

С. Л. Елистратов, Ю. И. Шаров

**КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.181(075.32)

ББК 31.361

Е51

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *П. А. Щинников*;

кандидат технических наук, доцент *О. К. Григорьева*

Елистратов, С. Л.

Е51 Котельные установки и парогенераторы : учебное пособие / С. Л. Елистратов, Ю. И. Шаров. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 148 с.

ISBN 978-5-9729-0554-6

Рассмотрены основные агрегаты ТЭС, отопительных котельных, котлов и их вспомогательного оборудования: тягодутьевые устройства, системы золоулавливания и шлакозолоудаления. Приведен расчет котла по нормативному методу.

Для студентов технических специальностей, изучающих вопросы теплоэнергетики и теплотехники. Может быть полезно инженерам-теплоэнергетикам.

УДК 621.181(075.32)

ББК 31.361

ISBN 978-5-9729-0554-6

© Елистратов С. Л., Шаров Ю. И., 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое читателю учебное пособие содержит основные сведения о конструкции и принципах работы энергетических и отопительных котлов. Приведенные в нем теоретические и расчетные материалы предназначены, прежде всего, для целенаправленной системной подготовки студентов к выполнению курсового проекта по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы».

В отличие от справочной литературы и других учебных изданий по этой тематике пособие содержит основные сведения как о современном состоянии мирового и российского котлостроения, так и о некоторых инновационных направлениях их развития. В конце пособия приведены вопросы, позволяющие читателю закрепить полученные теоретические знания.

Первая глава содержит основные сведения о котельных установках и парогенераторах. Приведена традиционная классификация котельных установок. Рассмотрены основные агрегаты ТЭС, отопительных котельных, котлов и их вспомогательного оборудования: топливо- и водоподготовка, тягодутьевые устройства, системы шлако- и золоудаления, улавливания летучей золы. Приведены характеристики, используемых в котлах топлив.

Во второй главе приведен список наиболее крупных котлостроительных компаний мира, а также действующих российских заводов с краткой характеристикой выпускаемой ими продукции и оказываемых услуг. Обозначены основные особенности и направления развития современного котлостроения с примерами их реализации на российских предприятиях. Рассмотрены принципы работы и основные преимущества инновационных котлов с высокотемпературным кипящим слоем (ВЦКС), пылеугольных с кольцевой топкой, конденсационных, высоко-

вольтных (10 кВ) индукционных и термомасляных котлов. Представлена технология электроионизационного воспламенения пылеугольного топлива, позволяющая производить подсветку и растопку котлов без использования мазута. По сравнению с уже ставшей традиционной технологией розжига и подсветки с использованием плазмотронов, электроионизационная технология является значительно менее затратной.

В третьей главе для оценки показателей экономичности и надежности котла при работе на заданном топливе, выявления необходимых конструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных данных для проведения аэродинамического, гидравлического, теплового и прочностного расчетов представлена методика поверочного теплового расчета котла (парогенератора) по нормативному методу.

В заключительной главе приведен пример поэлементного теплового расчета котла барабанного типа ТП-81 Таганского котельного завода «Красный котельщик» с использованием расчетных формул, таблиц и номограмм.

Авторы выражают надежду, что данное учебное издание позволит сформировать у студентов и молодых специалистов живой интерес к насущным проблемам теплоэнергетической отрасли и поможет осуществить их решение.

При написании настоящего учебного пособия авторы использовали свой опыт преподавания курсов «Котельные установки и парогенераторы», «Теплоэнергетические установки ТЭС», «Котельное, турбинное и вспомогательное оборудование ТЭС», «Производство и передача тепловой энергии» в Новосибирском государственном техническом университете.

Глава 1

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

1.1. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Котельные установки (парогенераторы) относятся к основному оборудованию тепловых электростанций (ТЭС). Котельная установка представляет собой комплекс устройств размещенных в специальных помещениях и служащих для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию пара или горячей воды. Основные элементы котельной установки – котел, топочное устройство (топка), питательные и тягодутьевые устройства [2].

Котел – это теплообменное устройство, в котором теплота от горячих продуктов сгорания топлива передается воде. В результате этого в паровых котлах вода превращается в пар, а в водогрейных котлах нагревается до необходимой температуры. *Топочное устройство* служит для сжигания топлива и превращения его химической энергии в теплоту нагретых газов. *Питательные устройства* (насосы инжекторы) предназначены для подачи воды в котел. *Тягодутьевое устройство* состоит из дутьевых вентиляторов, системы газо- и воздухопроводов, дымососов и дымовой трубы, с помощью которых обеспечиваются подача необходимого количества воздуха в топку, движение продуктов сгорания по газоходам котла и удаление газов в атмосферу. Продукты сгорания, перемещаясь по газоходам и соприкасаясь с поверхностями нагрева, передают свою тепловую энергию воде.

Для обеспечения более экономичной работы современные котельные установки имеют *вспомогательные устройства*: водяной экономайзер и воздухоподогреватель, служащие соответственно для подо-

грева воды и воздуха; устройства для подачи топлива и удаления золы, очистки дымовых газов и питательной воды; приборы теплового контроля и средства автоматизации, обеспечивающие нормальную и бесперебойную работу всех звеньев котельной. В зависимости от того, для какой цели используется тепловая энергия, котельные подразделяются на энергетические, отопительно-производственные и отопительные. На рис. 1.1 представлено развитие водотрубных барабанных котлов [2].

Паровой котел предназначен для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию пара. На рис. 1.1, а представлен цилиндрический котел с колосниковой решеткой, производящий насыщенный пар низкого давления. На колосниковой решетке сжигался сортированный кусковой уголь, а необходимый для горения воздух поступал снизу через колосниковую решетку. Котел небольшой производительности по пару имел самую простую конструкцию и низкий КПД из-за высокой температуры уходящих из топки газов (200...300 °С).

Большей паровой производительностью и более высоким КПД обладала новая модификация этого котла (рис. 1.1, б), выполненная из большого количества труб малого диаметра (60...80 мм), находящихся в потоке горячих газов. В конструкции (рис. 1.1, в) был впервые установлен водяной экономайзер (ВЭК) 7, в котором дымовые газы охлаждались до 150...180 °С, что привело к повышению КПД котла. Водотрубные котлы (рис. 1.1, г), более современные. В них размолотое топливо сжигается во взвешенном состоянии в объеме топки, все стены которой закрыты экранными вертикальными испарительными трубами. В них вода при высоком давлении подогревается до температуры кипения и частично испаряется. В барабане котла 2 пар отделяется от воды и перегревается в пароперегревателе 8. Топливо и воздух подаются через топливные горелки 11. Для улучшения сжигания топлива воздух подогревается в воздухоподогревателе (ВЗП) 9, что дополнительно понижает температуру дымовых газов.

Позже появились прямоточные котлы (рис. 1.1, д), в которых нет барабана. В них вода и водяной пар проходят последовательно через все поверхности нагрева, между которыми нет четкой границы между экономайзерной, испарительной и перегревательной зонами.

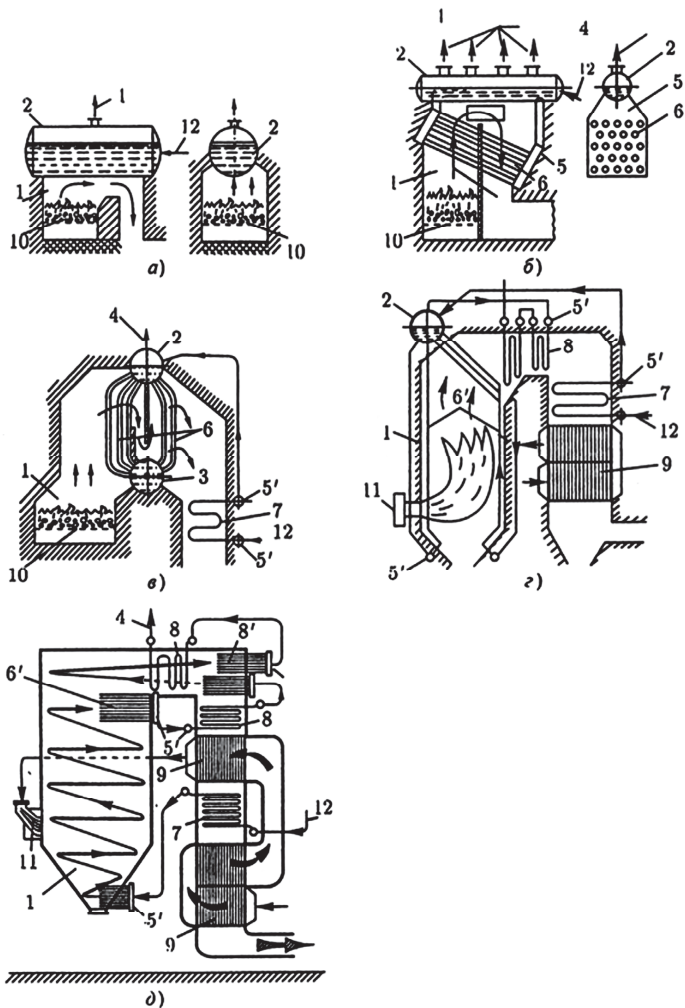


Рис. 1.1. Водотрубные барабанные котлы (а, б, в, г),
прямоточный котел (д)

Обозначения на рис. 1.1: 1 – топка; 2 – барабан-сепаратор; 3 – нижний барабан; 4 – выход пара; 5 – раздающая водяная камера; 5' – коллектор; 6 – трубы котельных пучков; 6' – трубы настенных экранов; 7 – водяной экономайзер; 8 – пароперегреватель; 8' – настенный ленточный пароперегреватель; 9 – воздухоподогреватель; 10 – колосниковая решетка; 11 – горелки; 12 – вход воды в котел.

В отличие от барабанных котлов прямоточные парогенераторы могут работать и на сверхкритических параметрах пара (выше 221 бара). По конструкции паровой котел чаще всего имеет П-образный профиль. На рис. 1.2 представлены другие возможные профили паровых котлов [3], а на рис. 1.3 – таганрогский котел ТГМ-94.

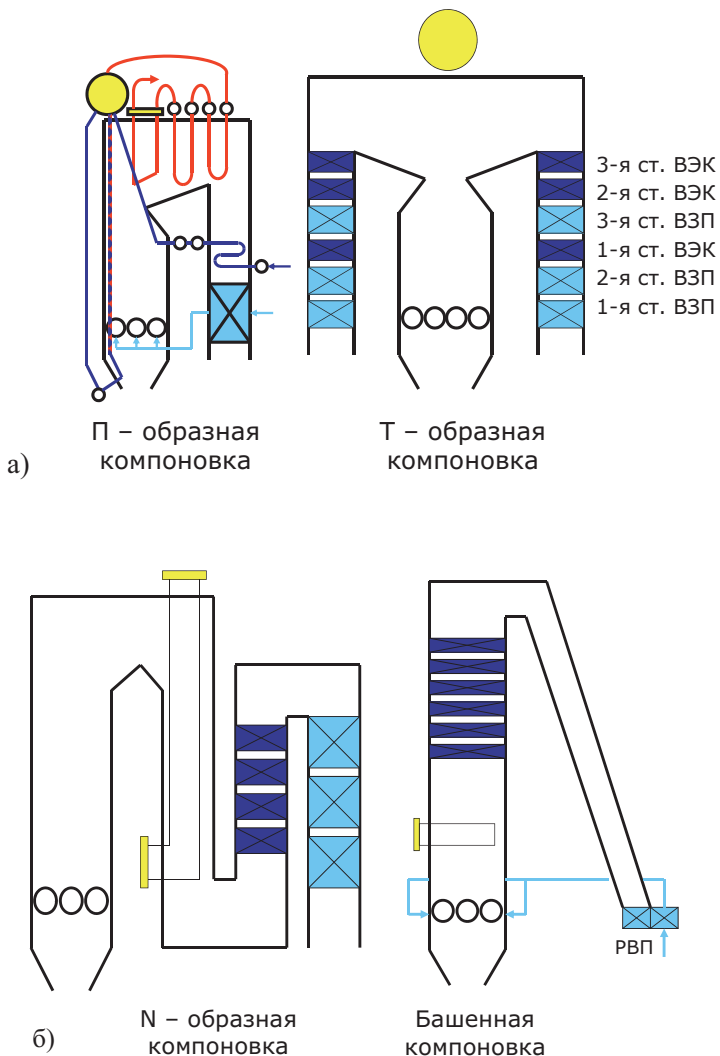


Рис. 1.2. Компоновки паровых котлов:
РВП – регенеративный воздухоподогреватель

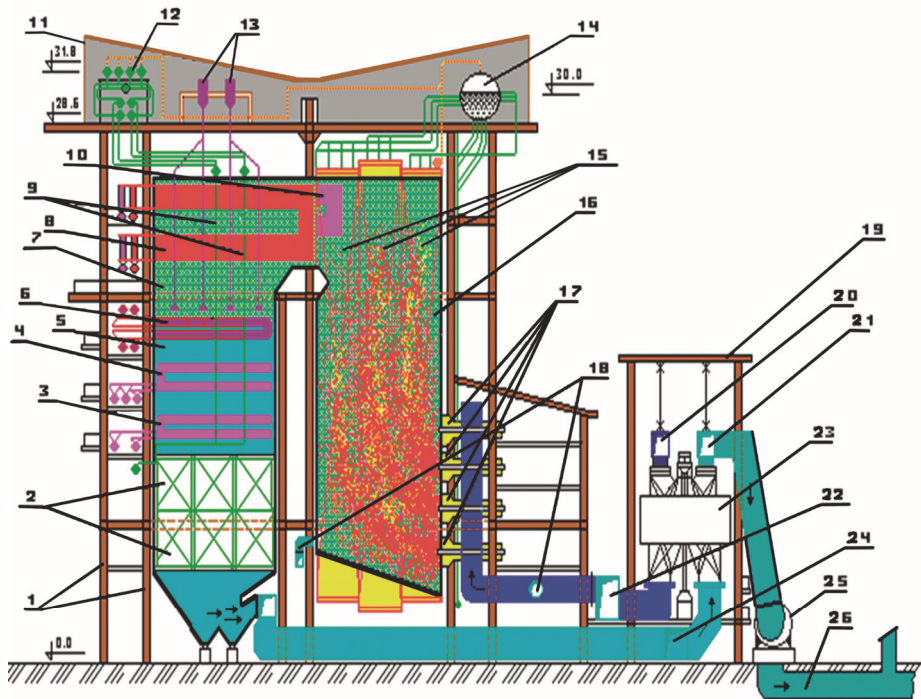


Рис. 1.3. Котел ТГМ-94 Таганрогского котельного завода

Основные характеристики и обозначения котла: паровая производительность $D = 500$ т/ч; давление перегретого пара $p_0 = 14$ МПа; температура перегретого/промперегретого пара $t_{II} / t_{III} = 570/570$ °С; КПД brutto котла $\eta_{бр} = 92$ %; температура питательной воды $t_{п.в} = 230$ °С; температура уходящих газов $t_{yx} = 145$ °С; 17 – четыре яруса горелок по 7 штук в ряду; 20 – два дутьевых вентилятора; 23 – три РВП (регенеративных подогревателя воздуха по 2 об/мин); 25 – два дымососа.

Энергетические котлы снабжают паром паросиловые установки, вырабатывающие электроэнергию. Они входят в комплекс тепловой электрической станции (ТЭС рис. 1.4, 1.5).

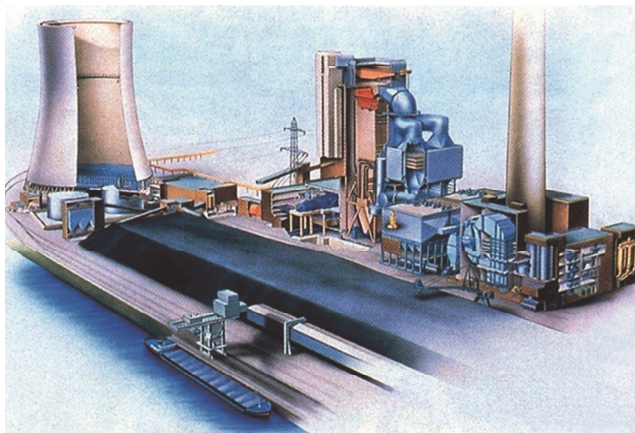


Рис. 1.4. Общий вид ТЭС



Рис. 1.5. Новосибирская ТЭЦ-5

Тепловая энергия плохо аккумулируется, поэтому ее производство должно соответствовать потреблению [1]. Но потребность в теплоте изменяется во времени, то есть необходимы графики тепловых нагрузок. Графики бывают по времени: суточные, месячные, годовые; по виду нагрузки: бытовые, технологические, отопительно-вентиляционные (рис. 1.6).

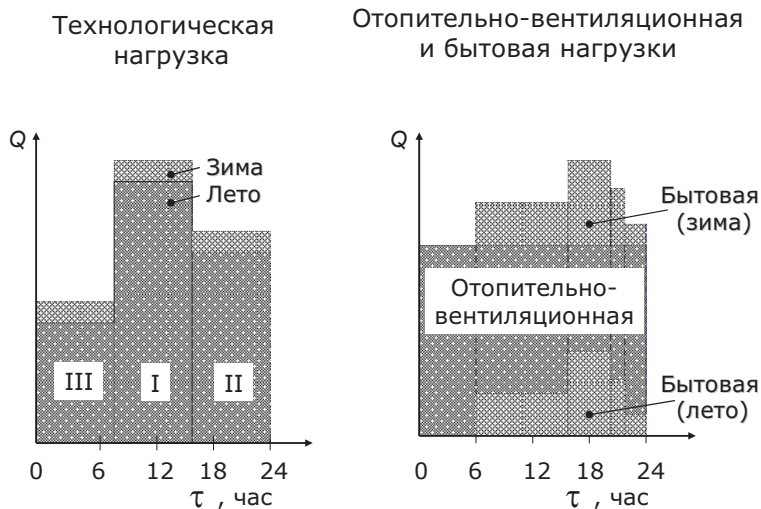


Рис. 1.6. Суточные графики тепловой нагрузки

Максимальная технологическая нагрузка в I смену, когда работает большинство предприятий, минимальная – в III (ночную) смену. Отопительно-вентиляционная нагрузка постоянна в течение суток. Она есть зимой и полностью отсутствует летом. Бытовая нагрузка изменяется в течение суток, исчезая ночью, но зато она практически одинакова зимой и летом, потому что потребность в горячей воде для приготовления пищи, помывки посуды и водных процедур примерно одинакова круглый год.

Наиболее холодным месяцем считается январь, поэтому на годовом графике ему соответствует максимум тепловой нагрузки. С мая по сентябрь отопления нет, есть только горячее водоснабжение. Основными показателями системы теплоснабжения ТЭЦ являются: КПД брутто и

нетто, удельный расход условного топлива на единицу выработанной тепловой энергии и себестоимость теплоты.

Экономичность тепловой электростанции возрастает при: повышении начальных параметров пара перед турбиной (давления и температуры); понижении конечных параметров пара за турбиной; применении промежуточного перегрева пара и регенеративного подогрева питательной воды.

Система теплоснабжения – это комплекс устройств, предназначенных для подготовки теплоносителя на ТЭЦ или в отопительной котельной, транспорта его по тепловым сетям и использования в теплоприемниках потребителя. Системы теплоснабжения делятся по типу теплоносителя: на водяные и паровые. По количеству труб на: 1-трубные – теплоноситель подается потребителям по одной трубе и полностью разбирается; 2-трубные – теплоноситель подается по прямой трубе, частично разбирается потребителями, оставшийся возвращается на ТЭЦ или в котельную по обратной трубе; 3-трубные – по двум прямым трубам потребителям подаются теплоносители с разными параметрами, обратная труба – общая. На рис. 1.7 представлена схема подготовки теплоносителя на ТЭЦ (теплоэлектроцентрали).

Абоненты могут подсоединяться к сети по схемам: а) зависимая открытая; б) независимая закрытая; в) с элеватором. Более предпочтительной является независимая закрытая схема, при которой параметры воды в системе отопления и горячего водоснабжения не зависят от параметров сетевой воды. Закрытая означает, что сетевая вода не разбирается потребителями. Она полностью (за исключением потерь в сети) возвращается на ТЭЦ. Разбирается же вторичная вода, подогретая в бойлере за счет теплоты прямой сетевой воды.

По аналогии с водяной системой теплоснабжения *паровая система* может быть: однотрубной, когда пар подается потребителям по одному паропроводу, конденсат возвращается на станцию по обратному трубопроводу; двухтрубной, если в районе имеются потребители, которым требуется пар разных параметров. При этом трубопровод возврата конденсата общий.

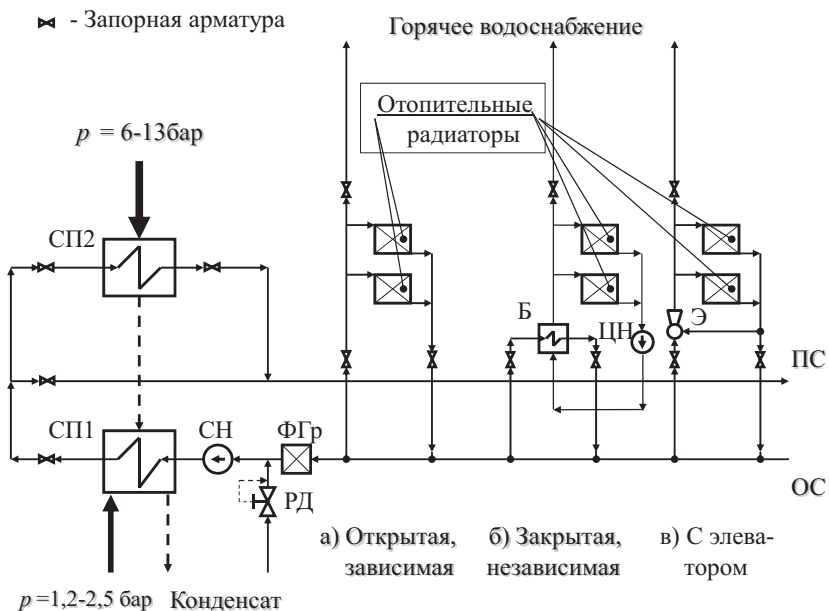


Рис. 1.7. Схема подготовки теплоносителя на ТЭЦ

Обозначения на схеме: ПС – прямая сетевая вода $t_{\text{пс}} = 90...150 \text{ }^\circ\text{C}$; Б – бойлер; Э – элеватор; ЦН – циркуляционный насос; ОС – обратная сетевая вода, которая возвращается от потребителей с температурой $t_{\text{ос}} = 30...70 \text{ }^\circ\text{C}$; ФГр – фильтр-грязевик; РД – автоматический регулятор давления «после себя»; СН – сетевой насос; СП1 – первый сетевой подогреватель, в котором вода подогревается до температур $t_{\text{пс}} = 90...120 \text{ }^\circ\text{C}$ отбираемым из турбины паром давлением $p = 1,2...2,5 \text{ бар}$; СП2 – второй сетевой подогреватель, в котором вода подогревается до температур $t_{\text{пс}} = 120...150 \text{ }^\circ\text{C}$ отбираемым из турбины паром давлением $p = 6...13 \text{ бар}$.

Если в водяной системе теплоснабжения теплоноситель перемещается посредством сетевого насоса, то в паровой системе пар подается за счет перепада его давления. При использовании пара для отопления и горячего водоснабжения на абонентских вводах ставят пароводяные бойлеры.

1.2. ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОСИЛА В ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

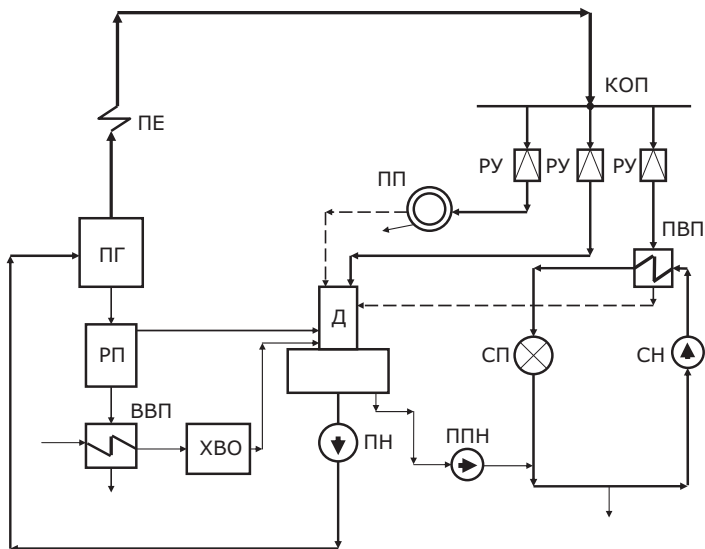


Рис. 1.8. Схема подготовки теплоносителя в отопительной котельной

Обозначения на рис. 1.8: ПГ – парогенератор ($p_0 = 14 \dots 40$ бар; $D = 25 \dots 75$ т/ч); ПЕ – пароперегреватель; КОП – коллектор острого пара; РУ – редукционная установка; ПВП – пароводяной подогреватель (бойлер); СП – сетевой потребитель; ПП – производственный потребитель; СН – сетевой насос; ПН – питательный насос; ППН – подпиточный насос; Д – деаэрактор (1,2 бар); ХВО – химическая водоочистка; ВВП – водоводяной подогреватель; РП – расширитель продувки

Котельные установки в зависимости от характера потребителей подразделяются на энергетические котлы, производственно-отопительные и отопительные. По виду вырабатываемого теплоносителя они делятся на паровые (для выработки пара) и водогрейные (для выра-