диаметром 83×4 мм, расположенных с шагом $s=150$ мм и расстоянием от осей труб до обмуровки $e=75$ мм. Общая высота экрана от оси коллектора до оси барабана составляет 7,65 м. Ввиду неравномерности теплового обогрева экранных труб по ширине топки фронтовой экран разделен на три самостоятельные секции для повышения надежности циркуляции. С этой целью в нижнем коллекторе экрана установлены две глухие вертикальные перегородки. Каждую секцию экрана можно

рассматривать как самостоятельный контур циркуляции. Ввиду уменьшения размеров секции неравномерность тепловосприятия труб в пределах секции снижается.

Коллектор подвешен к балке каркаса с помощью двух подвесок и двух кронштейнов. Для организации периодиче-

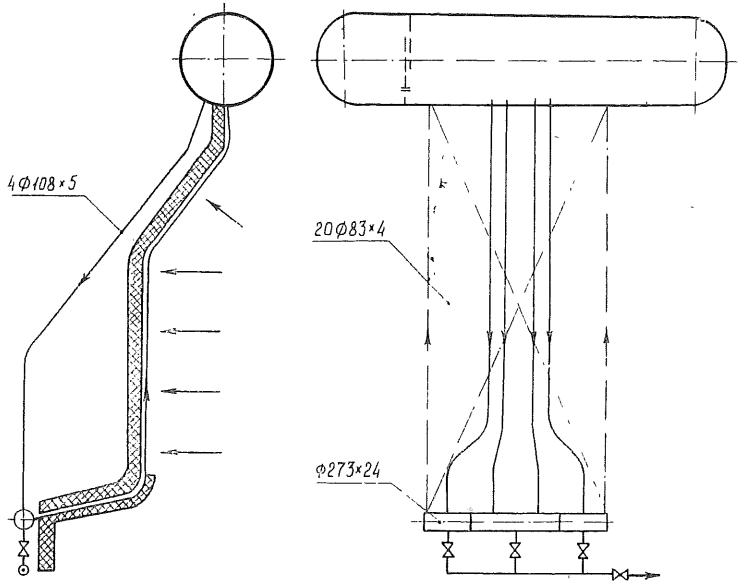


Рис. 3.8. Схема контура циркуляции фронтового экрана

ской продувки контура каждая секция коллектора имеет продувочную линию диаметром 19 мм.

б) *Контур циркуляции заднего экрана* (рис. 3.9). Опускные трубы контура циркуляции заднего экрана (6 шт. диаметром 108×5 мм) также выходят из чистого отсека барабана и вначале опускаются вдоль передней стены топки, затем переходят на боковые стены (по три трубы с каждой стороны), внизу выходят на заднюю стену топки и, опускаясь вдоль заднего ската холодной воронки, рассредоточенно входят в нижний коллектор. Коллектор диаметром 273×24 мм и длиной 3 м находится на отметке ~4,6 м.

Задний экран закрывает скат холодной воронки и поднимается вдоль задней стены топки. Он состоит из 29 труб

диаметром 83×4 мм с шагом $s=100$ м и расстоянием от осей труб до обмуровки $e=75$ мм. В верхней части подъемные трубы экрана образуют трехрядный фестон с шахматным

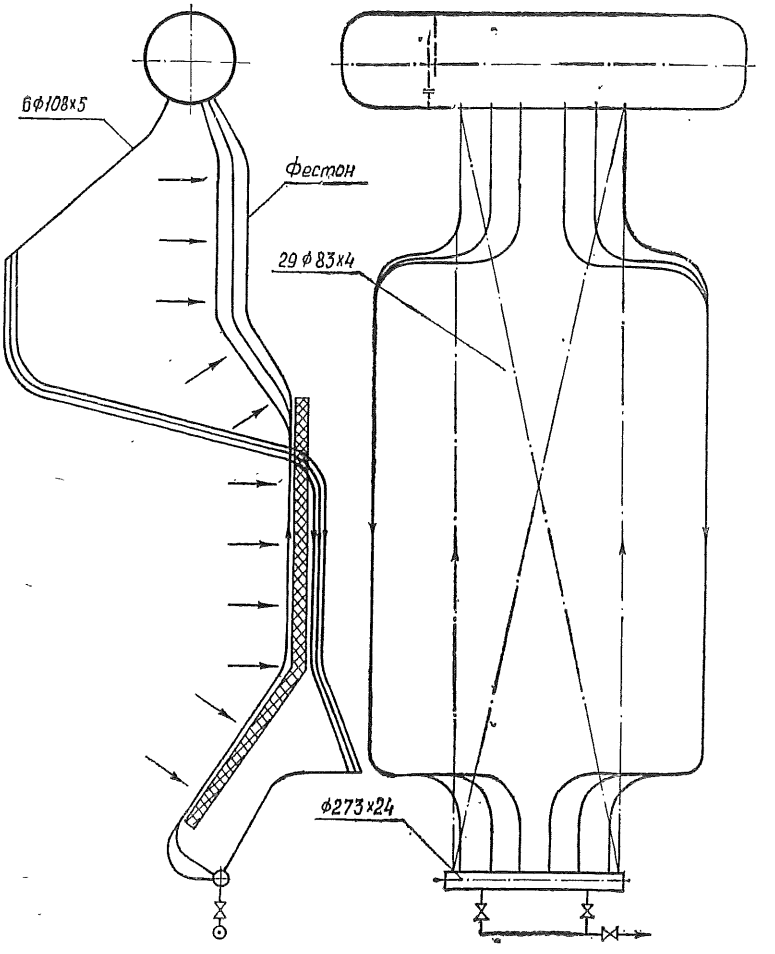


Рис. 3.9. Схема контура циркуляции заднего экрана

расположением труб. Шаг труб фестона по ширине топки $s_1=300$ мм и по ходу газов $s_2=255$ мм. Пройдя фестон, трубы заднего экрана входят непосредственно в чистый отсек барабана. Общая высота экрана от оси коллектора до оси

барабана составляет 13,5 м. Задний экран имеет более тесный шаг труб, чем другие экраны, так как при фронтовом расположении горелок ядро факела смещено к задней стене. Более плотный экран обеспечивает защиту обмуровки от перегрева.

Коллектор заднего экрана висит на опускных трубах, но имеет две опоры, допускающие перемещение его в вертикальном направлении до 30 мм (тепловое расширение экрана) и вдоль горизонтальной оси до 9 мм. Для организации периодической продувки коллектор снабжен двумя продувочными штуцерами диаметром 19 мм.

в) *Контуры циркуляции боковых экранов* (рис. 3.10). На каждой из боковых стен топки установлено по два самостоятельных циркуляционных контура: основного и дополнительного боковых экранов. Шаг экранных труб $s=150$ мм.

Контуры основных боковых экранов расположены ближе к задней стене топки. Левый из них включен во второй (солевой) отсек барабана. Его питание производится по 3 опускным трубам диаметром 108×5 мм. Нижний коллектор длиной 2,2 м расположен на отметке 5,65 м. 14 подъемных труб этого экрана входят в солевой отсек барабана. Правый основной боковой экран имеет аналогичное конструктивное оформление, но включен в чистый отсек барабана. Общая высота этих экранов от оси коллектора до оси барабана составляет 18,6 м.

Дополнительные боковые экраны имеют нижние (длиной 1,11 м) и верхние (длиной 1,16 м) коллекторы. Питание каждого из дополнительных боковых экранов производится из чистого отсека по двум опускным трубам. Нижний коллектор расположен на одной горизонтальной оси с коллектором основного бокового экрана. Экран выполнен из 7 подъемных труб диаметром 83×4 мм. Экранные трубы входят в верхний коллектор, установленный на отметке 16,3 м. Общая высота экрана между осями коллекторов составляет 10,65 м. Пароводяная смесь из верхних коллекторов отводится в барабан по 3 отводящим трубам диаметром 83×4 мм. При этом смесь из левого бокового экрана вводится в правую часть чистого отсека барабана, а из правого бокового экрана — в левую часть чистого отсека. Такой переброс пароводяной смеси предусмотрен для устранения повышенной концентрации солей в котловой воде правой части барабана. Поскольку переток воды из чистого отсека в солевой находится в левой части, то здесь концентрация солей в воде ниже, чем в правой.

Диаметр всех коллекторов боковых экранов 273×24 мм. Верхние коллекторы дополнительных боковых экранов установлены на каркасе неподвижно, а нижние коллекторы всех

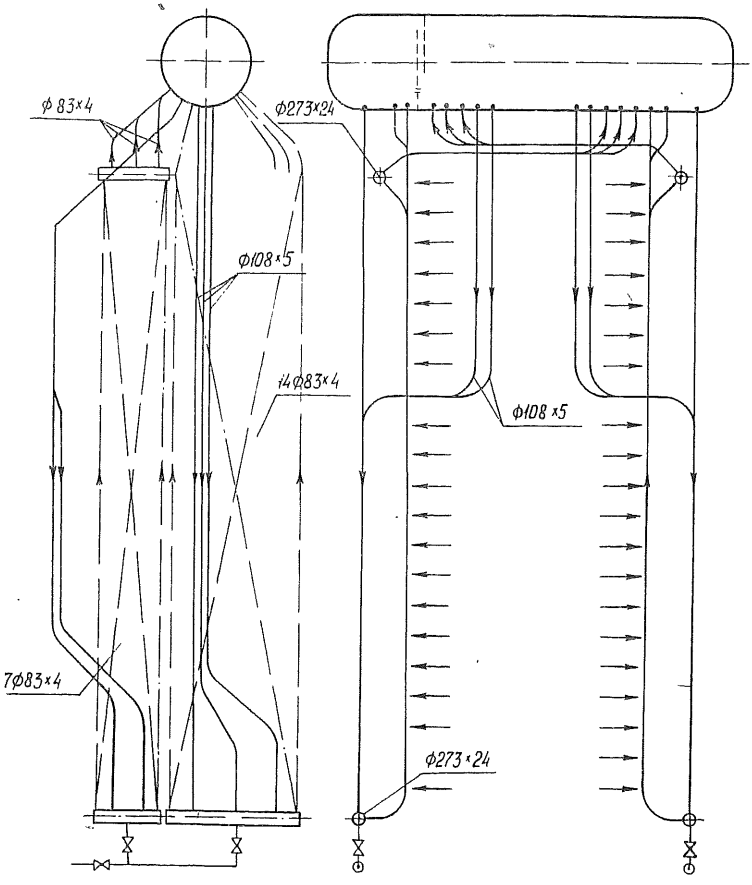


Рис. 3.10. Схема контуров циркуляции боковых экранов

боковых экранов имеют возможность свободного перемещения вследствие температурного удлинения труб. В нижних коллекторах имеются продувочные штуцеры диаметром 19 мм.

г) *Контур циркуляции конвективного котельного пучка* (рис. 3.11). Котельный пучок состоит из 27 подъемных труб

диаметром 83×4 мм, расположенных в шахматном порядке в три ряда. Шаг труб по ширине парогенератора $s_1 = 300$ мм, по ходу газов $s_2 = 250$ мм. Все трубы входят в чистый отсек барабана.

Питание котельного пучка осуществляется из чистого отсека барабана следующим образом. Шесть опускных труб

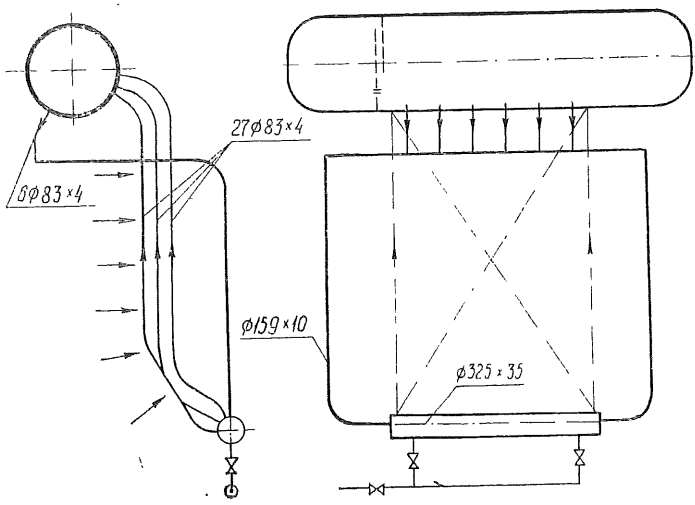


Рис. 3.11. Схема контура циркуляции конвективного пучка

диаметром 83×4 мм врезаны в трубу диаметром 159×10 мм, концы которой приварены к обоим торцам коллектора котельного пучка диаметром 325×35 мм и длиной 3,52 м. Таким образом, подвод воды из барабана к коллектору котельного пучка осуществляется с двух его торцов. Коллектор укреплен на каркасе парогенератора с помощью двух подвижных опор, допускающих его перемещение до 20 мм и имеет два продувочных штуцера диаметром 19 мм.

3.2.3. Барабан и внутрибарабанные устройства

Барабан *1* имеет внутренний диаметр 1496 мм при толщине стенки 52 мм (рис. 3.12 см. на вклейке в конце пособия). Длина цилиндрической части барабана 5800 мм. К торцам цилиндрической части приварены днища сферической формы. Днища имеют лазы, расположенные на уровне оси

барабана. Изготовлен барабан методом сварки из согнутых листов качественной углеродистой стали марки 20К.

Барабан установлен на каркасе парогенератора на двух роликовых опорах, расстояние между которыми 4600 мм. Конструкция опор позволяет барабану свободно удлиняться при повышении температуры от холодного состояния до температуры насыщения воды; удлинение барабана достигает 25 мм.

Опускные и подъемные трубы контуров естественной циркуляции подсоединены к барабану в нижней его части (под уровнем воды). Соединение выполнено с помощью вальцовки. В передней части барабана через два штуцера *2* на расстоянии 1900 мм вводятся трубы питательной воды (диаметр 83×4 мм). Штуцеры имеют «паровые рубашки», снимающие температурные напряжения в металле при наличии большой разности температур. Отвод насыщенного пара в пароперегреватель *12* выполнен в верхней средней части барабана, в зоне чистого отсека.

Парогенератор имеет две ступени испарения. Во вторую ступень испарения выделена левая часть барабана длиной 1062 мм. Солевой отсек отделен от чистого металлической перегородкой. Связь между отсеками по водяной стороне осуществляется с помощью проходящей через перегородку трубы *5* длиной 610 мм и диаметром 159 мм. Внутри трубы установлен диффузор, диаметр которого подобран таким образом, чтобы нормальный перепад уровней в чистом и солевом отсеках составлял 50 мм. Такой перепад исключает переток воды из солевого отсека в чистый в переходных режимах работы парогенератора. Нормальное положение уровня в чистом отсеке на 50 мм ниже оси барабана. Допустимое колебание уровня ±25 мм.

В чистом отсеке барабана установлено устройство *4* для промывки пара питательной водой. Промывочное устройство состоит из 13 корытообразных щитов, установленных поперек барабана над уровнем воды. Щиты шириной 280 мм зафиксированы с зазорами между ними 40 мм. Сверху над зазорами закреплены отбойные щитки. Питательная вода по двум трубам подается в питательный коллектор *3* диаметром 130 мм и длиной 3850 мм, установленный на 80 мм выше промывочного устройства. Из коллектора через прямоугольные выходные окна питательная вода равномерно выливается на щиты промывочного устройства, которые установлены с небольшим наклоном в сторону передней стенки барабана.

Со щитов вода сливается в водяной объем барабана. Пар с поверхности чистого отсека поступает под промывочное устройство, проходит через зазоры между щитами и слой питательной воды. Вступая в контакт с более чистой питательной водой, пар оставляет в воде мельчайшие капли влаги и часть растворенных в нем веществ и очищается.

Пар, получаемый в солевом отсеке барабана, проходит между двумя вертикальными перегородками, разделяющими отсеки, и направляется под промывочное устройство чистого отсека. Перед этим он за счет установки отбойных щитов трижды меняет направление движения, благодаря чему происходит выделение крупных капелек котловой воды с высоким солесодержанием из потока пара.

После промывки питательной водой пар осушается в паровом объеме чистого отсека за счет гравитационной сепарации капель влаги. Перед входом в пароотводящие трубы установлен дырчатый щит *9*, имеющий 15% живого сечения. С его помощью уменьшается «проскок» капель влаги в перегреватель и выравниваются подъемные скорости пара во всем объеме чистого отсека.

Отбор воды на непрерывную продувку производится через трубу *6* с отверстиями, установленную поперек барабана в водяном объеме солевого отсека. Вдоль водяного объема чистого отсека на стойках установлены трубы для ввода раствора фосфатов (*8*) и для отбора проб воды (*7*).

Труда *11* аварийного слива воды из барабана установлена в чистом отсеке. Нижний конец трубы находится на высоте, соответствующей нормальному уровню воды в барабане.

Сверху на барабане установлены два предохранительных клапана *10*, которые автоматически открываются при увеличении давления в барабане выше установленного предела (46,5 кгс/см^2). В этом случае часть пара выбрасывается через выхлопную трубу в атмосферу. При снижении давления предохранительные клапаны закрываются.

Для удаления воздуха из экранной системы и барабана при пуске котлоагрегата имеется специальный вентиль-воздушник.

Для наблюдения за уровнем воды в чистом и солевом отсеках к передней части барабана подсоединены патрубки водоуказательных колонок и сниженных указателей уровня.

Часть насыщенного пара из барабана отбирается на нужды ТЭЦ и на экспериментальные стенды. Для этого

имеется специальный паропровод, подсоединенный к паровому объему чистого отсека барабана.

3.2.4. Пароперегреватель, регулятор перегрева и паропровод в пределах парогенератора

а) *Пароперегреватель.* Общий вид пароперегревателя и схема движения пара представлены на рис. 3.13 и 3.14.

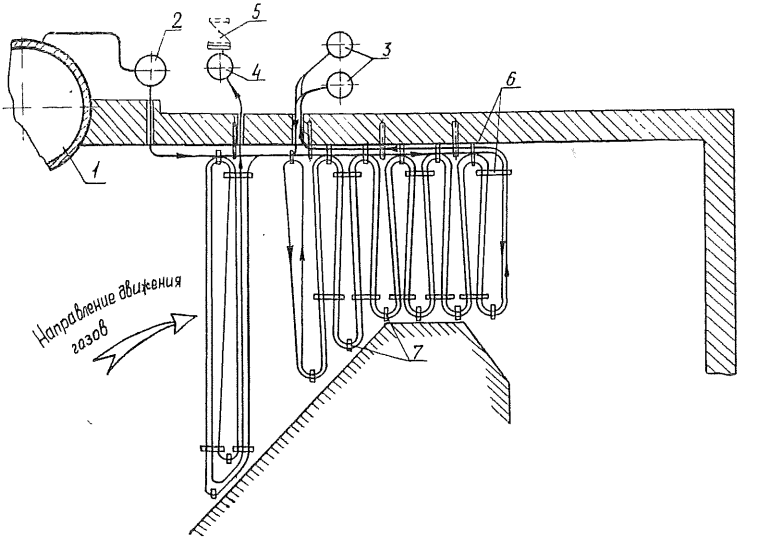


Рис. 3.13. Схема пароперегревателя парогенератора № 4: *1* — барабан; *2* — коллектор насыщенного пара (пароохладитель); *3* — промежуточные коллекторы; *4* — выходной коллектор; *5* — ГПЗ; *6* — хомуты; *7* — дистанционирующие гребенки

Общая поверхность нагрева пароперегревателя ($H_{пе}$ = =210 м²) состоит из двух ступеней: $H_{пеI}$ =140 м² и $H_{пеII}$ = =70 м².

Насыщенный пар из барабана по 27 трубам поступает во входной коллектор первой ступени, в котором размещен регулятор перегрева поверхностного типа. Из коллектора выходят 26 труб, которые, пройдя по потолку газохода, образуют затем змеевики первой ступени пароперегревателя со смешанным движением пара и газа (6 петель — противоток и 6 петель — прямоток).

Для уменьшения тепловой и гидравлической неравномерности по ширине пакета пар после первой ступени пароперегревателя перемешивается в промежуточных коллекторах, причем перед поступлением во вторую ступень происходит переброс потоков пара. Пар из 13 змеевиков первой ступени

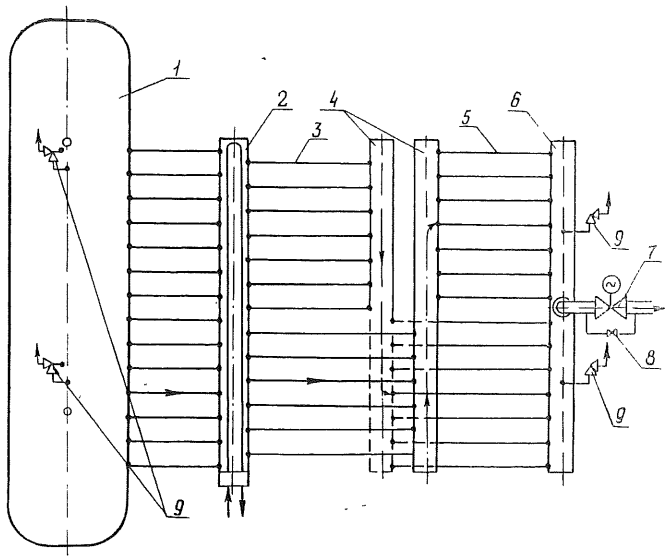


Рис. 3.14. Принципиальная схема движения пара в пароперегревателе парогенератора № 4: *1* — барабан; *2* — коллектор насыщенного пара (пароохладитель); *3* — змеевики первой ступени; *4* — промежуточные коллекторы; *5* — змеевики второй ступени; *6* — выходной коллектор; *7* — ГПЗ; *8* — байпас ГПЗ; *9* — предохранительные клапаны

левой стороны газохода поступает в нижний промежуточный коллектор (см. рис. 3.14), остальные 13 змеевиков первой ступени правой стороны подсоединены к верхнему коллектору. Пройдя вдоль коллекторов, пар из нижнего промежуточного коллектора поступает в 14 правых змеевиков второй ступени, а из верхнего — в 13 левых. Этим достигается выравнивание температуры пара при перекосах температуры дымовых газов по ширине газохода. Вторая ступень также выполнена со смешанным движением пара и газа. После второй ступени весь пар собирается в выходном коллекторе,

откуда через главную паровую задвижку и паропровод направляется в магистрали острого пара ТЭЦ. Главная паровая задвижка (ГПЗ) имеет обводную линию (байпас) с вентилем, предназначенную для прогрева паропровода при пуске парогенератора.

На выходном коллекторе пароперегревателя, как и на барабане, установлены два предохранительных клапана. Настройка срабатывания клапанов выполнена таким образом, что они открываются несколько раньше, чем клапаны на барабане (см. п. 3.1.4). Это обеспечивает охлаждение змеевиков пароперегревателя и сброс давления при внезапном уменьшении расхода пара на турбины и резком повышении давления в барабане.

Первая ступень пароперегревателя выполнена из труб диаметром 38×3,5 мм, вторая — 42×3,5 мм. Материал труб первой ступени — сталь 20 (противоток) и сталь 15ХМ (прямоток), во второй ступени использована сталь 15ХМ. Диаметр входного коллектора (пароохладителя) 325×35 мм, промежуточных — 237×35 мм. Материал выходного коллектора пароперегревателя — сталь 12ХМ, остальные коллекторы выполнены из стали 20.

Вес коллекторов пароперегревателя передается на каркас парогенератора с помощью опор, допускающих продольные удлинения коллекторов при температурных расширениях. Верхние петли змеевиков пароперегревателя крепятся металлическими хомутами к потолочным трубам пароперегревателя. Последние в свою очередь подвешены к балкам верхнего перекрытия каркаса. Нижние петли пакетов дистанционированы в поперечном направлении гребенками из жаропрочного металла. В продольном направлении змеевики пароперегревателя фиксированы хомутами, охватывающими соседние петли вверху и внизу.

б) *Пароохладитель (регулятор перегрева пара).* Регулятор перегрева пара поверхностного типа (рис. 3.15) расположен внутри входного коллектора первой ступени пароперегревателя. Поверхность теплообмена пароохладителя ($H_{по}$ = =6 м^2) образована 12 петлями труб диаметром 25×3 мм. Для того, чтобы пар равномерно омывал все трубы пароохладителя, в паровом пространстве установлена направляющая продольная перегородка. Расстояние между трубами фиксируется дистанционирующими поперечными диафрагмами. Концы труб закрепляются в трубной доске. Трубная доска и крышка пароохладителя образуют между собой во-

дяную камеру, разделенную на две части горизонтальной перегородкой. В одну часть подается, а из другой удаляется охлаждающая вода, в качестве которой используется питательная вода перед поступлением в экономайзер. Увеличение расхода питательной воды через пароохладитель приводит к

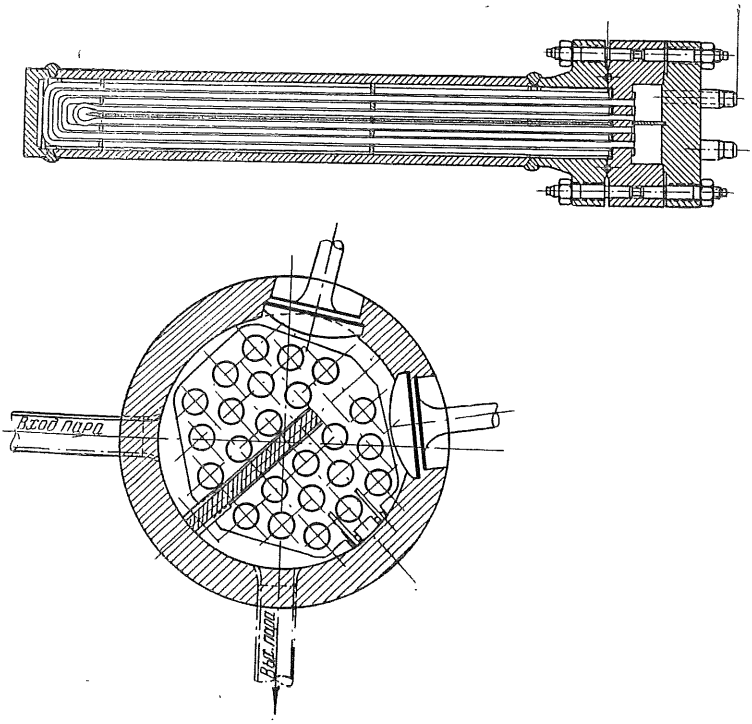


Рис. 3.15. Пароохладитель — регулятор перегрева парогенератора № 4

повышению влажности пара и в конечном итоге снижает температуру перегретого пара на выходе из пароперегревателя.

Включение пароохладителя в коллектор насыщенного пара приводит к большому запаздыванию в регулировании температуры пара на выходе из пароперегревателя. Оно обусловлено временем прохождения пара по всему тракту, но главным образом затратой времени на изменение температуры металла всего пароперегревателя в соответствии с установлением новой температуры пара.

в) *Паропровод.* Главный паропровод выполнен из трубы диаметром 194×19 мм, материал — сталь 12ХМ. Паропровод рассчитан на рабочее давление пара 43 кгс/см² и температуру перегретого пара $t_{пе}$ = =475° С. На паропроводе имеются штуцеры для отбора проб пара, измерения давления и температуры, диафрагма для измерения расхода перегретого пара, два воздушника для обеспаривания при останове парогенератора на ремонт.

Главный паропровод опускается к магистралям острого пара ТЭЦ вдоль задней стены здания. Крепление паропровода осуществлено при помощи простых и пружинных подвесок.

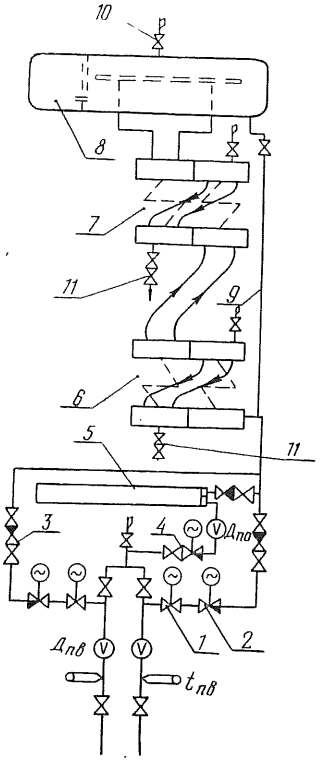


Рис. 3.16. Схема трубопроводов питательной воды и водяного экономайзера парогенератора № 4: *1* — задвижка с электроприводом *2* — регулирующий клапан; *3* — обратный клапан; *4* — клапан, регулирующий подачу воды в пароохладитель; *5* — пароохладитель; *6, 7* — ступени водяного экономайзера; *8* — солевой отсек барабана; *9* — линия рециркуляции; *10* — воздушник; *11* — дренаж

3.2.5. Питательные трубопроводы и водяной экономайзер

Схема питательных трубопроводов парогенератора № 4 представлена на рис. 3.16. Питательная вода поступает по двум трубопроводам диаметром 89×4 мм, отходящим от основных питательных магистралей.

Трубопроводы поднимаются к площадке, расположенной перед барабаном. Здесь установлены узлы регулирования питания. В период создания этого котла еще не было надежных приборов, автоматически поддерживающих уровень воды в барабане. Предполагалось, что это будет

делать специальный дежурный по водомерному стеклу у барабана. Сейчас на каждом питательном трубопроводе установлены запорные задвижки, регулирующие вентили, клапаны автоматического регулирования расхода питательной воды и обратные клапаны. Перед этой арматурой питательные трубопроводы соединены перемычкой, предусмотренной для отвода части питательной воды на пароохладитель. Количество подаваемой на пароохладитель воды регулируется клапаном автоматического регулятора перегрева. После пароохладителя вода смешивается с основным потоком питательной воды у входного коллектора первой ступени экономайзера. Обе ступени водяного экономайзера выполнены двухходовыми по воде. Это сделано для увеличения скорости движения воды в горизонтальных змеевиках экономайзера. Скорость воды должна быть достаточной для постоянного смыва выделяющихся с повышением температуры пузырьков кислорода (более 0,5 м/с), которые при длительном контакте со стенкой трубы вызывают язвенную коррозию металла. Пройдя обе ступени водяного экономайзера, питательная вода по двум трубопроводам направляется в барабан котла. Линия рециркуляции, соединяющая водяной объем барабана с входным коллектором экономайзера, защищает змеевики водяного экономайзера от перегрева во время пуска и останова парогенератора, когда нет постоянного расхода питательной воды. Открытием разделительной задвижки на этой линии организуется контур естественной циркуляции воды через змеевики водяного экономайзера.

Каждая ступень водяного экономайзера (рис. 3.17 см. на вклейке в конце пособия) выполнена из 35 стальных труб диаметром 32×3. Трубы расположены в конвективной шахте в два ряда в шахматном порядке и образуют горизонтальные змеевики с восходящим движением воды параллельно фронту парогенератора. Входные и выходные коллекторы расположены вдоль правой боковой стены шахты. В первой ступени каждый ряд труб делает 6 петель, во второй — 4. Поверхность нагрева первой ступени $H_{вэI} = 136$ м^2; второй — $H_{вэII} = 91$ м^2.

Трубы первой ступени с помощью металлических полос, охватывающих змеевики, подвешены к двум балкам, которые проходят внутри газохода на расстоянии 1,7 м друг от друга поперек змеевиков экономайзера и опираются на внешний каркас. Трубы второй ступени с помощью стоек опираются на такие же балки. Подвески и стойки передают

вес на балки и фиксируют продольный и поперечный шаги змеевиков, допуская их температурное удлинение. Балки выполнены пустотелыми из двух швеллеров с внешней тепловой изоляцией. Это позволяет обеспечить охлаждение балок за счет протока воздуха через внутреннюю полость.

Коллекторы экономайзера имеют диаметр 273×4 мм, длину — 1,6 м. В связи с двухходовым движением воды в экономайзере все коллекторы имеют глухие внутренние перегородки. Для удаления воздуха при заполнении котла водой на верхних коллекторах каждой ступени имеются воздушники. В нижней части коллекторов имеются штуцеры для крепежных трубопроводов. Трубы водяного экономайзера выходят из коллектора в четыре ряда. Это сделано для того, чтобы рассредоточить отверстия и повысить прочность стенок коллектора.

3.2.6. Воздухоподогреватель

Воздухоподогреватель парогенератора № 4 состоит из двух ступеней. В каждой ступени с помощью промежуточной трубной доски сделано по два хода воздуха (рис. 3.18 см. на вклейке в конце пособия).

Поверхность нагрева выполнена из стальных вертикальных труб диаметром 40×1,5 мм. Дымовые газы движутся сверху вниз внутри труб, воздух движется горизонтально и омывает трубы в поперечном направлении. Трубы установлены в шахматном порядке, концы их вварены в трубные доски.

Воздух забирается дутьевым вентилятором в верхней части здания и направляется в первую (нижнюю) ступень воздухоподогревателя. Ввод воздуха производится через заднюю стенку конвективной шахты по всей ее ширине. Пройдя два хода в первой ступени, воздух по соединительному коробу поступает во вторую ступень. Горячий воздух после второй ступени по круглому воздуховоду направляется вниз — к горелкам парогенератора.

Каждая ступень воздухоподогревателя состоит из 1568 труб. Длина труб первой ступени 2,5 м, второй — 3,8 м. Поперечный шаг труб (по ходу воздуха) $s_1=68$ мм, продольный шаг $s_2=48$ мм. Поверхность теплообмена первой ступени $H_{\text{вп I}}=464$ м², второй — $H_{\text{вп II}}=702$ м².

Снизу каждая ступень опирается на каркас, а сверху соединяется с газоходом соответствующей ступени водяного экономайзера через линзовые компенсаторы, обеспечивающие удлинение труб воздухоподогревателя и плотность в

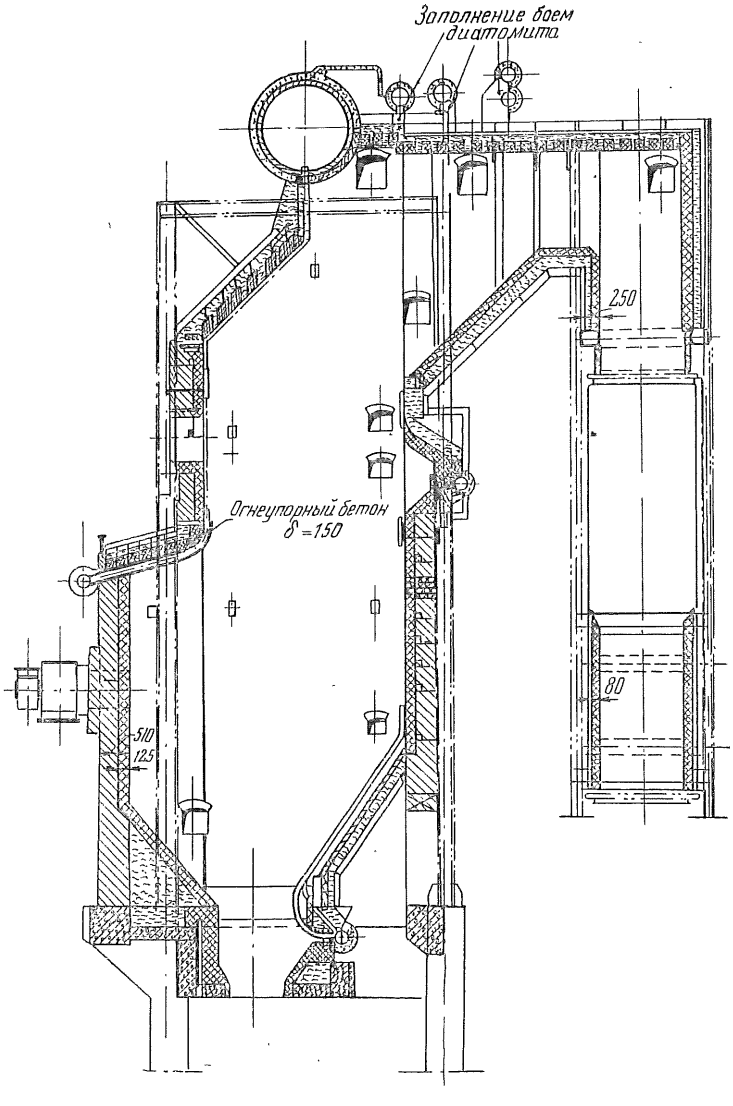


Рис. 3.19. Обмуровка парогенератора № 4

месте подвижного соединения. Такого же типа компенсаторы температурных расширений предусмотрены на коробе, соединяющем ступени воздухоподогревателя, и на коробе горячего воздуха. На коробах перед горелками имеются шиберы, регулирующие распределение горячего воздуха.

3.2.7. Обмуровка парогенератора

На небольших по паропроизводительности парогенераторах в основном выполняют кирпичную обмуровку. Сначала монтируют трубные поверхности контуров циркуляции и другие поверхности нагрева, а затем производят обмуровку снаружи огнеупорным кирпичом. Так выполнена обмуровка и данного парогенератора (рис. 3.19). Стены топки выполнены толщиной 510 мм (2 кирпича), при этом внутренняя сторона выложена огнеупорным (шамотным) кирпичом с толщиной слоя 125 мм (1/2 кирпича), наружная сторона — из теплоизоляционного (диатомового) кирпича с толщиной слоя 385 мм (1,5 кирпича). Теплоизоляционный слой имеет меньшую теплопроводность, чем огнеупорный материал, однако не выдерживает высокой температуры.

Наклонный потолок предтопка подвешен к каркасу. Обмуровка потолка состоит из огнеупорного бетона толщиной 150 мм и теплоизоляционной набивки. Потолок топки и горизонтального газохода также подвесного типа. Они выполнены из фасонных шамотных кирпичей с изоляционной засыпкой и обмазкой.

Зона конвективных газоходов до водяного экономайзера имеет обмуровку толщиною 315—250 мм, состоящую пополам из огнеупора и из теплоизоляционного кирпича. В зоне водяного экономайзера обмуровка состоит из огнеупорного материала толщиной 80 мм.

Нижняя часть барабана, обращенная в топочную камеру, заторкретирована между трубами огнеупорным материалом толщиной 100 мм.

Для исключения присосов воздуха в топку снизу устье холодной воронки наглухо перекрыто огнеупорным кирпичом.

Наружная поверхность барабана, всех коллекторов, опускных труб, питательных трубопроводов, корпуса воздухоподогревателя и коробов горячего воздуха покрыта слоем тепловой изоляции. Эта защита значительно уменьшает потери тепла в окружающую среду и исключает возможность получения ожогов обслуживающим персоналом.

Контрольные вопросы к главе 3

1. Для чего предусмотрена продувка нижних коллекторов экранов?
2. С какой целью вспомогательная горелка на парогенераторе № 4 установлена существенно выше основных?
3. Чем определяется различие в компоновках поверхностей конвективной шахты парогенераторов № 2 и 4?
4. За счет чего получается разность уровней в чистом и солевом отсеках?
5. Где больше разряжение — вверху или внизу топки?
6. В какой ступени воздухоподогревателя парогенератора № 4 больше скорость продуктов сгорания и воздуха? В какой ступени больше разность давлений между воздухом и газами?
7. Чем опасно снижение (превышение) уровня воды в барабане ниже (выше) установленного предела?
8. В каком месте тракта продуктов сгорания наибольшее содержание кислорода?
9. Как влияют на работу парогенератора неплотности между газовым и воздушным трактами воздухоподогревателя?
10. Почему в экономайзере применена схема противотока, а в пароперегревателе — схема с параллельно-смешанным током?
11. Как изменится движущий напор в контуре естественной циркуляции при снижении нагрузки парогенератора?
12. С учетом каких факторов выбирается величина продувки парогенератора?

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАЩЕНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА

4.1. Продувка и дренажи парогенераторов

При работе под нагрузкой, пусках и остановах парогенератора часть воды необходимо выводить из него (дренировать) в виде различных продувок. Последние разделяются на периодические и непрерывные. Непрерывная продувка осуществляется из второй ступени испарения барабана на парогенераторе № 4, и из циклонов на парогенераторе № 2. С непрерывной продувкой удаляются растворенные и взвешенные в кипящей воде вещества. Непрерывная продувка производится с целью снижения общего солесодержания воды и тем самым предотвращения отложения веществ на поверхностях нагрева парогенератора и уменьшения загрязнения пара.

Периодическую продувку производят для удаления взвешенных в воде веществ, скапливающихся в виде шлама в нижних частях барабана, в выносных циклонах, нижних коллекторах экранов и водяного экономайзера. Кроме того, ей пользуются в период растопки для слива воды при необходимости понижения ее уровня в барабане, а также для устранения неравномерности в прогреве экранных труб.

Для удаления конденсата, образующегося в начальный период растопки и при останове парогенератора, коллекторы пароперегревателя и паропровод оборудуют дренажными линиями, которые используются только во время пуска и останова парогенератора.

На рис. 4.1 (см. вклейку в конце пособия) представлена принципиальная схема продувок и дренажей парогенераторов. Основное внимание уделяется уменьшению потерь тепла и рабочего вещества с продувкой. С этой целью в схему включены специальные аппараты: сепаратор непрерывной продувки (СП), растопочный сепаратор (РС) и водоводяной теплообменник (ВВТ).

Непрерывная продувка парогенератора № 2 производится из выносных циклонов несколько выше места выхода опуск-

ных труб. В этих же точках производится отбор проб воды. На каждом трубопроводе у циклона установлен запорный вентиль, а на общей линии непрерывной продувки — датчик расходомера, регулятор продувки, запорные вентили и обратный клапан. Размер непрерывной продувки на парогенераторе № 2 автоматически поддерживается пропорциональным величине расхода пара. Количественное значение этого соотношения определяется в результате теплохимических испытаний парогенератора.

Непрерывная продувка парогенератора № 4 производится из солевого отсека барабана. На трубопроводе установлены регулирующие и запорные вентили и обратный клапан. Расход непрерывной продувки регулируется вручную (по указаниям сотрудников химлаборатории ТЭЦ).

Вода непрерывной продувки парогенераторов направляется в сепаратор непрерывной продувки, давление в котором поддерживается на уровне 6 кгс/см^2. Пар из сепаратора поступает в линию собственных нужд ТЭЦ, а горячая вода идет в водоводяной теплообменник, где ее тепло передается добавочной воде, идущей на химводоочистку. Из теплообменника сильно минерализованная продувочная вода сливается в расширитель дренажей (РД), в котором понижаются давление и температура поступающих потоков, и далее сбрасывается в ливнесток. В начальный период работы после длительного простоя парогенератора непрерывная продувка, сильно загрязненная шламом, может непосредственно направляться в расширитель дренажей.

Схема периодической продувки выполнена следующим образом. Отдельные продувочные или дренажные (для полного слива воды) трубопроводы выходят из нижних коллекторов каждой секции экранов, из коллекторов ступеней экономайзера, из нижних точек (донышек) выносных циклонов и собираются в сборные дренажные коллекторы парогенераторов. К этим же коллекторам присоединяются линии аварийного слива воды из барабанов, идущие из чистых отсеков. На дренажных трубопроводах установлено по два вентиля — регулирующий и запорный. Дренажный коллектор парогенератора № 2 расположен на отметке обслуживания перед фронтовой стеной несколько ниже коллектора фронтового экрана. Дренажный коллектор парогенератора № 4 выполнен в виде кольца и расположен в зоне холодной воронки. Из дренажных коллекторов периодическая продувка направляется в расширитель дренажей. Потери тепла и рабочего ве-

щества с этой продувкой незначительны, так как она проводится сравнительно редко и кратковременно. Дренажи пароперегревателя и паропроводов представляют собой чистый конденсат пара, поэтому его желательно сохранить для последующего использования. В связи с этим дренажи паропровода и коллекторов перегревателя направляются в растопочный сепаратор, откуда конденсат сливается в бак нижних точек (БНТ). Из него вода направляется на очистку и затем в деаэратор. Дренажи пароперегревателя и паропровода можно направлять также в общий расширитель дренажей. Этот путь используется при продувке пароперегревателя в начальный период растопки, когда из него удаляются загрязнения, определяемые стояночной коррозией.

Для промывки пароперегревателей и консервации в период длительного простоя используется вода из питательных магистралей. Вентили на подводе воды во время работы парогенератора закрыты; кроме того, для гарантированной плотности устанавливается специальная проглушка.

На питательных магистралях, дренажных и других линиях, связанных с паровым и водяным объемами парогенератора, устанавливают обратные клапаны. Такой клапан пропускает воду только в одном направлении и автоматически перекрывает магистраль при останове или обратном движении среды. Это достигается подводом основного (разрешенного) направления движения под клапан, имеющий сверху пружину. Движущаяся вода своим напором открывает клапан, сжимая пружину. При исчезновении напора клапан закроется. Обратные клапаны устанавливают на магистралях, обратное движение среды в которых может вызвать аварию или несчастные случаи.

4.2. Газовоздушный тракт

Газовоздушный тракт представляет собой непрерывную последовательность элементов оборудования парогенератора для транспорта воздуха и дымовых газов от узла забора холодного воздуха и до дымовой трубы. На рис. 4.2 представлена схема газовоздушного тракта парогенератора № 2, которая не имеет принципиальных отличий от аналогичной схемы парогенератора № 4.

Забор холодного воздуха производится в верхней части парогенераторного отделения. Всасывающий короб холодного воздуха проходит вертикально вдоль задней стены здания и подводится к дутьевому вентилятору, установленному на

нулевой отметке. Затем воздух под напором вентилятора проходит через воздухоподогреватель (два хода). Горячий воздух после воздухоподогревателя подается к горелкам

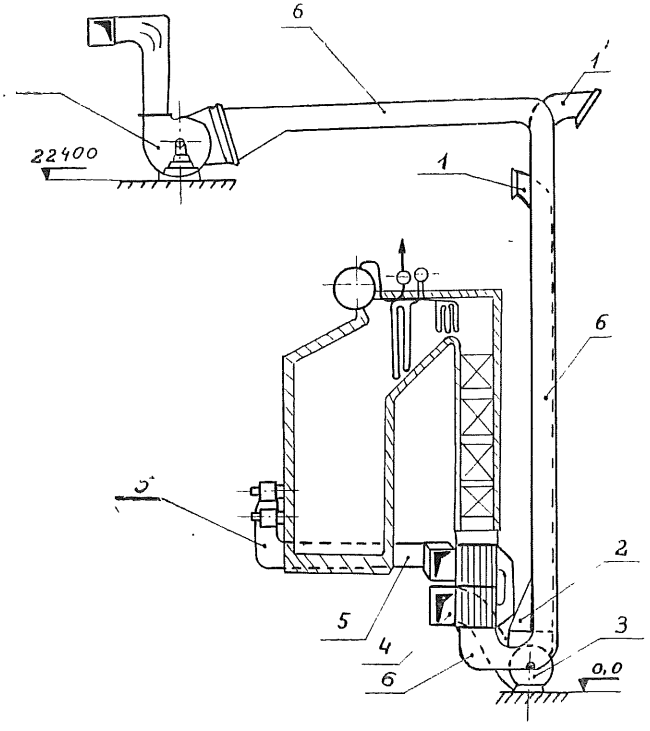


Рис. 4.2. Схема газовоздушного тракта парогенератора № 2: *1* — забор воздуха вентилятором; *1'* — то же в зимнее время; *2* — подвод холодного воздуха к вентилятору; *3* — дутьевой вентилятор; *4* — короб холодного воздуха перед воздухоподогревателем; *5* — короб горячего воздуха; *6* — отвод дымовых газов к дымососу; *7* — дымосос

двумя коробами справа и слева, огибающими топочную камеру выше отметки обслуживания и подающими воздух соответственно к правым и левым горелкам.

На парогенераторе № 4 воздух проходит две ступени воздухоподогревателя. Короб горячего воздуха от второй ступени опускается вертикально вниз слева от кон-

вективной шахты, проходит под отметкой обслуживания и далее разветвляется на три короба, идущие снизу к каждой горелке.

Продукты сгорания, пройдя топку, горизонтальный и опускной газоходы с расположенными в них конвективными поверхностями, поступают в отводящий короб. По нему дымовые газы проходят вертикально вверх, вдоль задней стены рядом с коробом холодного воздуха, затем горизонтально над парогенераторами и поступают в дымососное помещение. Каждый парогенератор ТЭЦ МЭИ имеет по одному дымососу. На современных парогенераторах большой мощности устанавливают по два дымососа.

Участок газового тракта от топки до дымососа находится под разрежением: вначале небольшим на выходе из топки (2—3 мм вод. ст.) и максимальным перед дымососом (около 100 мм вод. ст.). Участок воздушного тракта от дутьевого вентилятора до горелок находится под давлением, создаваемым вентилятором и уменьшающимся по мере движения воздуха по воздушному тракту до горелок. Напор горячего воздуха у горелок зависит от нагрузки парогенератора и составляет обычно 100—250 мм вод. ст. За счет повышения температуры в топочной камере объем дымовых газов значительно увеличивается. Дымосос удаляет дымовые газы с такой интенсивностью, чтобы на выходе из топки при любой нагрузке поддерживалось небольшое постоянное разрежение. Такая схема организации дутья и тяги называется уравновешенной. Поскольку весь газовый тракт оказывается под разрежением, исключается выброс дымовых газов через неплотности в помещения электростанции, однако при этом могут иметь место присосы холодного воздуха в газовый тракт.

На рис. 4.3 представлена структурная схема тягодутьевой установки парогенераторов ТЭЦ МЭИ. При одинаковых размерах толщина лопаток рабочего колеса дымососа больше толщины лопаток дутьевого вентилятора ввиду повышенной скорости износа при работе на озоленном потоке дымовых газов. С помощью направляющего аппарата регулируется производительность тягодутьевой машины за счет изменения угла входа потока на лопатки рабочего колеса. Это один из экономичных методов регулирования производительности дутьевых машин. Поворотные лопатки объединены общим регулировочным кольцом и поворачиваются все вместе от привода колонки дистанционного управления (КДУ), имеющей реверсивный электродвигатель.

Ходовая часть передает вращение от электродвигателя к рабочему колесу. Она состоит из литого разъемного корпуса с полостью для масла, вала, радиальных сферических двухрядных роликовых подшипников и упругой муфты. В полости для масла дымососов монтируется змеевик охлаждения.

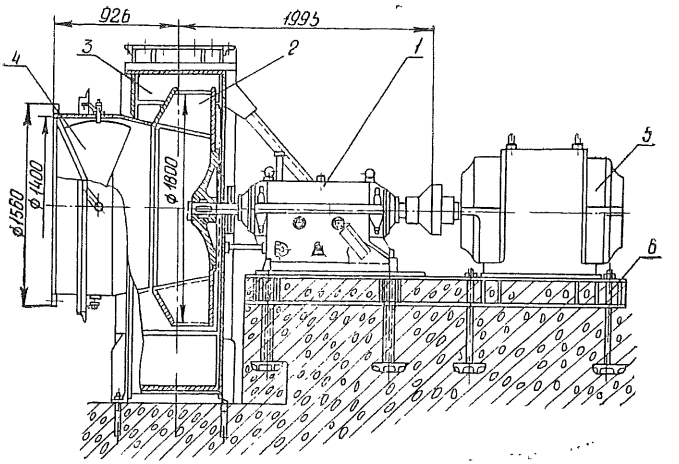


Рис. 4.3. Дымососная установка: *1* — ходовая часть; *2* — рабочее колесо; *3* — корпус дымососа; *4* — лопатки направляющего аппарата; *5* — электродвигатель; *6* — установочная рама

Контрольные вопросы по главе 4

1. На каких линиях следует устанавливать обратные клапаны и почему?
2. Объясните назначение сдвоенной арматуры на продувочных и дренажных линиях.
3. Почему с повышением паропроизводительности должна увеличиваться непрерывная продувка парогенератора?
4. Какую часть тепла теряет ТЭЦ в результате непрерывной продувки?
5. Будет ли одинаковым сопротивление опускного и подъемного газоходов при равных конструктивных, расходных и температурных характеристиках?

5. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Теплотехнический контроль необходим как для наблюдения за состоянием оборудования и процессами в парогенераторе, так и для регистрации показателей, необходимых при анализе работы оборудования. Автоматическое регулирование обеспечивает работу агрегата с наивысшим коэффициентом полезного действия при минимальном числе обслуживающего персонала.

5.1. Организация теплотехническоо контроля за работой парогенераторов

Приборы теплотехнического контроля и автоматического регулирования парогенераторов сосредоточены на щитах управления. На ТЭЦ МЭИ каждый парогенератор имеет индивидуальный щит управления. Щит управления включает в себя: оперативный щит, пульт управления, щит регуляторов, щит аварийной защиты.

Оперативный (тепловой) щит содержит основные приборы теплотехнического контроля работы парогенератора.

Оснащение парогенератора приборами теплотехнического контроля производится на основе следующих принципов:

а) параметры, требующие периодического контроля, а также те параметры, наблюдение за которыми необходимо при пуске, контролируются показывающими приборами;

б) параметры, отклонение которых от нормы может привести к выходу из строя технологического оборудования, контролируются сигнализирующими приборами;

в) для показателей, характеризующих экономичность работы парогенератора, устанавливаются самопишущие приборы.

На оперативном щите устанавливаются также приборы, необходимые для проведения испытаний парогенератора или

его элементов. Тип и число приборов в этом случае определяются характером испытаний.

Сигналирующие и самопишущие приборы снабжены показывающей частью, т. е. являются комбинированными. Наиболее ответственные параметры (давление и температура перегретого пара и питательной воды, уровень воды в барабане) выведены на приборы, которые являются показывающими, самопишущими и оборудованы сигнализацией. Приборы, показывающие давление в барабане, давление газа и воздуха перед каждой из горелок, установлены перед фронтом парогенератора на отметке обслуживания.

Пульт управления представляет собой горизонтальную панель, примыкающую к оперативному щиту (парогенератор № 4) или стоящую отдельно (парогенераторы № 2 и 3), на которой смонтированы блоки управления работой парогенератора. Каждый блок управления содержит переключатель (с автоматического на ручное дистанционное управление) и ключ ручного управления. С помощью ключа управления машинист парогенератора может воздействовать на регулирующие органы.

На пульте управления парогенератора № 4 сделана мнемоническая схема парогенератора с разноцветными линиями, изображающими паровой, водяной, газовый (топливный) тракты и тракт дымовых газов. На этих линиях расположены блоки управления, пусковые кнопки (тумблеры), лампочки, сигнализирующие о включенном (выключенном) состоянии дымососа, дутьевого вентилятора, основных задвижек и другого оборудования. На пультах управления расположена также система проверки световой и звуковой сигнализации.

На щите регуляторов смонтированы собственно регулирующие приборы. Их датчики расположены по месту на магистралях (линиях) парогенератора, и по их сигналам осуществляется регулирование параметров (расхода пара, воды, температуры нагрева и др.).

Щит аварийной защиты выполняется самостоятельно (парогенератор № 2) или совместно с оперативным щитом (парогенератор № 4). Здесь расположены приборы защиты и световые табло, надпись на которых высвечивается одновременно с подачей звуковой сигнализации при выходе некоторых параметров за пределы допустимых значений (см. подробнее в § 5.3).

5.2. Принципы автоматического регулирования парогенераторов № 2 и 4

Обслуживание парогенератора при стационарной его работе заключается в обеспечении заданной паропроизводительности и поддержании номинальных параметров пара. При этом эксплуатация агрегата должна вестись с наивысшим КПД при заданной нагрузке. Большое число одновременно регулируемых показателей, точность поддержания основных и промежуточных параметров для достижения высокой экономичности работы в условиях быстротечности протекающих процессов привели к необходимости применения автоматических систем регулирования (АСР).

5.2.1. Устройство автоматического регулятора

Функциональная схема регулятора представлена на рис. 5.1.

Первичный прибор *1* измеряет параметр, характеризующий регулируемую величину, и преобразует его в сигнал по-

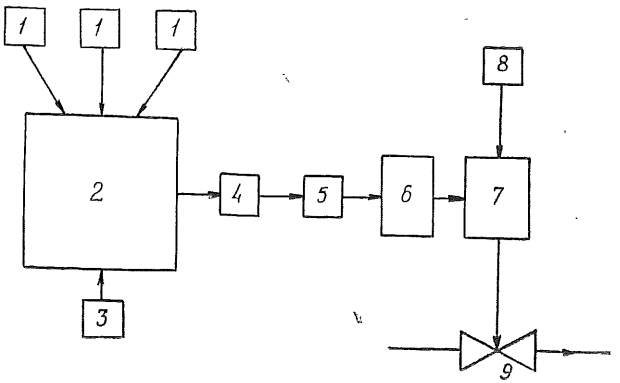


Рис. 5.1. Скелетная схема регулятора

стоянного или переменного тока частотой 50 Гц. Электрические сигналы от первичных приборов, пропорциональные величине отклонения параметров от нормы, подводятся к электронному регулирующему прибору *2*. Регулирующий прибор суммирует сигналы в заданном соотношении и усиливает выходной сигнал до величины, необходимой для управления пусковым устройством *6*. После срабатывания пускового

устройства исполнительный механизм *7* начинает перемещать регулирующий орган *9* в том направлении, которое соответствует восстановлению заданного параметра.

Функциональная схема регулятора также содержит: задатчик *3*, с помощью которого вводится в регулятор требуемое значение регулируемой величины, переключатель управления *4* для перевода с автоматического управления на ручное дистанционное и обратно, ключ управления *5* для ручного дистанционного управления[1], указатель положения регулирующего органа *8*. В качестве исполнительного механизма применены электромеханические сервомоторы. На сервомоторе устанавливается колонка дистанционного управления (КДУ). Внутри корпуса смонтированы контактные устройства, обеспечивающие отключение исполнительного механизма при достижении регулирующим органом крайних положений, а также потенциометрический датчик для определения положения регулирующего органа (в процентах от полного открытия).

5.2.2. Принципиальная схема автоматизации парогенератора № 2

Регулирование технологических процессов парогенератора обеспечивается несколькими регуляторами (рис. 5.2). При работе на электростанции нескольких парогенераторов согласование их работы определяется корректирующим регулятором (*КР*), служащим для поддержания заданного давления пара в общей паровой магистрали. Корректирующий регулятор автоматически изменяет задание регуляторам топлива таким образом, чтобы привести в соответствие количество пара, производимого парогенераторами и потребляемого турбинами. Корректирующий регулятор имеет задатчик (*З*), который позволяет установить требуемое значение давления пара в магистрали. Датчиком для *КР* служит чувствительный манометр (*ЧМ*).

Регулятор топлива или тепловой нагрузки (*РН*) изменяет расход топлива, получая следующие сигналы: а) по расходу пара из данного парогенератора, который измеряется дифференциальным манометром (*ДМ*); б) по скорости изменения давления в барабане, как показателя расхождения между выработкой и потреблением пара; этот сигнал измеряется и

[1] На парогенераторе № 2 вместо *4* и *5* установлен *БУ* (блок управления).

преобразуется в электрическое напряжение посредством дифманометра МЭД, а сигнал, пропорциональный скорости изменения давления, выдает ламповый дифференциатор (*ДЛ*); в) выходное напряжение корректирующего регулятора (*КР*).

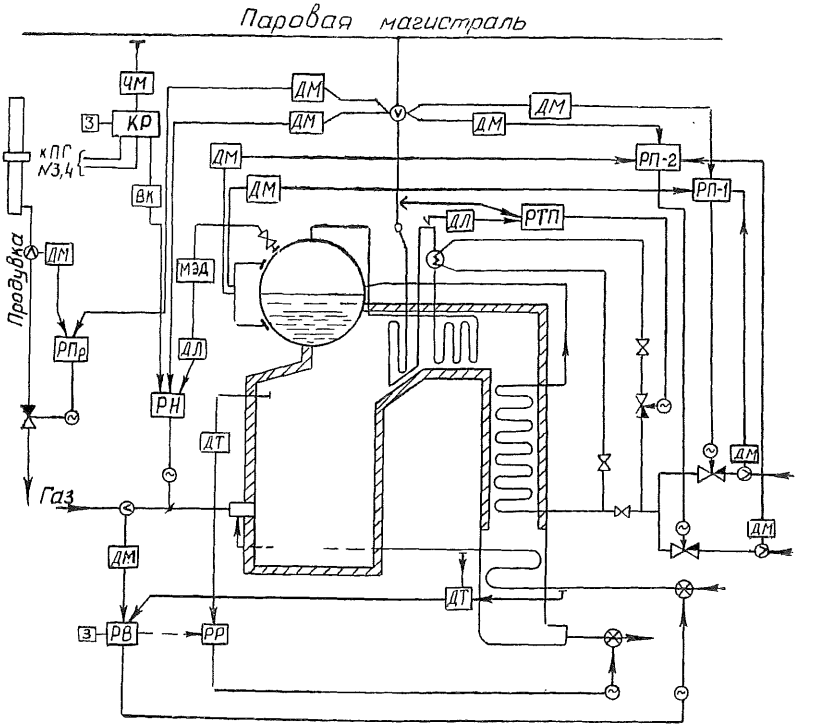


Рис. 5.2. Принципиальная схема автоматического регулирования парогенератора № 2

Сигналы от первичных приборов и корректирующего регулятора поступают к регулятору тепловой нагрузки (регулирующему прибору типа РПИБ-III), где они суммируются и усиливаются. Окончательный сигнал на изменение расхода топлива, выдаваемый регулирующим прибором, называется сигналом по теплу.

С помощью пускового устройства (*ВК*) можно отключить корректирующий регулятор. В этом случае регулятор нагрузки поддерживает постоянство нагрузки данного парогенератора.

Сигнал по скорости изменения давления в барабане значительно улучшает работу регулятора нагрузки в переходных режимах. Он быстрее реагирует на начавшееся изменение тепловой нагрузки и вступает в действие еще до заметного отклонения расхода пара. При установившемся режиме работы парогенераторов и турбин и заданном значении давления пара в магистрали сигналы, поступающие к регулирующему прибору, уравновешивают друг друга, и управляющий сигнал с выхода регулирующего прибора на вход *КДУ* не поступает. При изменении одного из поступающих на *РН* сигналов, вызванном тем или иным возмущением, баланс нарушается, появляется соответствующий сигнал на выходе регулятора, загорается лампочка (красная — больше, зеленая — меньше), при этом включается сервомотор *КДУ*, воздействующий на положение поворотной заслонки в газовой линии.

Регулятор подачи воздуха (*РВ*) поддерживает заданное соотношение между расходом топлива и расходом воздуха для обеспечения оптимального процесса горения топлива в топке.

На регулятор воздуха поступают следующие сигналы: а) по расходу топлива (газа) (первичным датчиком является дифференциальный манометр — *ДМ*); б) по гидравлическому сопротивлению воздухоподогревателя с воздушной стороны (измеряется дифференциальным тягомером — *ДТ*). Для изменения соотношения между расходом топлива и подачей воздуха в топку используется задатчик регулятора воздуха. Исполнительный механизм регулятора поворачивает лопатки направляющего аппарата во всасывающем коробе вентилятора и тем самым изменяет подачу воздуха.

Регулятор разрежения (*РР*) в топке служит для поддержания заданного давления (разрежения) в верхней части топки парогенератора путем регулирования отвода дымовых газов. Основным сигналом служит разрежение в верхней части топки. Устройства, формирующие сигнал, находятся с левой и правой стороны топки парогенератора. Затем сигнал поступает к дифференциальному тягомеру, от которого он в виде электрического напряжения подается к регулятору разрежения, исполнительный механизм которого поворачивает лопатки направляющего аппарата во всасывающем коробе дымососа, изменяя тем самым его производительность. Помимо основного сигнала, к регулятору разрежения подводится еще дополнительный — от регулятора воздуха,

который возникает только в моменты, когда включается регулятор воздуха. Вследствие этого обеспечивается синхронность в изменении подачи воздуха в топку и отвода продуктов сгорания из нее, и тем самым обеспечивается поддержание заданного разрежения в топке в переходных режимах работы парогенератора.

Регулятор питания (*РП*) обеспечивает подачу в барабан необходимого количества питательной воды в соответствии с количеством покидающего барабан насыщенного пара, при этом уровень воды в барабане должен оставаться неизменным или колебаться в небольших допустимых пределах. На парогенераторе № 2 установлено два регулятора питания (РП-1 и РП-2) — по одному на каждом трубопроводе питательной воды.

Регулятор питания выполнен по трехимпульсной схеме. Он получает следующие сигналы: а) по уровню воды в барабане; б) по расходу пара; в) по расходу питательной воды.

Датчиком каждого сигнала является дифманометр. Электрический сигнал от соответствующего датчика поступает на регулятор питания, где все сигналы суммируются, усиливаются и передаются через исполнительный механизм на регулирующий клапан, установленный на трубопроводе питательной воды.

Регулятор температуры перегретого пара (*РТП*) поддерживает заданную температуру за парогенератором путем изменения расхода воды на пароохладитель. Он получает два сигнала: основной — по отклонению температуры пара на выходе из пароперегревателя и дополнительный — по времени, пропорциональный производной от температуры пара за пароохладителем. Основной импульс поступает от термопары, установленный на паропроводе перегретого пара. Дополнительный сигнал позволяет исключить перерегулирование температуры за счет тепловой инерции перегревателя и повысить точность поддержания заданной температуры пара. Сигнал по температуре пара за пароохладителем поступает в дифференциатор *ДЛ*, который формирует электрический сигнал на вход регулятора *РТП* только при изменении температуры, а величина его определяется скоростью изменения температуры. Поступающие в регулятор сигналы суммируются и усиливаются. Исполнительный механизм воздействует на регулирующий клапан на линии подачи воды к пароохладителю.

Регулятор непрерывной продувки (*РПр*) предназначен для поддержания заданной концентрации солей в котловой воде в выносных циклонах. На регулятор продувки поступают сигналы по расходу перегретого пара и продувочной воды таким образом, чтобы при изменении нагрузки величина продувки изменялась пропорционально нагрузке. Исполнительный механизм воздействует на регулирующий клапан непрерывной продувки.

5.2.3. Принципиальная схема автоматизации парогенератора № 4

Автоматическое регулирование рабочих процессов осуществляется следующими регуляторами (рис. 5.3): а) тепловой нагрузки (*РН*); б) подачи воздуха (*РВ*); в) разрежения в топке (*РР*); г) питания парогенератора водой (*РП*). Регулирование температуры перегретого пара в настоящее время производится вручную изменением подачи газового топлива и воздуха в верхнюю горелку.

Три первые из перечисленных регуляторов (*РН*, *РВ* и *РР*) автоматически регулируют процесс горения в топке при изменении тепловой нагрузки.

Регулятор тепловой нагрузки (*РН*) изменяет подачу газового топлива в горелки, поддерживая тем самым постоянное давление вырабатываемого перегретого пара. При отклонении давления от установленного значения регулирующий прибор получает электрический сигнал от чувствительного манометра (*ЧМ*), измеряющего давление пара за главной паровой задвижкой. Знак сигнала (больше—меньше) определяется направлением изменения давления. Исполнительный механизм регулятора нагрузки воздействует на поворотную заслонку в газопроводе.

Регулятор подачи воздуха (*РВ*) обеспечивает подачу воздуха в соответствии с подачей газового топлива. Для этого регулирующий прибор получает два сигнала: один по расходу газа, второй — по расходу воздуха. Сигнал по расходу газа поступает от дифманометра (*ДМ*), измеряющего перепад давлений на измерительной диафрагме газопровода. Сигнал по расходу воздуха поступает от дифманометра, измеряющего гидравлическое сопротивление воздухоподогревателя по воздушной стороне. При появлении разбаланса регулятор воздействует на направляющий аппарат вентилятора, изменяя подачу воздуха.

Регулятор разрежения (*РР*) в топке поддерживает постоянную величину разрежения в верхней части топки во всех возможных режимах работы парогенератора. При отклонении разрежения от заданного значения первичный прибор — дифференциальный тягомер (*ДТ*) подает электрический сиг-

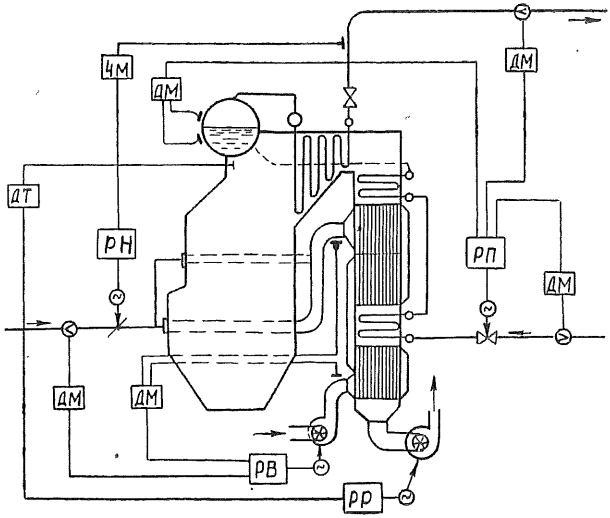


Рис. 5.3. Принципиальная схема автоматического регулирования парогенератора № 4

нал на колонку дистанционного управления, которая воздействует на направляющий аппарат дымососа, изменяя его производительность.

Регуляторы питания (*РП*) установлены на обеих питательных магистралях и поддерживают уровень воды в барабане без вмешательства персонала при нагрузках больше 8 т/ч. В работе обычно находится одна магистраль, другая в это время отключена и является резервной.

Регулирующий прибор является трехимпульсным: он получает сигналы по отклонению уровня воды в барабане от заданного значения, по расходу пара и по расходу воды. Датчиками служат дифманометры типа ДМ.

5.3. Технологическая защита, сигнализация и система электрической блокировки оборудования

Технологическая защита призвана при неполадках и авариях автоматически произвести необходимые переключения,

вплоть до полной остановки агрегата, и оповестить персонал о действии защиты. Кроме того, имеется технологическая сигнализация, которая призвана заблаговременно предупредить персонал об отклонениях режимных параметров от нормы. Ниже описаны эти системы (преимущественно для парогенератора № 2, как более современные).

Технологической защитой предусматриваются две категории действий: а) немедленный останов парогенератора; б) локальные операции.

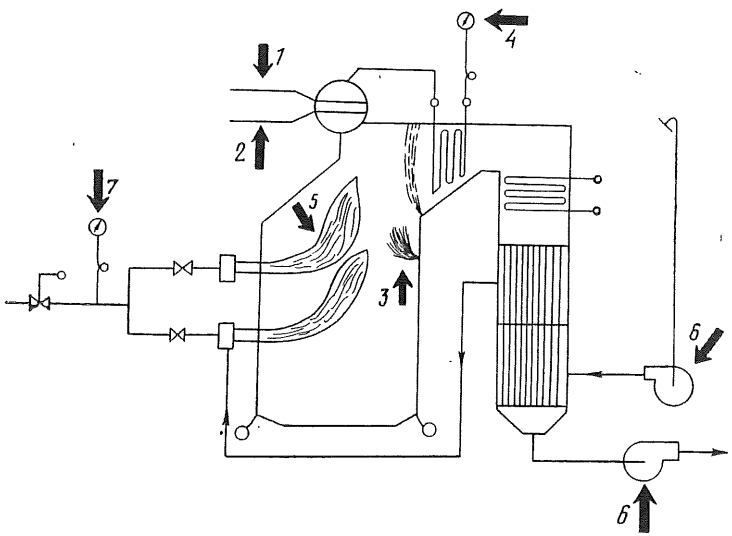


Рис. 5.4. Схема действия аварийной защиты парогенератора № 2

По ПТЭ и Правилам Госгортехнадзора парогенератор должен быть немедленно остановлен и отключен действием защит или персоналом в следующих случаях (рис. 5.4):

1) чрезмерное повышение уровня воды в барабане;

2) глубокий упуск уровня воды в барабане;

3) разрыв труб экрана или фестона (импульсом служит повышение давления в топке до 20 мм вод. ст.);

4) недопустимое повышение давления пара;

5) погасание факела в топке;
6) отключение дымососа или дутьевого вентилятора;
7) падение давления газа за регулирующей заслонкой до 40 мм вод. ст.;
8) взрыв в топке или газоходах, загорание горючих отложений, разогрев докрасна несущих балок каркаса, а также другие повреждения, угрожающие персоналу или оборудованию (в этих случаях парогенератор отключается дежурным персоналом).

При отключении парогенератора вследствие низкого уровня воды в барабане одновременно происходит закрытие задвижки на питательной линии. Это необходимо, так как при глубоком упуске уровня воды металл барабана и опускных труб может местами перегреваться, что грозит образованием трещин и разрывов при подаче более холодной воды.

Для исключения ложного срабатывания защиты в таких случаях, как останов агрегата при предельных изменениях уровня воды в барабане, предельном понижении температуры перегретого пара и давления горючего газа, предусмотрена установка двух комплектов приборов, контакты которых включаются последовательно.

В верхней части щита технологической защиты расположены 20 световых табло, отражающих состояние рабочих параметров системы защиты со следующими текстами:
— Упуск уровня;
— Перепитка барабана водой;
— Понижение температуры перегретого пара;
— Падение давления газа;
— Разрыв экранных труб;
— Падение давления воздуха перед горелками;
— Аварийный останов дымососа;
— Аварийный останов вентилятора;
— Обрыв факела;
— Аварийный останов котла;
— Аварийно высокое давление пара;
— Сброс нагрузки на 50%;
— Открылся вентиль аварийного слива;
— Нет напряжения в схеме защиты;
— Защиты, мешающие пуску, отключены;
— Все защиты отключены.

При повышении давления перегретого пара или повышении температуры пара выше нормы на парогенераторе № 2 подается команда на снижение нагрузки путем отключения

двух верхних горелок из четырех установленных. Одновременно накладывается запрет на сигнал «больше» регулятора тепловой нагрузки. Это один из видов локальной защиты оборудования.

При повышении уровня воды в барабане до установленной предельной величины дается команда на другую локальную операцию: срабатывает защита, действующая на открытие задвижки на линии аварийного слива воды из барабана. После снижения уровня до нормальной отметки задвижка на линии слива закрывается.

Технологическая сигнализация призвана заблаговременно оповестить персонал об опасном отклонении рабочих параметров от нормы. Для этой цели настройка сигнализации берется с известным запасом по отношению к предельным настройкам технологической защиты. Так, например, на парогенераторе № 4 защита, действующая на отключение парогенератора по уровню воды в барабане, настроена на предельные отклонения от норм (+150 и —140 мм), в то время как предупредительная сигнализация включается при +70 мм и при —70 мм.

При отклонении рабочих параметров сверх указанных включается сигнализация: освещается табло с кратким пояснением отклонения и включается звуковая сигнализация. Персонал принимает меры к восстановлению нормальных параметров. Если же отклонение параметров продолжается, то через определенное время срабатывает защита. При таких авариях, как разрыв экранных труб или погасание факела в топке, защита срабатывает сразу.

В верхней части панели оперативного щита парогенератора № 2 расположены 14 табло технологической сигнализации со следующими текстами:

— Перегрев подшипников вентилятора;
— Перегрев подшипников дымососа;
— Высока температура пара перед пароохладителем;
— Низко давление воздуха перед горелками;
— Низко давление газа перед горелками;
— Высоко солесодержание пара;
— Высока температура перегретого пара;
— Низка температура перегретого пара;
— Высоко давление перегретого пара;
— Низко давление питательной воды;
— Высок уровень в барабане котла;
— Низок уровень в барабане котла.

Оба сигнала технологической сигнализации (звуковой и световой) вступают в действие одновременно. Персонал обязан нажатием соответствующей кнопки погасить звуковой сигнал и немедленно принять меры по устранению неполадки. При этом в случае развития неполадки (аварии) или возникновения другой внимание персонала может быть снова привлечено звуковым сигналом (одновременно с новым световым). Гашение световых сигналов не предусмотрено и недопустимо. Эти сигналы прекращают свое действие лишь при переходе соответствующего параметра в нормальное положение.

Персонал обязан регулярно проверять состояние сигнализаций.

Контрольные вопросы к главе 5

1. Перечислите типы датчиков, применяемых в системе регулирования парогенератора.
2. Для каких измерений применяются дифманометры и дифтягомеры?
3. Перечислите регуляторы, связанные с процессом горения.
4. Как изменить для последующей работы коэффициент избытка воздуха, разряжение в верхней части топки, давление перегретого пара в магистрали?
5. Как будет работать регулятор нагрузки, если:

а) возросла нагрузка турбин?

б) повысилась теплота сгорания топлива?

в) снизилась температура питательной воды?

6. К какой категории действий технологической защиты относится работа паровых предохранительных клапанов?
7. Какая из защит срабатывает первой при росте давления пара: предохранительные клапаны или сброс нагрузки на 50%?

6. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

6.1. Основные положения правил технической эксплуатации парогенераторов и правил Госгортехнадзора

На все действующие электростанции, в том числе и на ТЭЦ МЭИ, распространяются «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ) и соответствующие правила Госгортехнадзора, которые при проектировании, изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте энергетического оборудования и в целом электростанций должны строго соблюдаться.

При эксплуатации парогенераторов должны обеспечиваться:

а) надежность работы всего основного и вспомогательного оборудования;

б) экономичный режим работы, установленный на основе испытаний заводских конструкций.

Все парогенераторы эксплуатируются по производственным местным инструкциям, которые составляются на основе указанных правил, и инструкции завода-изготовителя.

За металлом труб поверхностей нагрева, коллекторов и паропроводов парогенератора должно производиться систематическое наблюдение в соответствии с «Инструкцией по контролю и наблюдению за металлом паропроводов и пароперегревателей». Обмуровка парогенератора должна поддерживаться в исправном состоянии. При температуре окружающего воздуха 25°С температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55°С, потери тепла с поверхности обмуровки не должны превышать 300 ккал/(м^2·ч) (0,35 кДж/с).

Топка и весь газовый тракт парогенераторов должны быть плотными. Присосы воздуха в газовом тракте от выхода из пароперегревателя до выхода из дымососов не должны превышать 10% от теоретически необходимого количества воздуха (при трубчатом воздухоподогревателе). Контроль за присосами воздуха производится путем регулярного осмотра га-

зоходов и контрольных газовых анализов, производимых не реже одного раза в месяц, а также перед и после ремонта парогенератора.

При выводе парогенератора в резерв должны быть приняты меры по консервации пароводяного тракта. Спуск воды из остановленного парогенератора разрешается производить после снижения давления до атмосферного при температуре воды не выше 80°С. Надзор дежурного персонала за остановленным парогенератором должен производиться до полного снижения давления и снятия напряжения с электродвигателей.

Капитальный ремонт парогенератора проводится один раз в 3—4 года, а средний текущий ремонт — через 1,5—2 года.

На газовое хозяйство парогенераторов дополнительно распространяются правила Госгортехнадзора «Правила безопасности в газовом хозяйстве».

6.2. Правила пуска, обслуживания и останова парогенераторов № 2 и 4

6.2.1. Пуск парогенератора

Пуск парогенератора может производиться как из холодного, так и из горячего состояния. Растопка из холодного состояния может происходить: а) при пуске всей ТЭЦ после останова; б) при работающем другом парогенераторе с последующим включением растапливаемого парогенератора в параллельную работу на общую паровую магистраль.

Рассмотрим более подробно пуск в работу отдельного парогенератора. Пуск парогенератора производится по указанию начальника смены станции и под руководством старшего машиниста котельной, а после выхода из ремонта — под руководством начальника цеха или его заместителя. Перед растопкой парогенератора необходимо: обеспечить подачу напряжения на все его электрооборудование, освещение, приборы и систему автоматики, сигнализации и защиты; осмотреть изнутри топку и газоходы, убедиться в исправности обмуровки, взрывных клапанов, поверхностей нагрева; произвести внешний (наружный) осмотр всего парогенератора, его паропровода и арматуры, лестниц и площадок, приборов и состояние предохранительных клапанов; проверить исправность всего вспомогательного оборудования, включая дымосос и вентилятор, наличие в подшипниках масла, исправность заземления.

После выполнения указанных операций производится сборка растопочной схемы. Должны быть закрыты все продувочные и дренажные вентили коллекторов экранов, экономайзера, пароохладителя, пароперегревателя, а также на питательных трубопроводах, барабане и выносных циклонах. При пуске станции с нуля открывается вся арматура на паропроводе, а при растопке парогенератора на работающей станции открываются главный паровой вентиль и дренажи паропровода. Необходимо открыть воздушники пароперегревателя и выносных циклонов. Открывается арматура по одной нитке питательного тракта, включаются водоуказательные колонки барабана.

Затем производится заполнение парогенератора водой до растопочного уровня (ниже средней отметки водоуказательной колонки). Парогенератор должен заполняться деаэрированной водой, температура которой при входе в барабан должна отличаться от температуры металла нижней части барабана не более, чем на 40°С. После заполнения парогенератора водой проверяют, не снижается ли уровень воды в барабане. В противном случае необходимо найти место утечки. Затем записывают начальное положение реперов для оценки в дальнейшем тепловых расширений барабана и нижних коллекторов экранов.

Производится внешний осмотр включаемого участка газопровода, чтобы убедиться в его исправности, запускают дутьевой вентилятор и затем дымосос парогенератора для вентиляции топки и газоходов. Для удаления из участка газопровода взрывоопасной смеси открывают продувочные свечи газопровода и ведут продувку до полного удаления воздуха (по химанализу). Затем взводят быстродействующий предохранительный клапан низкого давления перед горелками (на парогенераторе № 2 — два клапана), открывают общую газовую задвижку перед парогенератором и проверяют давление газа, которое должно составлять 1800 мм вод. ст.

Перед розжигом горелок проверяется отсутствие газа в топке с помощью метаномера. При обнаружении содержания природного газа (метана) в воздухе более 0,1% по объему необходимо усилить вентиляцию топки и устранить причину протечки в нее газа. При соблюдении норм розжиг парогенератора производится следующим образом. На всех горелках закрываются воздушные шиберы, дистанционно включается защитно-запальное устройство ЗЗУ-1 или вводится ручной инжекционный запальник. Медленно приоткрывая за-

движку перед горелкой, подают газ, при этом необходимо следить, чтобы он сразу же загорелся; одновременно необходимо приоткрыть шибер с целью подачи воздуха и затем постепенно увеличивать подачу газа и воздуха. После этого надо удалить запальник. Разрежение в верху топки поддерживается в пределах 3 мм вод. ст.

Повышение давления и температуры в экранной системе топки лимитируется равномерностью прогрева барабана, и прежде всего разностью температур между его верхом и низом. Нижняя часть барабана, заполненная вначале относительно холодной водой, прогревается медленнее. Средний темп повышения давления и температуры задается графиком роста давления в барабане во времени (рис. 6.1).

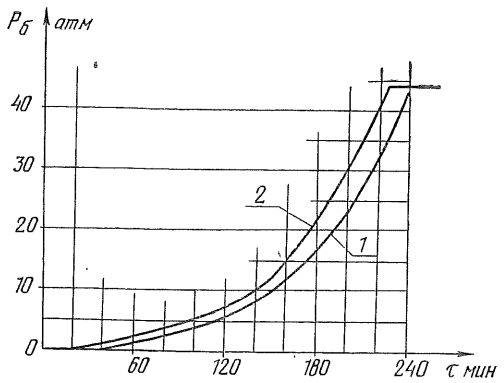


Рис. 6.1. График подъема давления в барабане парогенератора во время растопки: *1* — подъем давления из холодного состояния (вода в барабане 20÷30°С); *2* — подъем давления из горячего состояния (вода в барабане 50÷80°С)

После розжига горелок сразу открывается продувочная линия из пароперегревателя в растопочный сепаратор, открывается вентиль на линии рециркуляции, связывающей барабан с входом в экономайзер. Этим создается естественная циркуляция воды через экономайзер и исключается испарение воды в змеевиках экономайзера в периоды, когда не ведется подпитка барабана. На первом этапе растопки массовый расход пара из барабана мал и питание парогенератора водой происходит с перерывами. В моменты подачи пи-

тательной воды вентиль на линии рециркуляции закрывают. По мере повышения давления 2—3 раза проводятся продувка водомерных колонок и проверка правильности их работы, а также кратковременная периодическая продувка нижних коллекторов экранной системы для удаления шлама и выравнивания теплового режима отдельных экранных секций. При этом следят за тем, чтобы не снизить уровень воды в барабане ниже допустимого.

Прогрев парогенератора и подъем давления и температуры до номинальных параметров длится 4 ч для парогенератора № 2 и 4,5 ч для парогенератора № 4. Включение парогенератора в общую паровую магистраль разрешается при выравнивании давления до и после разделительной задвижки (давление пара после парогенератора может быть несколько ниже, чем в общей магистрали, но не более чем на 0,5 кгс/см^2) и температуре пара выше 360°С. После открытия разделительной задвижки увеличивают тепловую нагрузку топки, чтобы обеспечить расход пара с парогенератора. Затем открывают линию непрерывной продувки из расчета 1% от расхода пара из парогенератора, закрывают дренажи и включают средства защиты и сигнализации парогенератора.

При увеличении нагрузки придерживаются следующей последовательности операций: сначала изменяют тягу, затем подачу воздуха и потом постепенно прибавляют расход газа. До паропроизводительности 15—25 т/ч операции выполняют вручную, затем включается в работу система автоматического управления.

По данным химической лаборатории в барабан парогенератора с помощью дозаторных насосов вводится фосфат натрия в виде 10-процентного раствора с целью недопущения накипеобразования. Режим фосфатирования, необходимость периодической и размер непрерывной продувки парогенератора устанавливается химической лабораторией.

Парогенератор, ранее находящийся в горячем резерве, может сохранять достаточно высокую температуру и некоторое давление пара. Ввод его в работу с подъемом до полного рабочего давления осуществляется быстрее, чем из холодного состояния.

6.2.2. Останов парогенератора в резерв

При останове парогенератора отключается автоматика горения и он выводится из работы вручную.

Для снижения нагрузки уменьшают подачу газа и воздуха. При снижении давления газа перед горелками до 50 мм вод. ст. следует по очереди гасить горелки, поддерживая давление газа перед ними выше указанного.

При нагрузке около 50% от номинальной открывают продувку пароперегревателя, затем переводят парогенератор на ручное питание и открывают линию рециркуляции между барабаном и экономайзером.

Погашение факела в топке производят в следующей последовательности: а) открывают свечи на газовых линиях перед горелками; б) закрывают газовую задвижку парогенератора. После этого отключают парогенератор от паровой магистрали и открывают дренаж паропровода. Через 10 мин после гашения факела отключают дутьевой вентилятор и дымосос и закрывают их направляющие аппараты. Дальнейшее охлаждение газоходов обеспечивается естественным движением воздуха. Затем парогенератор подпитывают водой до верхней отметки барабана и принимают меры к сохранению давления (закрывают продувку перегревателя и лючки). Парогенератор находится в горячем резерве.

6.3. Работа парогенератора в стационарном и переменном режимах

В зависимости от режима работы станции основное оборудование может более или менее длительно работать на постоянном (базовом) режиме. В этих условиях колебания нагрузки парогенератора и изменение параметров пара происходят относительно в небольших пределах. Нарушение стационарного режима может быть вызвано изменением расхода пара на турбину. При базовом режиме работы котельного отделения могут возникнуть колебания давления в барабане вследствие переброса нагрузки с одного парогенератора на другой.

Основная задача оперативного персонала — поддержание наиболее экономичных режимов сжигания топлива, наблюдение за правильностью работы автоматических систем регулирования.

Для наибольшей экономичности работы парогенератора машинист должен поддерживать топочный режим в соответствии с режимной картой, являющейся основным документом, по которому ведется контроль за работой парогенератора. Режимная карта дается в виде таблицы или графика (рис. 6.2).

Составление режимной карты парогенератора базируется на специальных испытаниях, в результате которых устанавливаются условия достижения максимального КПД на каждой из нагрузок.

Основными потерями тепла при работе на газе являются потери с уходящими газами q_2 и химическим недожогом q_3. Потеря с уходящими газами определяется температурой и объемом уходящих газов. Последний зависит от величины

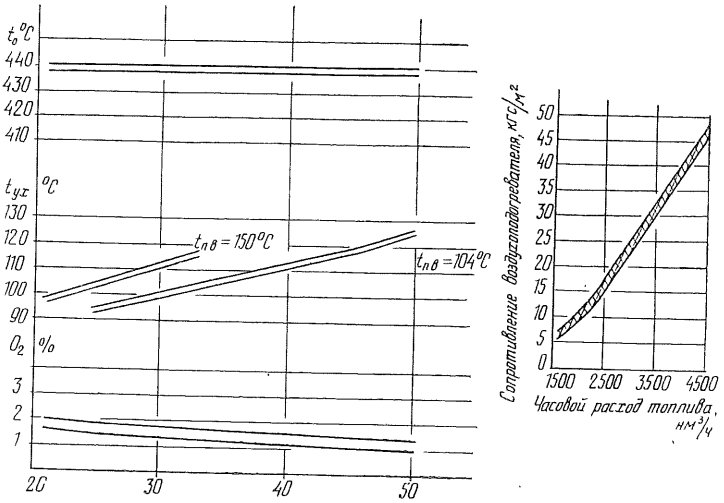


Рис. 6.2. Режимная карта парогенератора № 2 ТЭЦ МЭИ

избытка воздуха в газовом тракте. Химический недожог можно исключить поддержанием оптимального коэффициента избытка воздуха в топке и равномерным распределением газа и воздуха по горелкам.

Повышение или понижение давления пара вызываются изменением нагрузки турбины. При подъеме давления на 3% выше номинального открывается предохранительный клапан на выходном коллекторе пароперегревателя. При дальнейшем повышении давления должны открыться предохранительные клапаны на барабане.

Во время работы парогенератора на газе производят визуальное наблюдение за процессом горения (за факелом) в топке через гляделки, расположенные на фронтовой и боковых стенках топки. Надо добиваться хорошего и правиль-

ного горения. Внешними показателями этого являются следующие условия:

а) факел должен равномерно заполнять топочную камеру;

б) факел должен быть полупрозрачным, светло-соломенно-желтого цвета и не иметь темных дымных языков;

в) горение должно заканчиваться в топке до входа в фестон, а конец факела должен быть чистым (прозрачным).

Режим горения в топке контролируется по кислородомеру, отбор газов на который сделан за пароперегревателем. В зависимости от величины нагрузки показания O_2 меняются согласно режимной карте от 1 до 2%, что соответствует избытку воздуха $\alpha''_{пе}=1{,}05\div1{,}1$. Пересчет показаний кислородомера на избыток воздуха делается по формуле

$$\alpha \cong \frac{21}{21-O_2}.$$

В случае обрыва факела и аварийного отключения парогенератора технологической защитой необходимо:

а) закрыть газовые задвижки перед горелками;

б) открыть продувочные свечи на газопроводах к горелкам;

в) провентилировать топку в течение не менее 10 мин при работающем дымососе и дутьевом вентиляторе;

г) после устранения неполадок приступить к нормальному розжигу горелок.

Следует твердо помнить, что быстрый ввод огня для поджигания газовой горелки в случае гашения факела без вентиляции топки может вызвать взрыв газовой смеси, поэтому категорически запрещается ввод огня в топку без предварительного закрытия подачи газа и полной вентиляции топки.

Контрольные вопросы к главе 6

1. Нужно ли продувать через свечи газопровод в пределах парогенератора при кратковременном его останове?

2. Создается ли аварийная ситуация, если выйдут из строя щитовые приборы, показывающие уровень воды в барабане?

3. Назовите случаи, когда производится вентиляция топочной камеры.

4. Контролируется ли в ходе растопки повышение температуры воды в экранах и барабане?

5. Почему при пуске парогенератора из горячего состояния продолжительность растопки снижается?

6. Машинист установил, что содержание O_2 в уходящих газах выше нормы. Что нужно еще проверить и как вывести работу парогенератора на оптимальный режим?

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мейкляр М. В.** Паровые котлы электростанций.— М.: Энергия, 1974.— 311 с.
2. **Роддатис К. Ф.** Котельные установки.—М.: Энергия, 1977.— 432 с.
3. **Плетнев Г. П.** Автоматическое регулирование и защита теплоэнергетических установок электрических станций.— М.: Энергия, 1976.— 423 с.

Юрий Михайлович Липов,
Альберт Павлович Вяткин,
Юрий Федорович Самойлов,
Юрий Михайлович Третьяков,
Вячеслав Михайлович Аверин,
Михаил Георгиевич Лысков

Учебное пособие по курсу

«Производственное обучение на ТЭЦ МЭИ»

ПАРОГЕНЕРАТОРНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ТЭЦ МЭИ

(Кафедра парогенераторов электростанций)

Технический редактор *Е. Н. Венедиктова.*

Корректор *З. В. Снимщикова.*

Л—68197 Подписано к печати 23/XII—1980 г.
Формат бумаги 60×90/16. Печ. л. $5^1/_4$+6 вкл. Уч.-изд. л. 4,8.
Тираж 1000 Заказ 2783. Цена 18 коп.

Типография МЭИ, Красноказарменная, 13

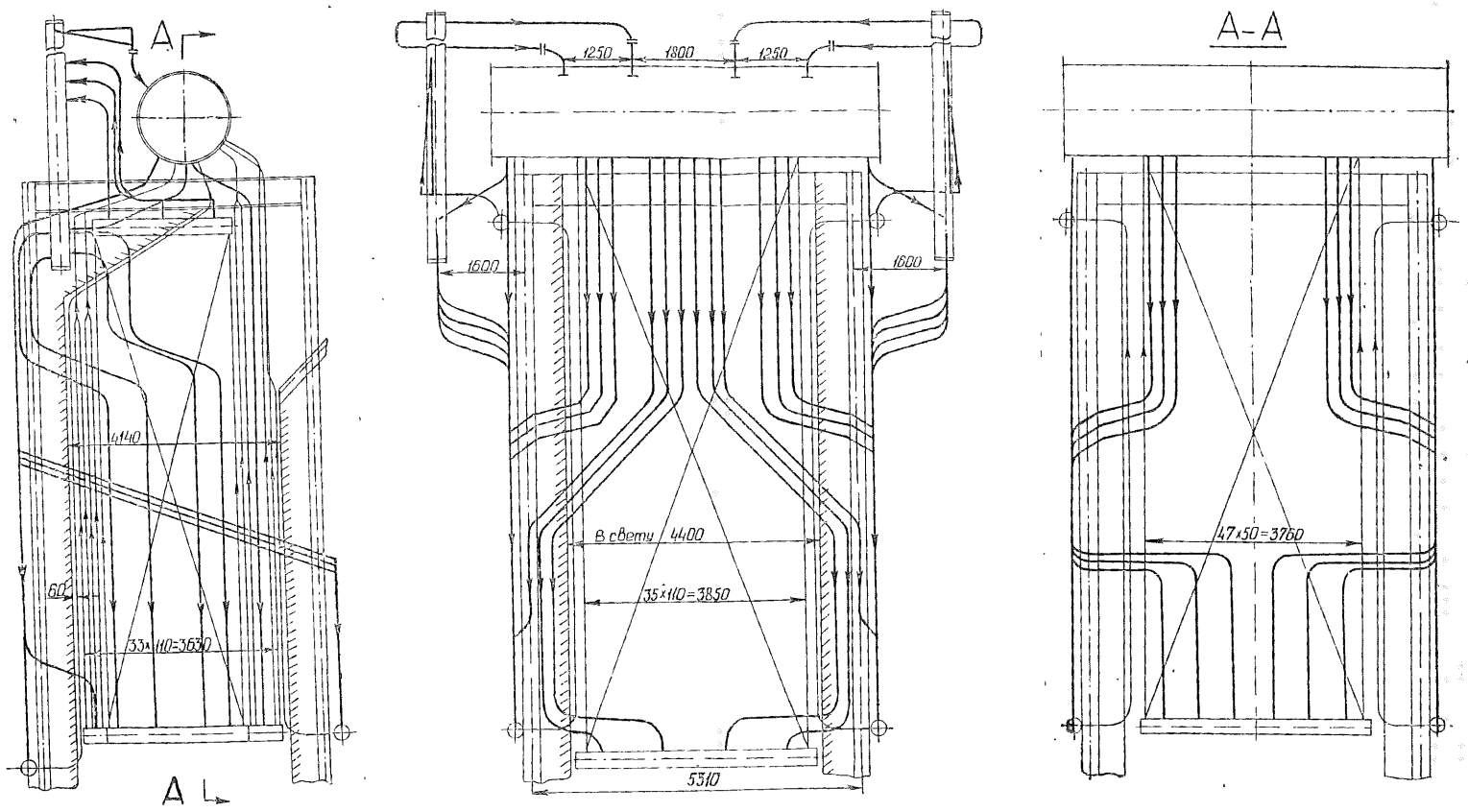


Рис. 3.2. Схема циркуляции парогенератора № 2

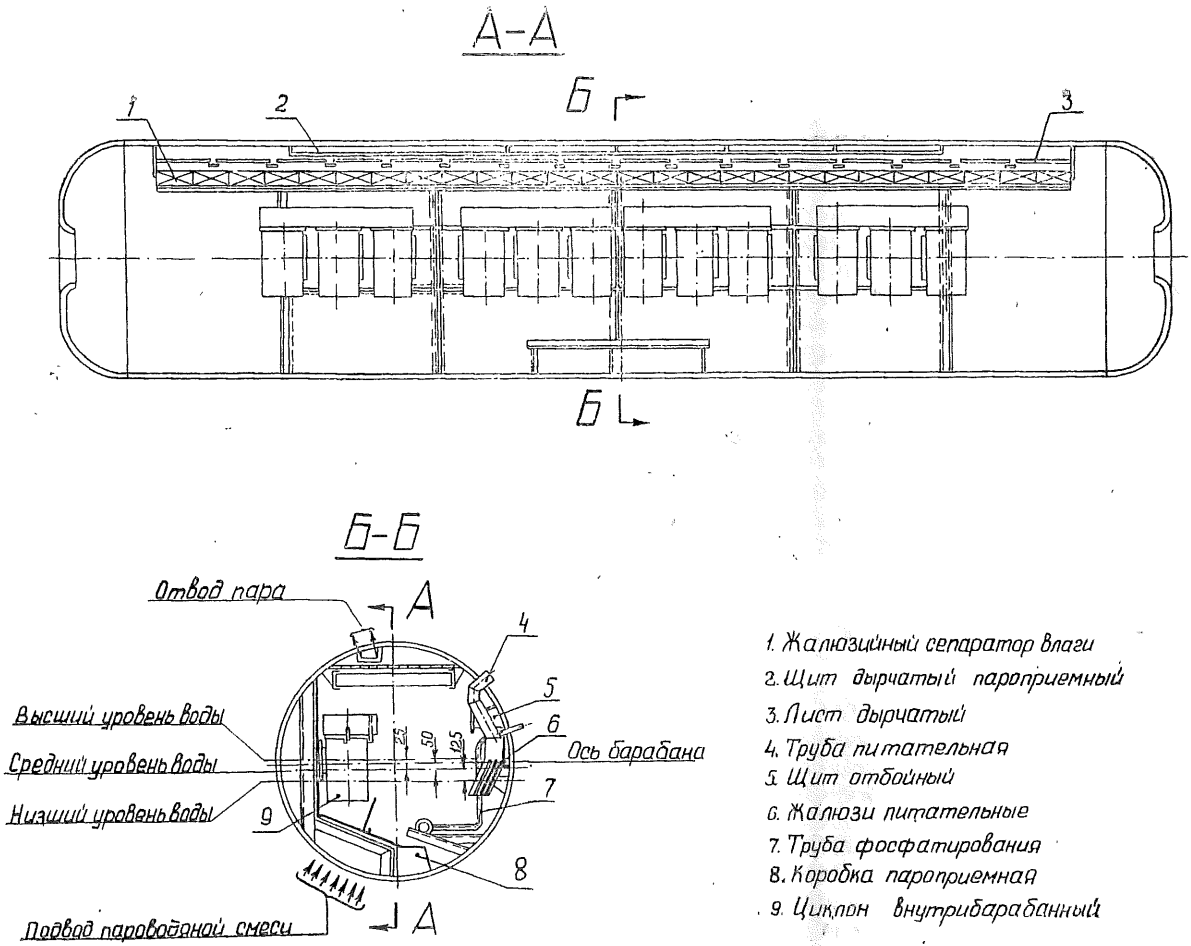


Рис. 3.3. Барабан парогенератора № 2

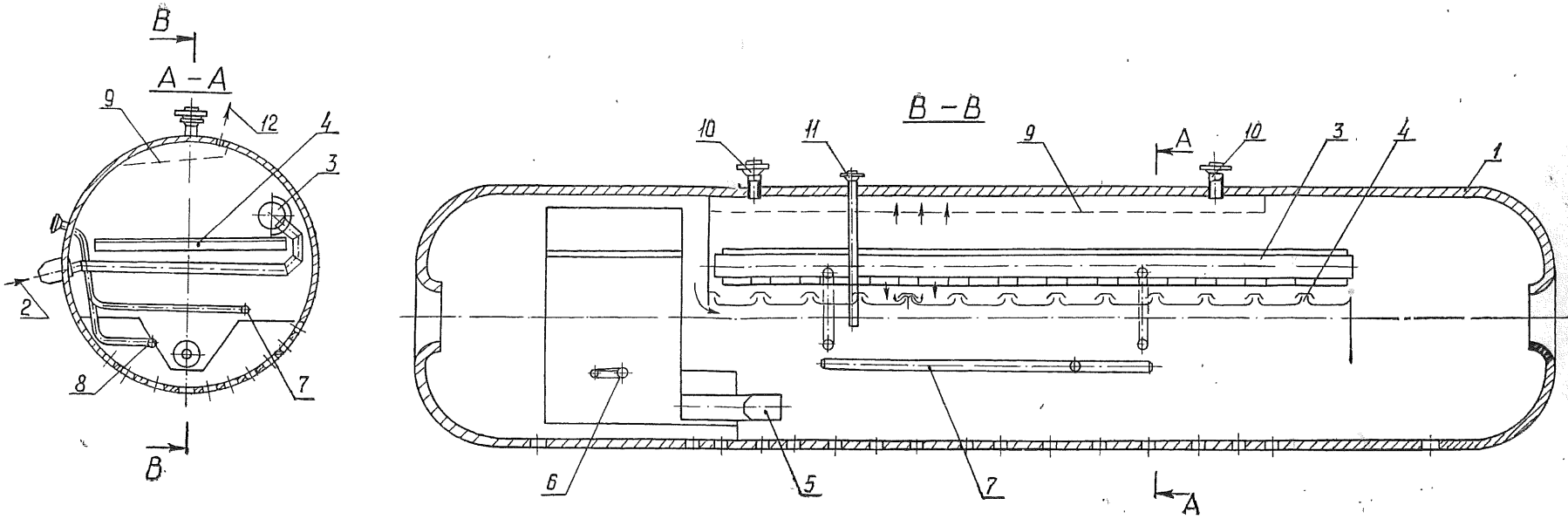


Рис. 3.12. Схема внутрибарабанных устройств парогенератора № 4

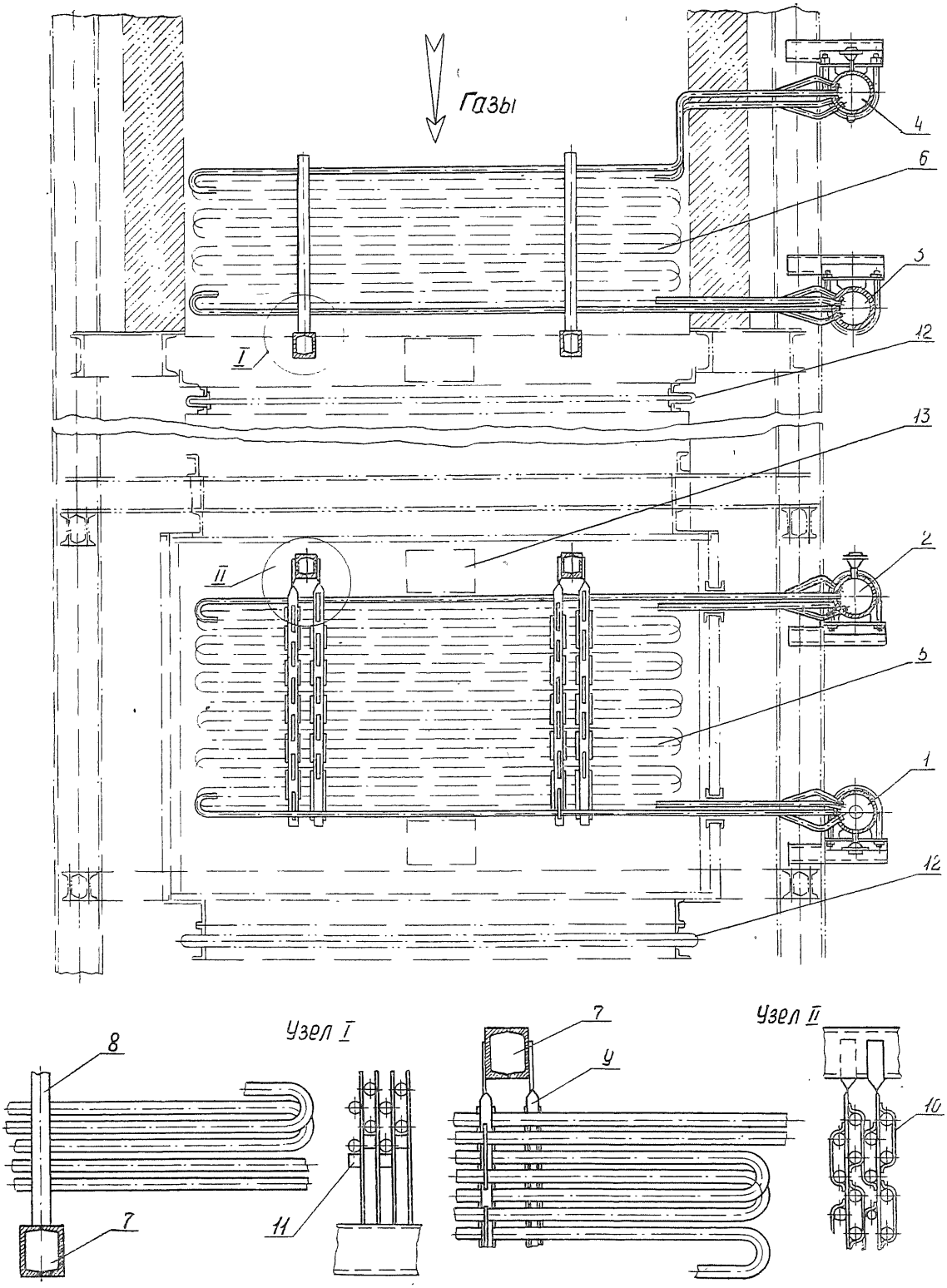


Рис. 3.17. Общий вид водяного экономайзера парогенератора № 4: *1* — входной и выходной коллекторы первой ступени; *3, 4* — входной и выходной коллекторы второй ступени; *5* — змеевики первой ступени; *6* — змеевики второй ступени; *7* — балки; *8* — стойки; *9* — подвески; *10* — стяжки; *11* — опоры; *12* — компенсаторы температурных удлинений труб воздухоподогревателя; *13* — лазы

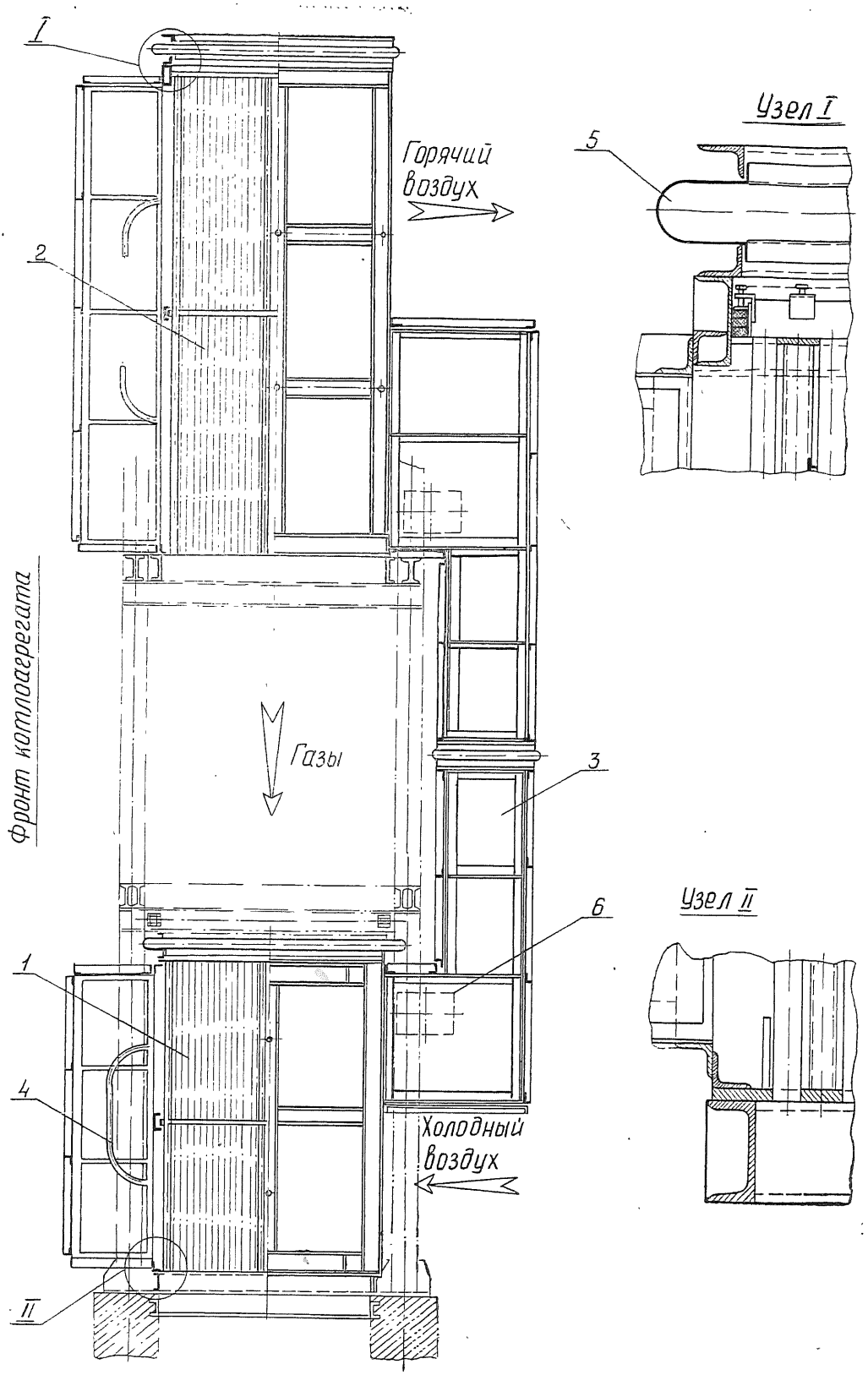


Рис. 3.18. Общий вид воздухоподогревателя парогенератора № 4: *1*, *2* — первая и вторая ступени воздухоподогревателя; *3* — короб; *4* — распределитель; *5* — компенсатор, *6* — лазы

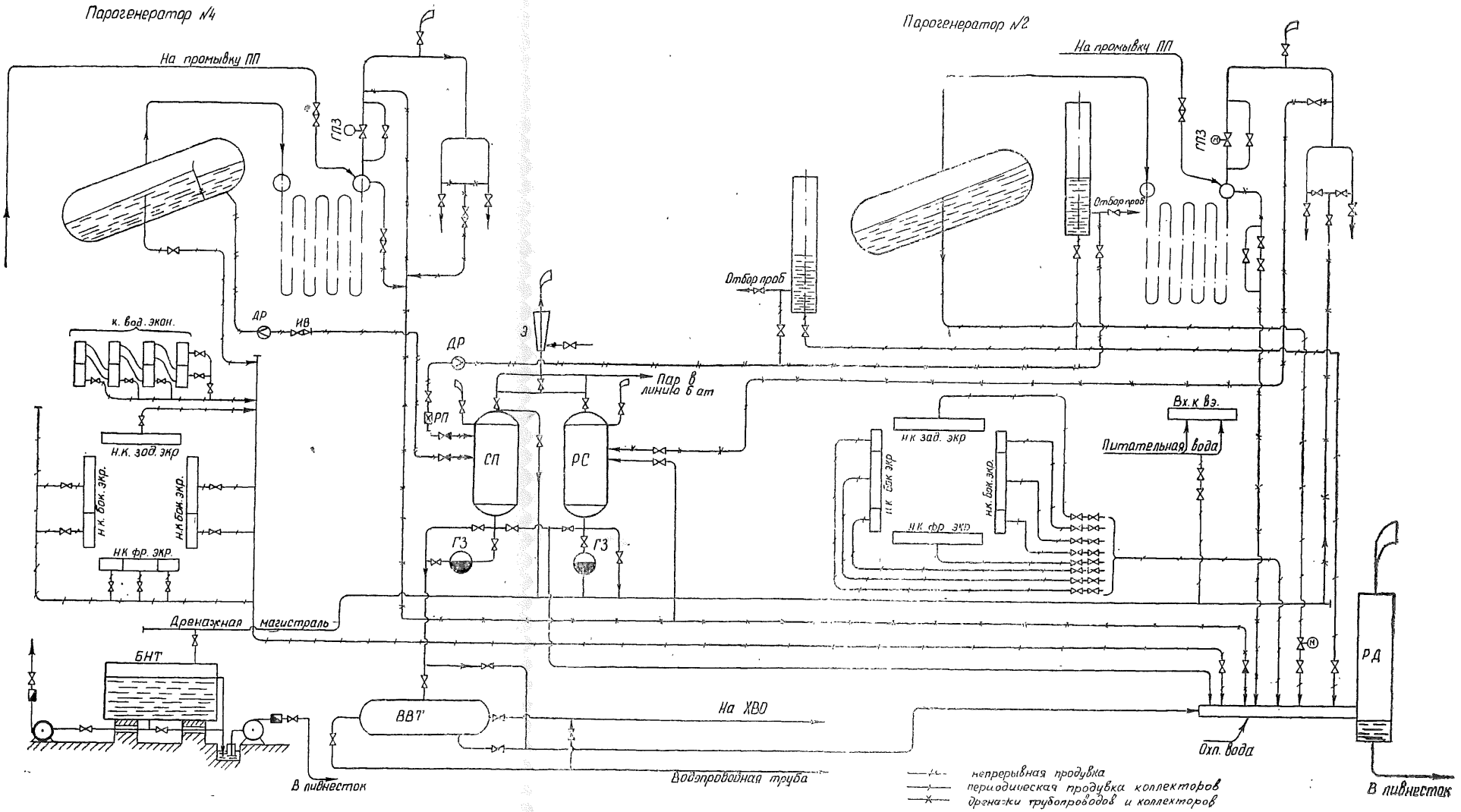


Рис. 4.1. Схема продувок и дренажей парогенераторов № 2 и 4: *ГПЗ* — главная паровая задвижка; *ДР* — диафрагма расходомерная; *ИВ* — игольчатый вентиль; *Э* — эжектор паровой; *СП* — сепаратор непрерывной продувки; *НК* — нижний коллектор экранов; *РП* — регулятор непрерывной продувки; *РС* — растопочный сепаратор; *ВВТ* — водоводяной теплообменник; *ГЗ* — гидрозатвор; *РД* — расширитель дренажей