Лекция 1

Введение

Курс «Котельные установки ТЭС» является первым из энергетических курсов по специальности, закладывающим основу для развития кругозора будущего бакалавра - теплоэнергетика.

Подготовка квалифицированных кадров бакалавров теплоэнергетиков в ВУЗах не возможна без глубокого изучения и понимания процессов, протекающих в основном оборудовании ТЭС.

Курс «Котельные установки ТЭС» в значительной степени синтезирует сведения из основных теплотехнических и физико-химических дисциплин, учит последовательному анализу сложных явлений. Такой анализ обычно предусматривает ряд приближений, в ходе которых выявляются главные соотношения между процессами, протекающими в котельной установке.

Задачей курса является ознакомление студентов - теплоэнергетиков с теоретическими основами процессов, протекающих в паровых котлах, с конструкциями и работой основного и вспомогательного оборудования, служащего для производства пара, а также с перспективами дальнейшего развития техники генерации пара.

В результате изучения курса студент должен знать: технологию производства пара на ТЭС; конструкции, характеристики и принцип работы паровых котлов, их элементов, а также вспомогательных механизмов; методику конструкторского и поверочного теплового расчета парового котла.

Изучив курс, студент должен уметь: анализировать техническое состояние котельной установки, ее отдельных элементов; разрабатывать и выполнять мероприятия по повышению экономичности и надежности котельной установки, проводить самостоятельно тепловые расчеты элементов котельных установок и котельного агрегата в целом.

Дисциплина «Котельные установки ТЭС» базируется на знаниях и умениях, приобретенных студентами при изучении курсов: «Физика», «Высшая математика», «Материаловедение», «Метрология и измерения», «Механика», «Техническая термодинамика», «Механика жидкости и газа», «Тепломассобмен», «Информатика», «Теплоэнергетические системы и энергоиспользование», «Спецвопросы сжигания топлива».

Курс «Котельные установки ТЭС» рекомендуется для студентов специальности 5В071700-Теплоэнергетика, выбравших специализацию «Тепловые электрические станции», и включается в учебные планы в качестве базовой дисциплины.

1 Лекция

Задачи, содержание курса. Технологическая схема производства пара. Паровой котел в технологической схеме производства пара. История развития парового котла. Основные определения и термины паровых котлов.

1.1 Задачи, содержание курса

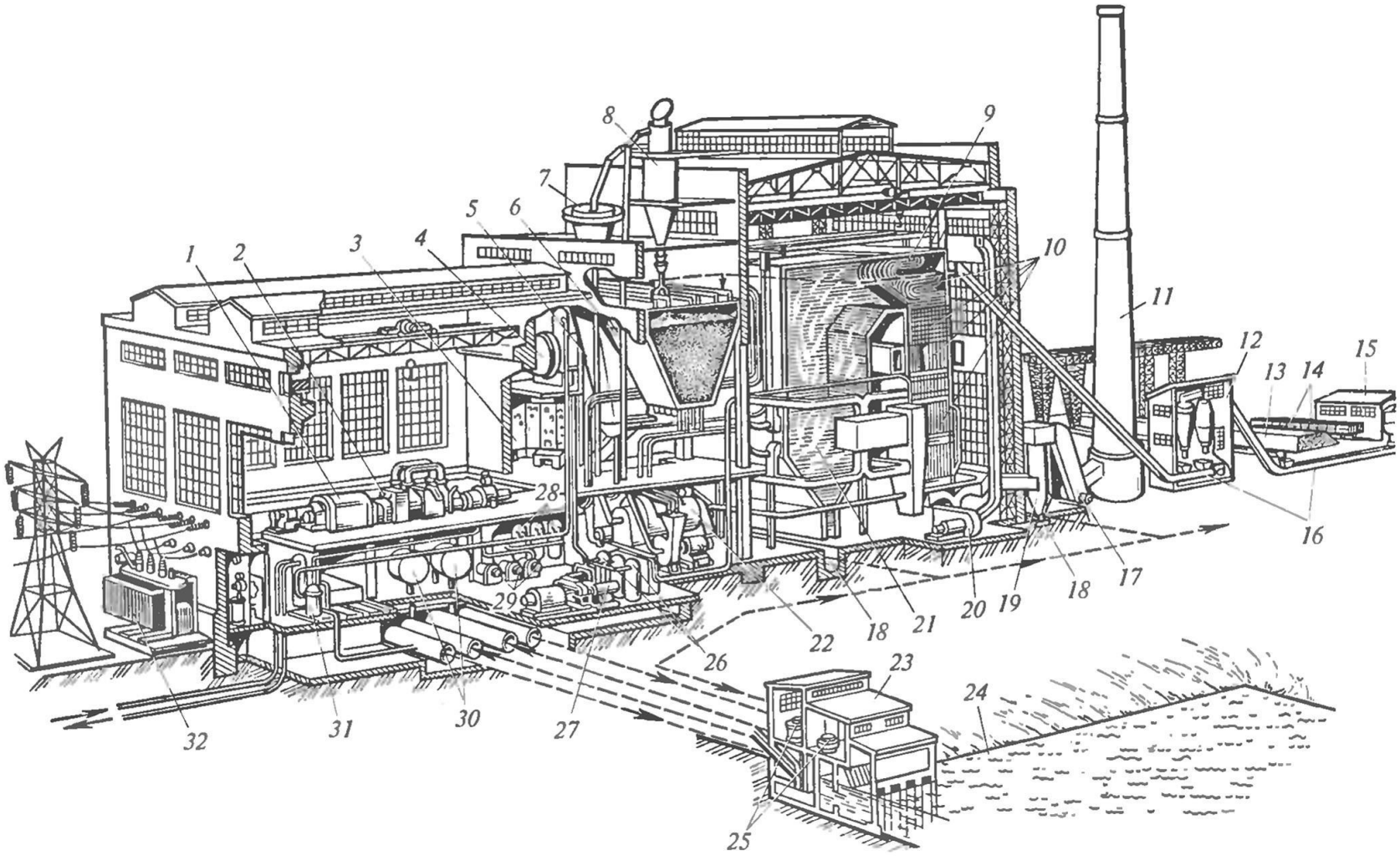
Для специализации «Тепловые электрические станции» предметом курса является стационарная и станционная теплоэнергетика. Содержание курса включает основы теплового расчета котельных агрегатов, гидродинамики и теплопередачи в элементах паровых котлов, с учетом различных конструктивных решений.

1.2 Технологическая схема производства пара

Электрическая станция представляет собой промышленное предприятие для выработки электрической энергии. Основное количество энергии производят на тепловых электрических станциях (далее ТЭС), использующих химическую энергию сжигаемого органического топлива. Основными тепловыми агрегатами паротурбинной ТЭС являются паровой котел и паровая турбина. Паровой котел (9) представляет собой системы поверхностей нагрева для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования теплоты, выделяющейся при сжигании топлива, которое подается в топку вместе с необходимым для горения воздухом. Поступающая (питательная) вода подогревается до температуры насыщения, испаряется, а выделившийся из кипящей (котловой) воды насыщенный пар перегревается. При сжигании топлива образуются продукты сгорания – теплоноситель, который в поверхностях нагрева отдает теплоту воде и пару, называемый рабочим телом. После поверхности нагрева продукты сгорания при относительно низкой температуре удаляются из котла через дымовую трубу в атмосферу. В результате горения твердого топлива остаются зола и шлак, которые также удаляются из агрегата. Полученный в котле перегретый пар поступает в турбину (2), где его тепловая энергия превращается в механическую, передаваемая валу турбины. С турбиной связан электрический генератор (1), в котором механическая энергия превращается в электрическую. Отработавший пар из турбины направляется в конденсатор (30), в котором пар охлаждается водой какого-либо природного (река, озеро, пруд, море) или искусственного (градирня) источника и конденсируется.

Конденсатным насосом (29) конденсат перекачивают через ПНД (28) в деаэратор (4). Из деаэратора вода питательным насосом (27) через ПВД (26) подается в паровой котел.

Для восполнения утечек требуется добавка воды, предварительно обрабатываемой в водоподготовительной установке (31) . На ТЭЦ эта добавка может достигать 30-50% и более.



1 - эл. генератор; 2 - турбина; 3 - щит управления; 4 - деаэратор; 5 - бункер сырого топлива; 6 - бункер угольной пыли; 7 - сепаратор; 8 - циклон; 9 - паровой котел; 10 - поверхности нагрева котла; 11 - дымовая труба; 12 - дробильное помещение; 13 - резервный склад;

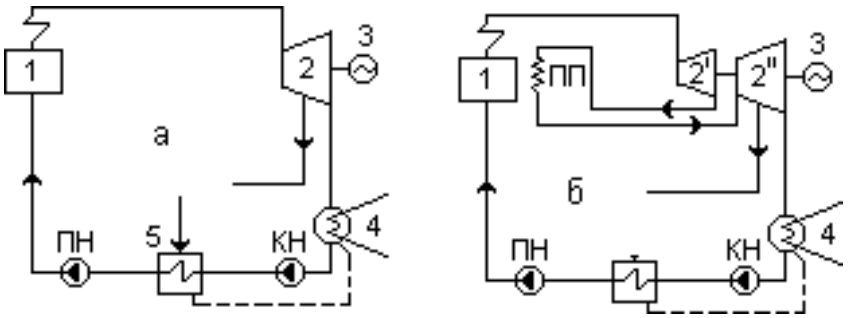
14 - жд. вагоны; 15 - разгрузочный бункер; 16 - конвейеры; 17 - дымососы; 18 - каналы гидрозолоудаления; 19 - золоуловитель; 20 - дутьевой вентилятор; 21 - топка котла; 22 - мельница; 23 - береговая насосная станция; 24 -

водоем; 25 - насосы; 26 - ПВД;27 - питательные насосы; 28 - ПНД; 29 - конденсатные насосы; 30 - конденсаторы; 31 - ХОВ; 32 - трансформаторы электроэнергии.

Рисунок 1.1 - Схема ТЭС на твердом топливе

1.3 Паровой котел в технологической схеме производства пара

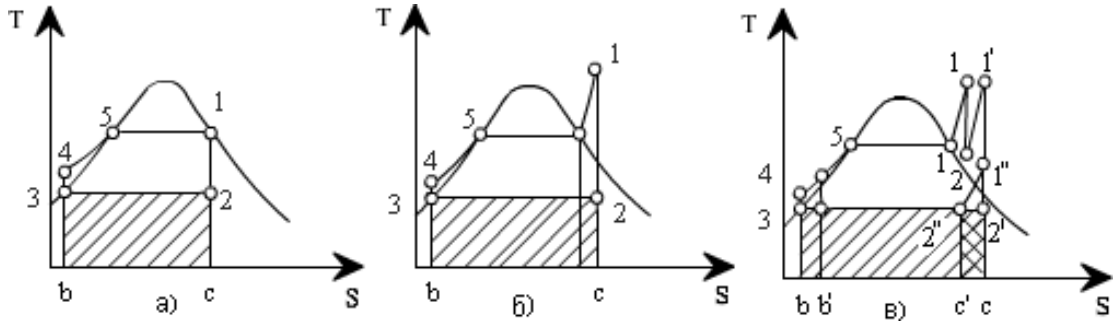
Паротурбинная установка состоит из трех основных агрегатов: парового котла, паровой турбины и электрогенератора (см. рисунок 1.2). Тепловую эффективность работы паротурбинной установки можно оценить, если построить термодинамический цикл преобразования энергии - цикл Ренкина (см. рисунок 1.3). В цикле на насыщенном паре средний уровень температуры подвода теплоты довольно низкий и КПД цикла не превышает 30 %.



1 - паровой котел; 2 - паровая турбина; 3 - электрогенератор; 4 - конденсатор; 5 - регенеративный подогреватель воды; ПН - питательный насос; КН - конденсатный насос; ПП - промежуточный пароперегреватель.

а) - без промежуточного перегрева пара; б) - с промежуточным перегревом пара.

Рисунок 1.2 - Принципиальная тепловая схема паротурбинной энергоустановки



а) - на насыщенном паре; б) - с перегревом пара; в) - с двукратным перегревом пара.

Рисунок 1.3 - Циклы паротурбинной установки в Т, S-диаграмме

Значительно выгоднее цикл с перегревом пара (см. рисунок 1.2,б, 1.3, б), состоящий из двух циклов: цикла получения насыщенного пара и дополнительного цикла его перегрева. При этом средний температурный уровень подвода теплоты во втором цикле значительно выше, чем в первом, его тепловая эффективность больше, поэтому такой цикл в целом имеет более

высокий КПД (до 40 %). На современных ТЭС мощностью 100 МВт и выше применяется в основном однократный промежуточный перегрев пара. В отдельных установках большой мощности применяется двойной промежуточный перегрев пара (см. рисунок 1.3, в), который дополнительно увеличивает КПД турбинной установки. При переходе на сверхкритическое давление пара тепловая экономичность ТЭС приблизилась к своему термодинамическому пределу (КПД 42 %).

1.4 История развития парового котла

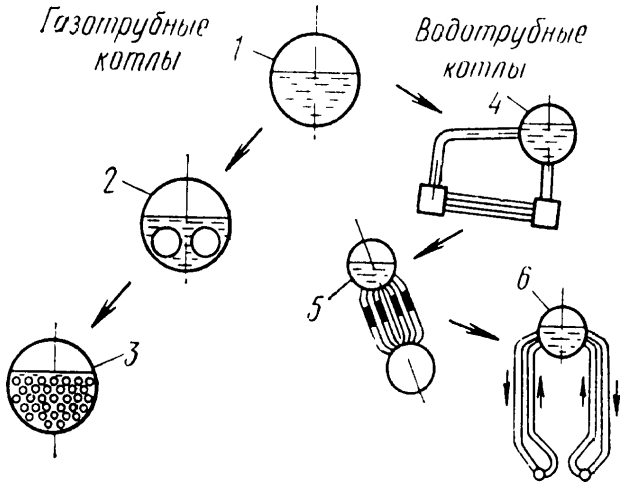
Упоминания о паровом котле как о парогенераторе, отделённом от топки, встречаются в работах учёных: Делла Порта (1601), С.де Ко (1615), Э.С. Вустера (1663). Однако промышленное применение парового котла началось на рубеже 17-18 века, в связи с бурным развитием промышленности. Ранние конструкции парового котла по форме напоминали шар, изготовленный из меди или чугуна.

Одним из первых «настоящих» паровых считают котёл Д. Папена (1680 г). Развитие парового котла шло по двум направлениям: увеличения числа потоков газов (газотрубные) и увеличения числа потоков воды и пара (водотрубные) (см. рисунок 1.4). Газотрубные котлы отличались от цилиндрических - относительно малыми размерами и высоким КПД (до 60 %), при этом D=1-5 т/ч, и $P_б$=1,5-1,8 МПа. Поэтому газотрубные котлы сохранились только на транспортных установках (паровозы, пароходы), а из стационарных установок они полностью вытеснены водотрубными котлами.

Развитием цилиндрического котла стала серия водотрубных котлов, которые характеризуются применением тепловоспринимающей поверхности, выполненной в виде большого числа труб (d=60□80 мм), находящихся непосредственно в потоке горячих газов (см. рисунок 1.5, в÷к). В результате значительно возросли паропроизводительность и давление насыщенного пара. В вертикально - водотрубном котле (см. рисунок 1.5, и, к) получение перегретого пара происходит в змеевиковой поверхности пароперегревателя, а сжигание топлива осуществляется во взвешенном состоянии в топочной камере, все стены которой закрыты вертикальными трубами (где нагревается и частично испаряется вода при высоком давлении).

В конструкции такого котла в опускном газоходе после выхода из теплообменной парообразующей трубной поверхности впервые установлена трубная змеевиковая поверхность для подогрева поступающей в барабан воды - *экономайзер*. Для улучшения сжигания топлива воздух подогревается в опускном газоходе котла в поверхности *воздухоподогревател*,.

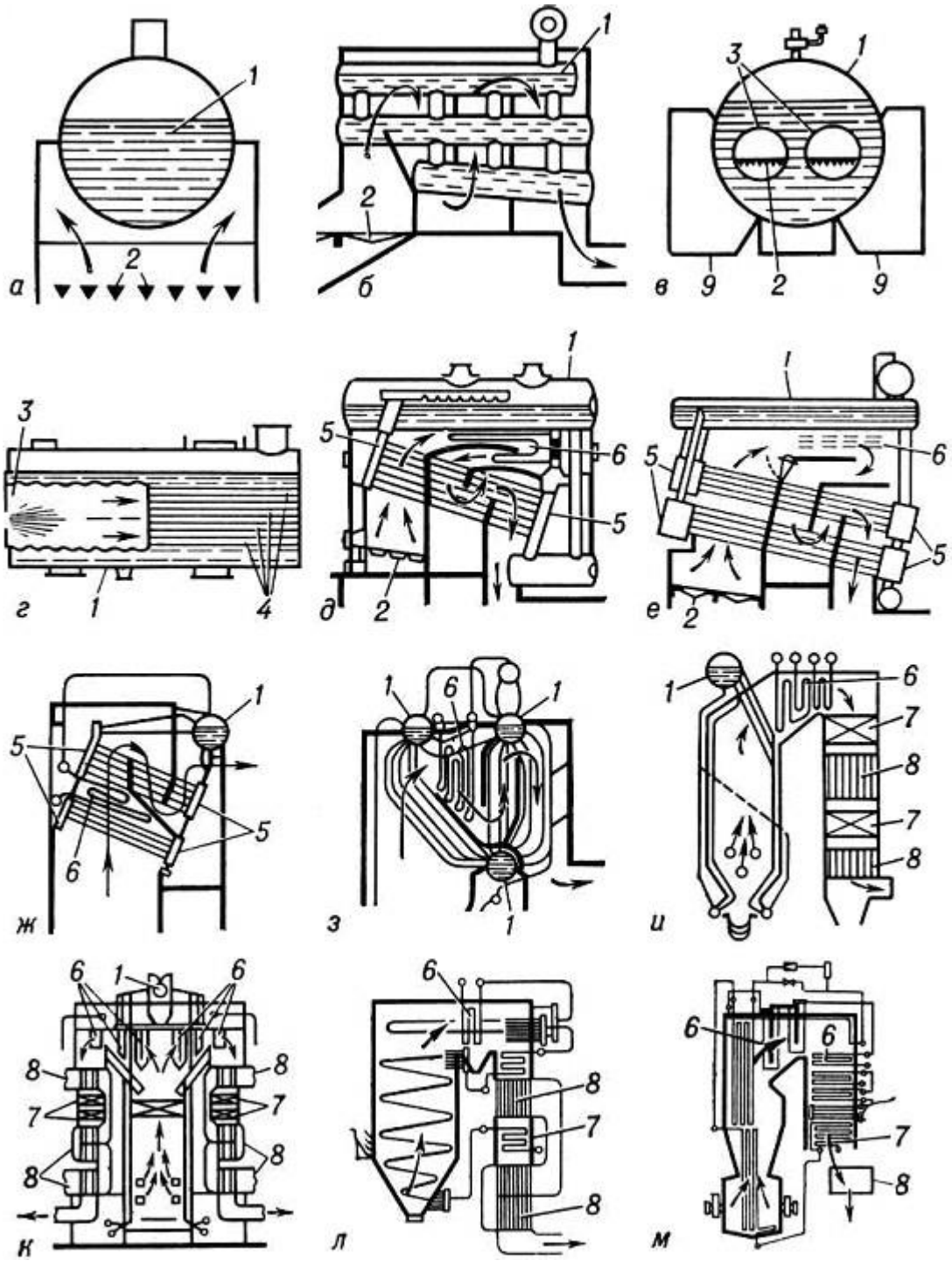
Дальнейшим развитием типов паровых котлов явилось создание прямоточных котлов (см. рисунок 1.5, л,м), в которых нет четкой границы между экономайзерной, испарительной и перегревательной поверхностями.



1- цилиндрический котел; 2 – жаротрубный котел; 3 – дымогарный котел;

4, 5 – горизонтально и вертикольно водотрубный котел; 6 – экранный водотрубный котел.

Рисунок 1.4 – Схема развития конструктивных форм паровых котлов.



1-барабан; 2-колосниковая решётка; 3-жаровая труба; 4-дымогарная труба;

5-сборная камера; 6-пароперегреватель; 7-водяной экономайзер; 8 - воздухоподогреватель;9 - газоход.

а)-цилиндрический; б)- батарейный; в) - жаротрубный; г) - жаротрубно-дымогарный; д) - камерный горизонтально-водотрубный; е) - камерный горизонтально-водотрубный (В.Г. Шухова); ж) - двухсекционный горизонтально-водотрубный («морской»); з) - вертикально - водотрубный с гнутыми трубами; u) - вертикально-водотрубный с П-образной компоновкой;

к) - вертикально-водотрубный с Т-образной компоновкой; л) - прямоточный (Л. К. Рамзина); м) - прямоточный котёл ТПП-210А.

Рисунок 1.5 - Схема развития типов котлов

1.5 Основные определения и термины

Котельная установка (далее КУ) - это комплекс устройств, предназначенных для получения пара или горячей воды.

Паровой котел - это техническое сооружение, в котором для получения пара требуемых параметров используют теплоту выделяющегося при сгорании органического топлива. Паровой котел представляет собой систему теплообменников для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования тепла, выделяющегося при сжигании топлива, которое подается в топку вместе с необходимым для горения воздухом.

Основными элементами парового котла являются теплообменные поверхности нагрева, предназначенные для передачи теплоты от образующихся при сжигании топлива газообразных продуктов сгорания (теплоносителя) к воде, пароводяной смеси, пару или воздуху, *называемым рабочим теплом*.

По происходящим процессам преобразования рабочего тела различают нагревательные (*экономайзер, воздухоподогреватель*), *испарительные и паронагревательные поверхности нагрева*.

Поступающая в паровой котел вода, как правило, недогрета до кипения и называется *питательной водой*. При прохождении по поверхностям нагрева котла она постепенно нагревается до состояния насыщения, испаряется, а выделившийся из кипящей (*котловой*) воды насыщенный пар перегревается до заданной температуры. При этом теплота от продуктов сгорания может передаваться излучением (радиацией) или конвекцией.

В соответствии с этим различают поверхности нагрева: *радиационные,* получающие теплоту от продуктов сгорания в основном за счет их излучения; *конвективные,* получающие теплоту от продуктов сгорания преимущественно конвекцией; *радиационно-конвективные* (полурадиационные), получающие теплоту излучением и конвекцией примерно в равных количествах.

Для нормальной работы котла требуется обеспечить подачу, подготовку и сжигание топлива, подачу окислителя (воздуха) для горения, а также очистку и удаление образующихся продуктов сгорания - дымовых газов, золы и шлака (при сжигании твердого топлива и т.д.).

Вспомогательное оборудование, предназначенное для этих целей, включает:

- *систему пылеприготовления;*
- *тягодутьевые устройства;*
- *золоулавливающее и шлакозолоудаляющее оборудование;*
- *водоподготовительные;*
- *питательные установки.*

Для удобства рассмотрения схемы котельной установки целесообразно представить ее в виде отдельных трактов соответствующего назначения: *топливный, пароводяной, газовоздушный* (см. рисунок 1.6).

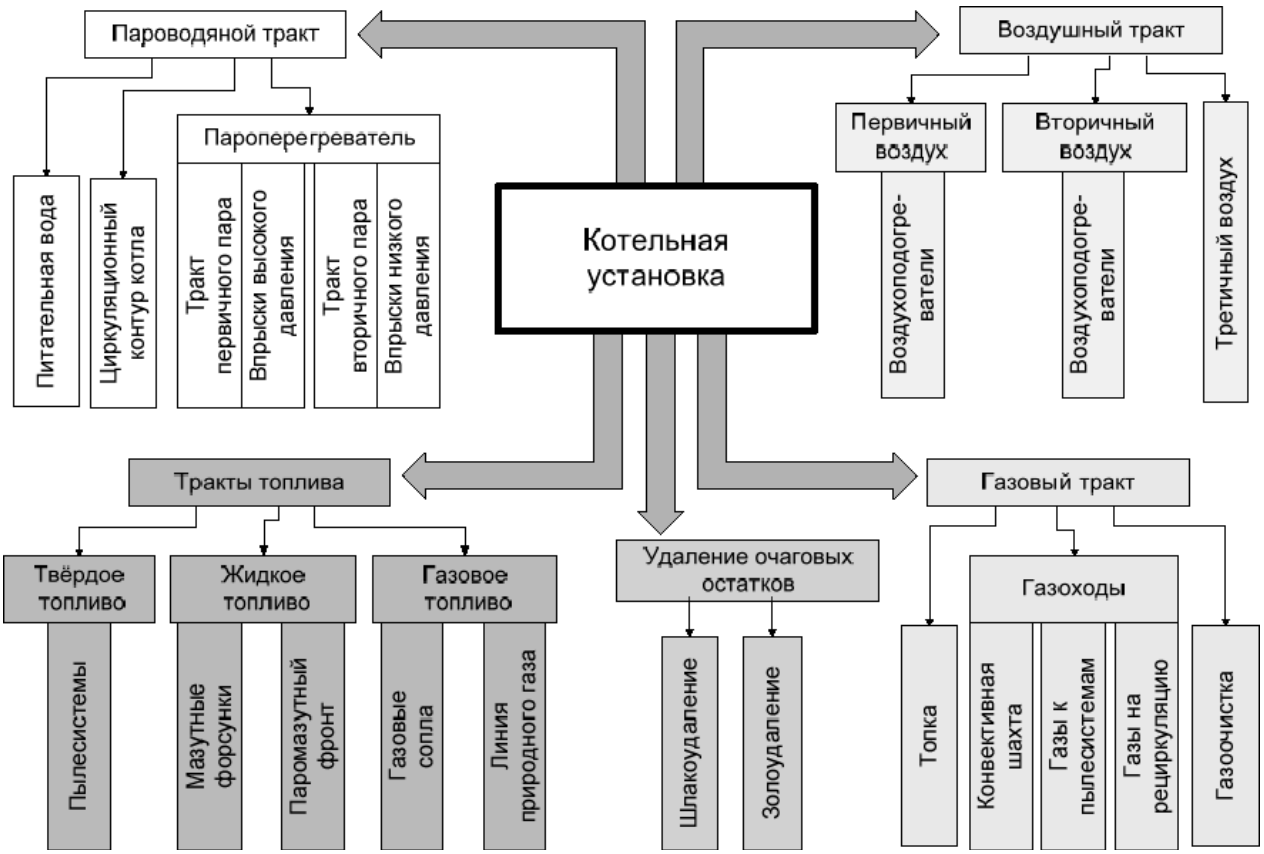


Рисунок 1.6 – Функциональные узлы котельных установок