

# Котельные и турбинные установки ТЭС. Понятие о теплофикации

Автор – доцент каф. ТиГ ВятГУ  
Суворов Дмитрий Михайлович  
*E-mail: [dmilar@mail.ru](mailto:dmilar@mail.ru)*

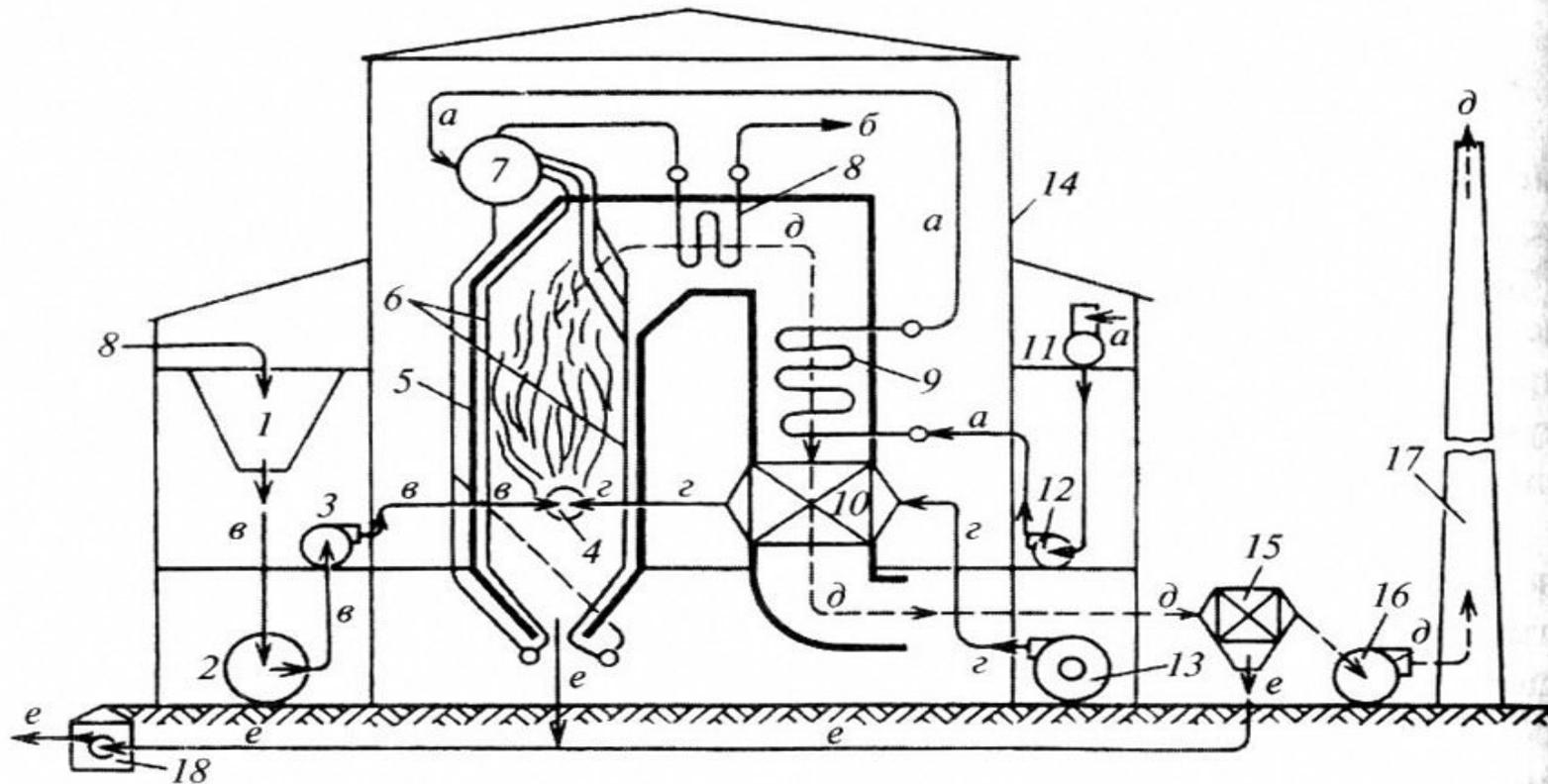
# Котельные установки

- **Котельный агрегат (котельная установка)** – комплекс устройств, предназначенных для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяющейся при сжигании топлива.
- В зависимости от назначения котельная установка состоит из **парового** или **водогрейного** котла и соответствующего вспомогательного оборудования, обеспечивающего его работу.
- Котельные агрегаты, использующие (утилизирующие) теплоту уходящих газов различных технологических процессов вместо теплоты горения топлива называются **котлами-утилизаторами**.

# Котельные установки

- Вспомогательное оборудование котельной установки:
  - дутьевые вентиляторы и дымососы — для подачи воздуха в котел и удаления из него в атмосферу продуктов сгорания;
  - бункера, питатели сырого топлива и пыли, углеразмольные мельницы — для обеспечения непрерывного транспорта и приготовления пылевидного топлива требуемого качества;
  - золоулавливающее и золошлакоудаляющее оборудование — комплекс устройств для очистки дымовых газов от золовых частиц с целью охраны окружающей среды от загрязнения и для организованного отвода уловленной золы и шлака;
  - устройства для профилактической очистки наружной поверхности труб котла от загрязнений;
  - контрольно-измерительную аппаратуру;
  - водоподготовительные установки — комплекс устройств для обеспечения обработки исходной (природной) воды до заданного качества.
- Для удобства рассмотрения схемы котельной установки целесообразно представить ее в виде отдельных трактов соответствующего назначения: топливного, воздушного, газового, пароводяного и золошлакоудаляющего.

# Котельные установки



**Рис. 7.1.** Технологическая схема котельной установки:

*a* — водяной тракт; *б* — перегретый пар; *в* — топливный тракт; *г* — путь движения воздуха; *д* — тракт продуктов сгорания; *е* — путь золы и шлака; 1 — бункер топлива; 2 — углеразмельняющая мельница; 3 — мельничная вентилятор; 4 — горелки; 5 — контур топки и газоходов котельного агрегата; 6 — экраны топки; 7 — барабан; 8 — пароперегреватель; 9 — водяной экономайзер; 10 — воздухоподогреватель; 11 — бак запаса воды с деаэрационным устройством; 12 — питательный насос; 13 — вентилятор; 14 — контур здания котельной (помещения котельного отделения); 15 — золоулавливающее устройство; 16 — дымосос; 17 — дымовая труба; 18 — насосная для откачки золошлаковой пульпы

# Котельные установки

- Основными элементами парового котла являются **поверхности нагрева** — теплообменные поверхности, предназначенные для передачи теплоты от теплоносителя к рабочему телу (вода, пароводяная смесь, пар или воздух).
- По происходящим процессам преобразования рабочего тела различают **нагревательные, испарительные и пароперегревательные** поверхности нагрева.
- Теплота от продуктов сгорания может передаваться излучением (радиацией) или конвекцией. В соответствии с этим различают поверхности нагрева:
  - радиационные — получающие в основном теплоту от продуктов сгорания за счет их излучения;
  - конвективные — с преимущественным получением теплоты конвекцией;
  - радиационно-конвективные — получающие теплоту излучением и конвекцией примерно в равных количествах.
- **Экономайзер** — обогреваемое продуктами сгорания устройство, предназначенное для подогрева (или для подогрева и частичного парообразования) воды, поступившей в паровой котел.

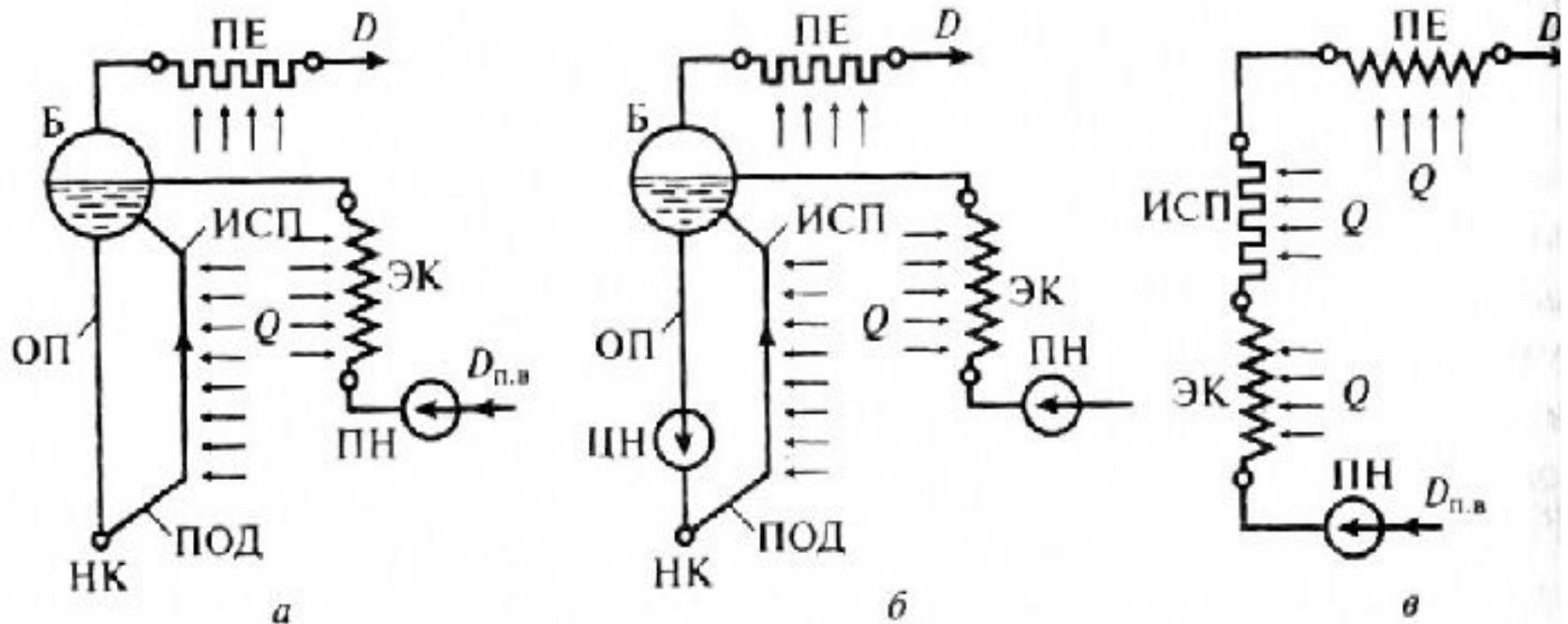
В соответствии с этим различают экономайзеры некипящего или кипящего типа.

- **Топочные экраны (или просто экраны) парового котла** — это поверхности нагрева, состоящие из труб, расположенных в одной плоскости у стен топочной камеры и способствующих ограждению последних от воздействия высоких температур. Экраны могут устанавливаться и внутри топки, подвергая двухстороннему облучению. В этом случае они называются двухсветными.

В прямоточных котлах докритического давления испарительные топочные экраны располагают в нижней части топки. Поэтому их называют нижней радиационной частью (НРЧ).

# Котельные установки.

## Классификация паровых котлов



**Рис. 7.2.** Схемы генерации пара в паровых котлах:  
*а* — естественная циркуляция; *б* — многократная принудительная циркуляция; *в* — прямоточная схема; Б — барабан; ИСП — испарительные поверхности; ПЕ — пароперегреватель; ЭК — водяной экономайзер;  $D$  — расход пара;  $D_{п.в}$  — расход питательной воды; ПН — питательный насос; ЦН — циркуляционный насос; НК — нижний коллектор;  $Q$  — подвод тепла; ОП — опускные трубы; ПОД — подъемные трубы

# Котельные установки

## Классификация паровых котлов

- По виду сжигаемого топлива различают паровые котлы для газообразного, жидкого и твердого топлива.
- По особенностям газовоздушного тракта различают котлы с **естественной тягой**, с **уравновешенной тягой** и с **наддувом**.

Паровые котлы, в которых движение воздуха и продуктов сгорания обеспечивается напором, возникающим под действием разности плотностей атмосферного воздуха и газа в дымовой трубе, называются **котлами с естественной тягой**.

Если сопротивление газового тракта (так же как и воздушного) преодолевается работой дутьевых вентиляторов, то котлы работают с **наддувом**. Котлы, в которых давление в топке и начале горизонтального газохода (перед поверхностью нагрева) поддерживается близким к атмосферному совместной работой дутьевых вентиляторов и дымососов, называют **котлами с уравновешенной тягой**. В этих котлах воздушный тракт находится под давлением и его сопротивление преодолевается с помощью дутьевого вентилятора, а газовый тракт находится под разрежением (сопротивление этого тракта преодолевается дымососом).

- По виду водопарового (пароводяного) тракта различают **барабанные** и **прямоточные** котлы. В барабанных котлах пароводяная смесь в замкнутом контуре, включающем барабан, коллекторы и испарительные поверхности нагрева, проходит многократно.

# Котельные установки

- По фазовому состоянию выводимого из котла (топки) шлака различают котлы с **твердым и жидким шлакоудалением**. В котлах с твердым шлакоудалением (ТШУ) шлак из топки удаляется в твердом состоянии, а в котлах с жидким шлакоудалением (ЖМУ) шлак удаляется в расплавленном состоянии.
- Паровые котлы характеризуются **основными параметрами: номинальной паропроизводительностью, давлением, температурой пара (основного и промежуточного перегрева) и питательной воды**.
- Под **номинальной паропроизводительностью** понимают наибольшую нагрузку (т/ч или кг/с), которую стационарный котел должен обеспечивать в длительной эксплуатации при сжигании основного топлива (или при подводе номинального количества теплоты) при номинальных значениях температуры пара и питательной воды (с учетом допускаемых отклонений). **Номинальными давлением и температурой пара** считают те, которые должны быть обеспечены непосредственно перед паропроводом к потребителю пара при номинальной производительности котла (для температуры — дополнительно при номинальном давлении и температуре питательной воды).
- **Номинальной температурой промежуточного перегрева пара** называют температуру пара непосредственно за промежуточным пароперегревателем котла при номинальных значениях давления пара, температуры питательной воды, паропроизводительности, а также номинальных значениях остальных параметров пара промежуточного перегрева с учетом допускаемых отклонений. **Номинальная температура питательной воды** — это температура, которую необходимо обеспечить перед входом воды в экономайзер или в другой относящийся к котлу подогреватель питательной воды (при их отсутствии — перед входом в барабан котла) при номинальной паропроизводительности.
- По параметрам рабочего тела различают котлы **низкого** (менее 1 МПа), **среднего** (1 — 10 МПа), **высокого** (10 — 22,5 МПа) и **сверхкритического давления** (более 22,5 МПа). Наиболее характерные особенности котла и основные параметры вводятся в его обозначение. В принятых по ГОСТ 3619—82 обозначениях указывается тип котла, паропроизводительность (т/ч) и давление (МПа), температура перегрева и промежуточного перегрева пара, вид сжигаемого топлива и системы шлакоудаления для твердого топлива и некоторые другие особенности.
- Буквенные обозначения типа котла и вида сжигаемого топлива: **Е** — с естественной циркуляцией, **Пр** — с принудительной циркуляцией, **П** — прямоточный, **Пп** — прямоточный с промежуточным перегревом; **Еп** — барабанный с естественной циркуляцией и промежуточным перегревом; **Г** — газообразное топливо, **М** — мазут, **Б** — бурые угли, **К** — каменные угли, **Т, Ж** — соответственно с твердым и жидким шлакоудалением. Например, котел барабанный с естественной циркуляцией производительностью 210 т/ч с давлением 13,8 МПа и температурой перегрева пара 565° С на каменном угле с твердым шлакоудалением обозначают: Е-210-13,8-565 КТ.

# Котельные установки

## Особенности и принцип работы

### Барабанные котлы

- Наличие барабана, в котором зафиксирована граница раздела между паром и водой, является отличительной чертой этих котлов. Питательная вода после экономайзера подается в барабан, где смешивается с котловой водой (водой, заполняющей барабан). Верхняя часть объема барабана заполнена паром и называется паровым объемом (пространством) барабана, нижняя, заполненная водой, называется водяным объемом, а поверхность раздела между ними — зеркалом испарения.
- Смесь котловой и питательной воды по опускным необогреваемым трубам из барабана поступает в нижние распределительные коллектора, питающие испарительные поверхности. Вода, поднимаясь по трубам этих поверхностей, воспринимает теплоту от продуктов сгорания топлива (топочных газов), нагревается до температуры насыщения, а затем частично испаряется. Из обогреваемых труб полученная пароводяная смесь поступает в барабан, где происходит разделение пара и воды. Уровень воды (зеркало испарения) делит барабан на водный и паровой объемы. Из последнего пар по трубам, расположенным в верхней части барабана, направляется в пароперегреватель. Вода же, смешиваясь в водяном объеме с питательной водой, поступающей из экономайзера, вновь направляется в опускные трубы.

### Прямоточные котлы

- В прямоточных котлах отсутствует барабан. Питательная вода в них, как и в барабанных котлах, последовательно проходит экономайзер, испарительные и пароперегревательные поверхности. Движение рабочей среды по поверхностям нагрева однократное. Осуществляется оно за счет напора, создаваемого питательным насосом. Вода, поступающая в испарительную поверхность, на выходе из нее полностью превращается в пар. Это позволяет отказаться от тяжелого и громоздкого барабана.

# Котельные установки

## Водогрейные котлы

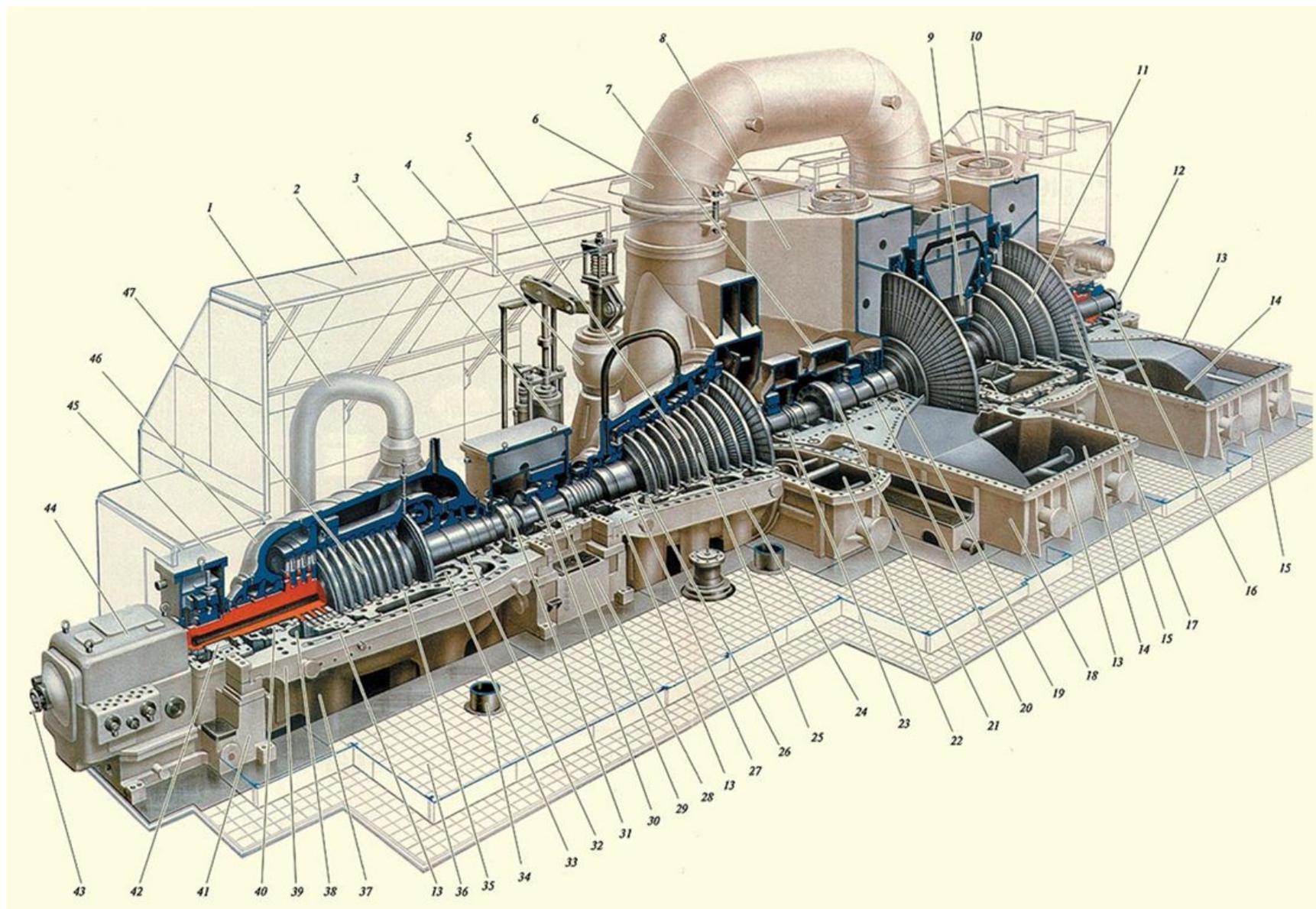
- Подогрев воды на ТЭЦ для нужд отопления (теплоснабжения потребителей) производят в сетевых подогревателях паром из теплофикационных (регенеративных) отборов турбины. В то же время для покрытия пиковых тепловых нагрузок в отопительный период широко используются водогрейные и пароводогрейные котлы.
- Котлы типа КВГМ тепловой мощности 4; 6,5; 10; 20 и 30 Гкал/ч (4,8—35 МВт) имеют горизонтально расположенную топку и поверхности нагрева с прямоточным принудительным движением воды.
- При увеличении тепловой мощности наиболее распространенными стали П-образные и башенные компоновки котлов, причем наряду с применением жидкого и газового топлива появились водогрейные котлы со слоевым сжиганием твердого топлива.
- В зависимости от температуры поступающей сетевой воды и ее расхода котел без переделки может работать по четырехходовой (в зимний период) или двухходовой (в летний период) схеме циркуляции воды.



# Котельные установки

**Изучение и расчет теплового баланса и  
КПД котельного агрегата**

# Паротурбинный агрегат К-210-12,7 в разрезе



# Паровые турбины

- Типичная паровая турбина (К-210-12,7 ПО ЛМЗ) показана на рисунке (см. предыдущий слайд). Для того чтобы увидеть внутреннее устройство турбины, при ее изображении «вырезана» передняя верхняя четверть. Точно также показана лишь задняя часть кожуха 2. Турбина состоит из трех цилиндров (ЦВД, ЦСД и ЦНД), нижние половины корпусов которых обозначены соответственно 39, 24 и 18. Каждый из цилиндров состоит из статора, главным элементом которого являются неподвижный корпус, и вращающегося ротора. Отдельные роторы цилиндров (ротор ЦВД 47, ротор ЦСД 5 и ротор ЦНД 11) жестко соединяются муфтами 31 и 21. К полумуфте 12 присоединяется полумуфта ротора электрогенератора (не показан), а к нему — ротор возбудителя. Цепочка из собранных отдельных роторов цилиндров, генератора и возбудителя называется валопроводом. Его длина при большом числе цилиндров (а самое большое их число в современных турбинах — 5) может достигать 80 м.
- Валопровод вращается во вкладышах 42, 29, 23, 20 и т.д. опорных подшипников скольжения на тонкой масляной пленке и не касается металлической части вкладышей подшипников. Как правило, каждый из роторов размещают на двух опорных подшипниках. Иногда между роторами ЦВД и ЦСД устанавливают только один общий для них опорный подшипник (см. позицию 29 на рис.). Расширяющийся в турбине пар заставляет вращаться каждый из роторов, возникающие на них мощности складываются и достигают на полумуфте 12 максимального значения.
- К каждому из роторов приложено осевое усилие. Они суммируются, и их результирующая осевая сила передается с гребня 30 на упорные сегменты, установленные в корпусе упорного подшипника.
- Каждый из роторов помещают в корпус цилиндра (см., например, поз. 24). При больших давлениях (а в современных турбинах оно может достигать 30 МПа » 300 ат) корпус цилиндра (обычно ЦВД) выполняют двухстенным (из внутреннего 35 и внешнего 46 корпусов). Это уменьшает разность давлений на каждый из корпусов, позволяет сделать его стенки более тонкими, облегчает затяжку фланцевых соединений и позволяет турбине при необходимости быстро изменять свою мощность.
- Все корпуса в обязательном порядке имеют горизонтальные разъемы 13, необходимые для установки роторов внутри цилиндров при монтаже, а также для легкого доступа внутрь цилиндров при ревизиях и ремонтах. При монтаже турбины все плоскости разъемов нижних половин корпусов устанавливают специальным образом (для простоты можно считать, что все плоскости разъема совмещают в одной горизонтальной плоскости). При последующем монтаже ось валопровода помещают в эту плоскость разъема, что обеспечивает центровку — ось валопровода будет точно совпадать с осью кольцевых расточек корпусов. Этим будут исключены задевания ротора о статор, которые могут привести к тяжелой аварии.

# Паровые турбины

- Пар внутри турбины имеет высокую температуру, а ротор вращается во вкладышах на масляной пленке, температура масла которой как по соображениям пожаробезопасности, так и необходимости иметь определенные смазочные свойства, не должна превышать 100 °С (а температура подаваемого и отводимого масла должна быть еще ниже). Поэтому вкладыши подшипников выносят из корпусов цилиндров и размещают их в специальных строениях — *опорах* (см. поз. 45, 28, 7 на рис.). Таким образом, вращающиеся концы каждого из роторов соответствующего цилиндра необходимо вывести из невращающегося статора, причем так, чтобы с одной стороны исключить какие-либо (даже малейшие) задевания ротора о статор, а с другой — не допустить значительную утечку пара из цилиндра в зазор между ротором и статором, так как это снижает мощность и экономичность турбины. Поэтому каждый из цилиндров снабжают *концевыми уплотнениями* (см. поз. 40, 32, 19) специальной конструкции.
- Турбина устанавливается в главном корпусе ТЭС на верхней фундаментной плите 36. В плите выполняются прямоугольные окна по числу цилиндров, в которых размещаются нижние части корпусов цилиндров, а также осуществляется вывод трубопроводов, питающих регенеративные подогреватели, паропроводы свежего и вторично перегретого пара, переходный патрубок к конденсатору.
- После изготовления турбина проходит контрольную сборку и опробование на заводе-изготовителе. После этого ее разбирают на более-менее крупные блоки, доводят до хорошего товарного вида, консервируют, упаковывают в деревянные ящики и отправляют для монтажа на ТЭС.
- При работе турбины пар из котла по одному или нескольким паропроводам (это зависит от мощности турбины) поступает сначала к главной паровой задвижке, затем к стопорному (одному или нескольким) и, наконец, к регулирующим клапанам (чаще всего — 4). От регулирующих клапанов (на рис. не показаны) пар по перепускным трубам 1 (на рис. их четыре: две из них присоединены к крышке 46 внешнего корпуса ЦВД, а две других подводят пар в нижние половины корпуса) подается в паровпускную камеру 33 внутреннего корпуса ЦВД. Из этой полости пар попадает в *проточную часть* турбины и, расширяясь, движется к выходной камере ЦВД 38. В этой камере в нижней половине корпуса ЦВД имеются два выходных патрубка 37. К ним приварены паропроводы, направляющие пар в котел для промежуточного перегрева.
- Вторично перегретый пар по трубопроводам поступает через стопорный клапан (не показан на рис.) к регулирующим клапанам 4, а из них — в паровпускную полость ЦСД 26. Далее пар расширяется в проточной части ЦСД и поступает в его выходной патрубок 22, а из него — в две перепускные трубы 6, которые подают пар в паровпускную камеру ЦНД 9. В отличие от однопоточных ЦВД и ЦСД, ЦНД почти всегда выполняют двухпоточными: попав в камеру 9, пар расходится на два одинаковых потока и, пройдя их, поступает в выходные патрубки ЦНД 14. Из них пар направляется вниз в конденсатор. Перед передней опорой 41 располагается блок регулирования и управления турбиной 44. Его механизм управления 43 позволяет пускать, нагружать, разгружать и останавливать турбину.

# Проточная часть и принцип действия паровой турбины

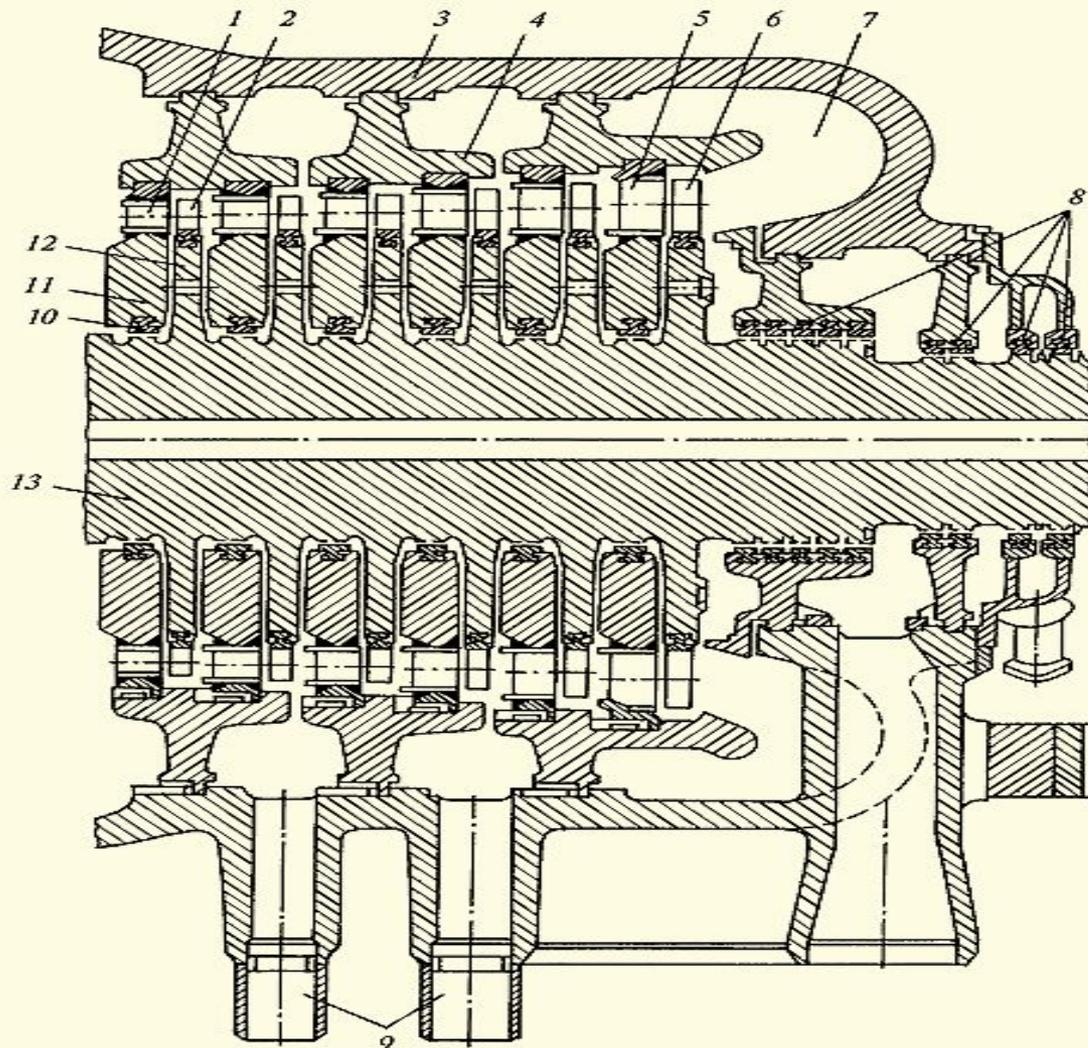


Рис. 6.2. Фрагмент проточной части турбины с выходным патрубком

# Проточная часть и принцип действия паровой турбины

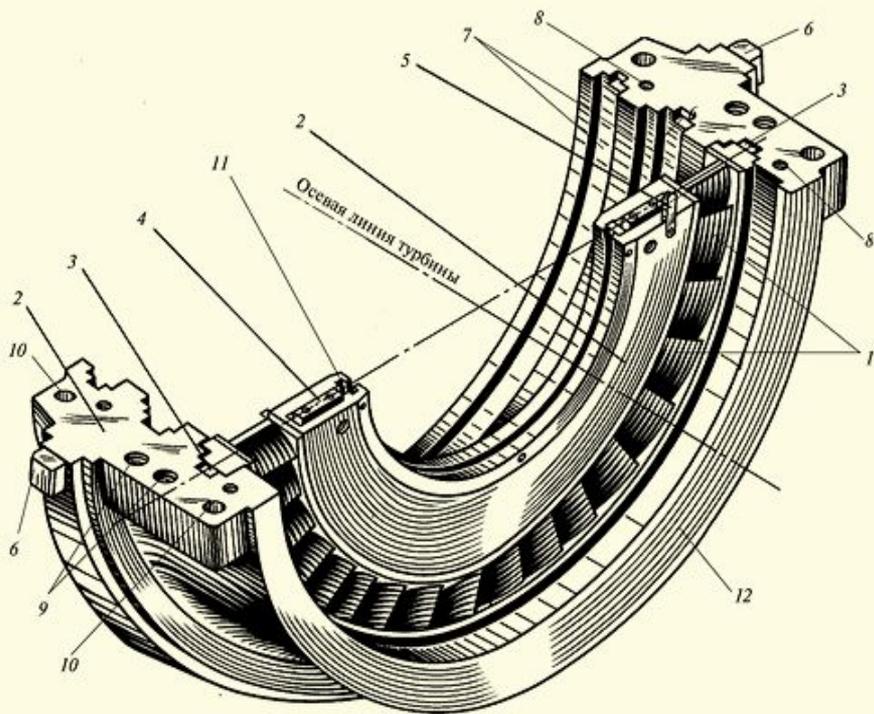


Рис. 6.3. Диафрагма, помещенная в обойму (пар протекает слева направо)

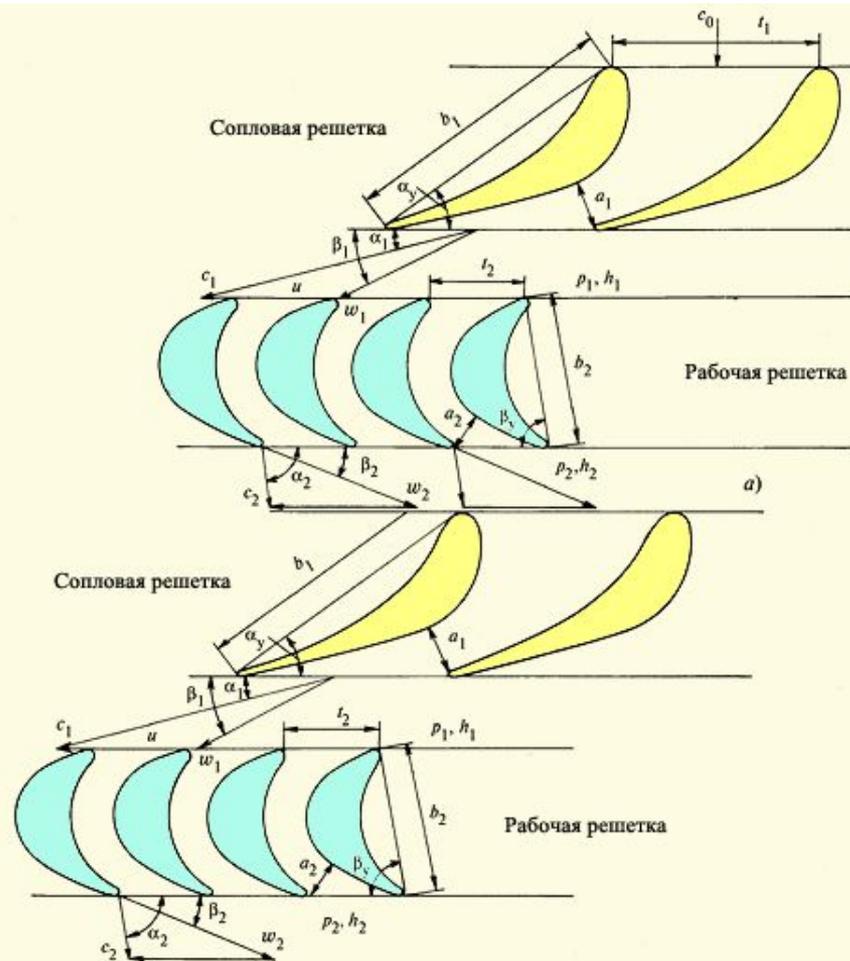


Рис. 6.6. Течение пара в последовательно расположенных решетках турбины

# Проточная часть и принцип действия паровой турбины

- На рис. 6.2 показан фрагмент проточной части паровой турбины и охватывающих ее деталей. Собственно проточная часть состоит из чередующихся кольцевых **сопловых решеток 1** и **рабочих решеток 2**. Совокупность одной сопловой и одной рабочей решетки называют **ступенью турбины**. Это название происходит из того, что потенциальная энергия пара преобразуется в кинетическую энергию вращения ротора порциями (ступенями).
- Сопловая решетка состоит (рис. 6.3) из одинаковых **сопловых лопаток 1**, установленных по окружности на равном расстоянии друг от друга (шагом). Сопловые лопатки имеют вполне определенный профиль в сечении, и поэтому между сопловыми лопатками образуется вполне определенный сопловый канал (сопло) для прохода пара. Сопловые лопатки закреплены в диафрагме 2 (см. также поз. 11 на рис. 6.2), имеющей горизонтальный разъем, необходимый для установки ротора при монтаже.
- Диафрагма — это кольцевая перегородка, которая подвешивается двумя лапками 3 на уровне горизонтального разреза в кольцевой расточке обоймы. Обойма охватывает несколько диафрагм (две, три и более) — отсюда и ее название. В свою очередь обойма 12 лапками 6 (см. рис. 6.2 рис. 6.3) подвешивается в корпусе 3 (см. рис. 6.2) турбины.
- Кольцевое пространство между обоймами часто используется для камеры отбора пара на регенеративные подогреватели (см. патрубки 9 на рис. 6.2).

# Проточная часть и принцип действия паровой турбины

- Неподвижные в пространстве корпус 3 турбины, обоймы 4 и диафрагмы 11 (см. рис. 6.2) обеспечивают неподвижность сопловых каналов сопловой решетки. Сами каналы, благодаря особой форме сопловых лопаток и их установке в решетках, выполняются суживающимися: площадь для прохода пара на выходе из сопловой решетки выполняется в несколько раз меньше, чем на входе. Далее, если иметь в виду, что объем пара за сопловой решеткой больше, чем на входе, так как давление за ней меньше, то ясно, что скорость пара на выходе из решетки будет в несколько раз больше, чем на входе. Действительно, если на входе в сопловую решетку скорость пара 50—100 м/с, то на выходе из нее — 300—400 м/с и более.
- Далее, поток пара не только приобретает большую скорость, но и изменяет свое направление: выходные части сопловых лопаток (профилей) заставляют пар развернуться и двигаться в направлении не вдоль оси турбины (скорость  $c_0$ ), а поперек (говорят, что поток пара приобретает закрутку — окружное направление). Таким образом, из сопловых каналов выходит мощная закрученная кольцевая струя пара, ширина которой равна высоте сопловых лопаток. Часть потенциальной энергии пара преобразована сопловыми каналами в кинетическую энергию кольцевой струи пара, движущейся с огромной скоростью (обычно — это скорость несколько меньше скорости звука, но в некоторых ступенях — и больше ее).
- Теперь необходимо решить следующую задачу: заставить созданную кольцевую струю пара вращать вал 13 турбины (см. рис. 6.2). С этой целью ее направляют на кольцевую решетку профилей, образованную рабочими лопатками 2. Для этого, прежде всего рабочей решетке дают возможность вращаться: ее закрепляют на диске 12 ротора, который соединен с валом 13 и уложен во вкладыши опорных подшипников. Поэтому, если на рабочую лопатку будет действовать окружная сила, имеющая плечо относительно оси вращения, то ротор начинает вращаться. Эту силу создают с помощью специальной решетки профилей (рис. 6.6), создающей рабочие каналы вполне определенной формы (примерно постоянного сечения). Пар, протекающий через каналы рабочей решетки, изменяет свое направление, и это главная причина появления окружной силы  $F$ , действующей на каждую рабочую лопатку. Скорость пара в рабочей решетке уменьшается, так как вследствие окружной податливости рабочих лопаток поток пара как бы вязнет внутри канала. В результате из рабочей решетки пар выходит со скоростью  $c_2$  примерно равной скорости  $c_0$  на входе в сопловую решетку.
- Но поскольку давление и температура пара за ступенью меньше, чем перед ней из-за того, что в конденсаторе принудительно поддерживается низкое давление, и оно постепенно повышается к паровпускной части турбины), то часть кинетической энергии потока пара, идущего через ступень, преобразуется в механическую (вращательную) энергию ротора, которая, в конечном счете, передается ротору электрогенератора.

# Классификация паровых турбин

- **Транспортные** паровые турбины чаще всего используются для привода гребных винтов крупных судов.
  - **Стационарные** паровые турбины — это турбины, сохраняющие при эксплуатации неизменным свое местоположение.
1. **По назначению различают турбины энергетические, промышленные и вспомогательные**
    1. *Энергетические* турбины служат для привода электрического генератора, включенного в энергосистему, и отпуска тепла крупным потребителям, например жилым районам, городам и т.д. Их устанавливают на крупных ГРЭС, АЭС и ТЭЦ. *Энергетические турбины характеризуются, прежде всего, большой мощностью, а их режим работы — постоянной частотой вращения, определяемой постоянством частоты сети.*
    2. *Промышленные* турбины также служат для производства тепловой и электрической энергии, однако их главной целью является обслуживание промышленного предприятия, например, металлургического, текстильного, химического, сахароваренного и др. Часто генераторы таких турбин работают на маломощную индивидуальную электрическую сеть, а иногда используются для привода агрегатов с переменной частотой вращения, например воздуходувок доменных печей.
    3. *Вспомогательные* турбины используются для обеспечения технологического процесса производства электроэнергии — обычно для привода питательных насосов и воздуходувок котлов.

# Классификация паровых турбин

- 2. По виду энергии, получаемой от паровой турбины, их делят на конденсационные и теплофикационные.
  - *В конденсационных турбинах (типа К) пар из последней ступени отводится в конденсатор, они не имеют регулируемых отборов пара, хотя, как правило, имеют много нерегулируемых отборов пара для регенеративного подогрева питательной воды, а иногда и для внешних тепловых потребителей. Главное назначение конденсационных турбин — обеспечивать производство электроэнергии, поэтому они являются основными агрегатами мощных ТЭС и АЭС.*
  - *Теплофикационные турбины имеют один или несколько регулируемых отборов пара, в которых поддерживается заданное давление. Они предназначены для выработки тепловой и электрической энергии, и мощность самой крупной из них составляет 250 МВт. Теплофикационная турбина может выполняться с конденсацией пара и без нее. В первом случае она может иметь отопительные отборы пара (**турбины типа Т**) для нагрева сетевой воды для обогрева зданий, предприятий и т.д., или производственный отбор пара (**турбины типа П**) для технологических нужд промышленных предприятий, или тот и другой отборы (**турбины типа ПТ и ПР**). Во втором случае турбина носит название турбины с противодавлением (**турбины типа Р**). В ней пар из последней ступени направляется не в конденсатор, а обычно производственному потребителю. Таким образом, главным назначением турбины с противодавлением является производство пара заданного давления (в пределах 0,3—3 МПа). Турбина с противодавлением может также иметь и регулируемый теплофикационный или промышленный отбор пара, и тогда она относится к **типу ТР или ПР**.*

# Классификация паровых турбин

- 3. По используемым начальным параметрам пара паровые турбины можно разделить на турбины докритического и сверхкритического начального давления, перегретого и насыщенного пара, без промежуточного перегрева и с промежуточным перегревом пара.
  - Как известно, критическое давление для пара составляет примерно 22 МПа, поэтому все турбины, начальное давление пара перед которыми меньше этого значения, относятся к паровым турбинам *докритического* начального давления. На *докритические параметры* выполняются все паровые турбины для АЭС и ТЭЦ, а также турбины мощностью менее 300 МВт для ТЭС.
  - Все мощные конденсационные энергоблоки (300, 500, 800, 1200 МВт), а также теплофикационный энергоблок мощностью 250 МВт выполняют на сверхкритические параметры пара (СКД) — 240 ат (23,5 МПа) и 540 °С.
  - *Все турбины ТЭС и ТЭЦ работают на перегретом свежем паре, а АЭС — на насыщенном (с небольшой степенью влажности).*
  - Все мощные конденсационные турбины на докритические и сверхкритические параметры пара выполняют с *промежуточным перегревом*. Из теплофикационных турбин только турбина ЛМЗ на докритические параметры мощностью 180 МВт и турбина ТМЗ на СКД мощностью 250 МВт имеют промежуточный перегрев. Устаревшие конденсационные турбины мощностью 100 МВт и менее и многочисленные теплофикационные паровые турбины вплоть до мощности 185 МВт строятся без промперегрева.

# Классификация паровых турбин

4. По зоне использования турбин в графике электрической нагрузки паровые турбины можно разделить на базовые и полупиковые.
- *Базовые турбины* работают постоянно при номинальной нагрузке или близкой к ней. Они проектируются так, чтобы и турбина, и турбоустановка имели максимально возможную экономичность.
  - *Полупиковые турбины* создаются для работы с периодическими остановками на конец недели (с ночи пятницы до утра в понедельник) и ежесуточно (на ночь). Полупиковые турбины (и турбоустановки) с учетом их малого числа часов работы в году выполняют более простыми и соответственно более дешевыми.

# Классификация паровых турбин

5. По конструктивным особенностям паровые турбины можно классифицировать по числу цилиндров, частоте вращения и числу валопроводов.

- По числу цилиндров различают турбины **одно- и многоцилиндровые**. Количество цилиндров определяется объемным пропуском пара в конце процесса расширения. Чем меньше плотность пара, т.е. меньше его конечное давление, и чем больше мощность турбины, т.е. больше массовый расход, тем больше объемный пропуск и соответственно требуемая площадь для прохода пара через рабочие лопатки последней ступени. Однако если рабочие лопатки делать длиннее, а радиус их вращения больше, то центробежные силы, отрывающие профильную часть лопатки, могут возрасти настолько, что лопатка оторвется. Поэтому с увеличением мощности сначала переходят на двухпоточный ЦНД, а затем увеличивают их число.
- По частоте вращения турбины делятся на **быстроходные и тихоходные**. Быстроходные турбины имеют частоту вращения 3000 об/мин = 50 об/с. На эту частоту строят большинство паровых турбин для ТЭС, ТЭЦ и частично для АЭС в нашей стране и почти во всем мире. В
- По числу валопроводов различают турбины **одновальные** (имеющие один валопровод — соединенные муфтами роторы отдельных цилиндров и генератора) и **двухвальные** (имеющие два валопровода каждый со своим генератором и связанные только потоком пара).

# Маркировка стационарных паровых турбин

- Маркировка состоит из **буквенной и числовой** частей. Буквенная часть указывает тип турбины, следующее за ней число — номинальную мощность турбины в мегаваттах. Если необходимо указать и максимальную мощность турбины, то ее значение приводят через косую черту. Следующее число указывает номинальное давление пара перед турбиной в МПа: для теплофикационных турбин далее через косую черту указывают давление в отборах или противодавление в МПа. Наконец, последняя цифра, если она имеется, указывает номер модификации турбины, принятый на заводе-изготовителе.

## Приведем несколько примеров обозначений турбин.

- Турбина К-210-12,8-3 — типа К, номинальной мощностью 210 МВт с начальным абсолютным давлением пара 12,8 МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>), третьей модификации.
- Турбина П-6-3,4/0,5 — типа П, номинальной мощностью 6 МВт, с начальным абсолютным давлением пара 3,4 МПа и абсолютным давлением отбираемого пара 0,5 МПа.
- Турбина Т-110/120-12,8 — типа Т, номинальной мощностью 110 МВт и максимальной мощностью 120 МВт, с начальным абсолютным давлением пара 12,8 МПа.
- Турбина ПТ-25/30-8,8/1 — типа ПТ, номинальной мощностью 25 МВт и максимальной мощностью 30 МВт, с начальным абсолютным давлением пара 8,8 МПа (90 ат) и абсолютным давлением отбираемого пара 1 МПа.
- Турбина Р-100/105-12,8/1,45 — типа Р, номинальной мощностью 100 МВт максимальной мощностью 105 МВт, с начальным абсолютным давлением пара 12,8 МПа и абсолютным противодавлением 1,45 МПа.
- Турбина ПР-12/15-8,8/1,45/0,7 — типа ПР, номинальной мощностью 12 МВт и максимальной мощностью 15 МВт, с начальным абсолютным давлением 8,8 МПа, давлением в отборе 1,45 МПа и противодавлением 0,7 МПа.



# Теплофикация и когенерация

- **Теплофикация** – это централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства (на ТЭЦ, ГРЭС, АЭС) и отпуска потребителям тепловой и электрической энергии
- **Когенерация** – комбинированная выработка и отпуск тепловой и электрической энергии при использовании преимущественно децентрализованных систем теплоснабжения

# Теплофикация

Схемы отпуски теплоты от турбины с отопительным противодавлением (рис. 3.9б) и от турбины с регулируемым отопительным отбором пара (рис.3.10)

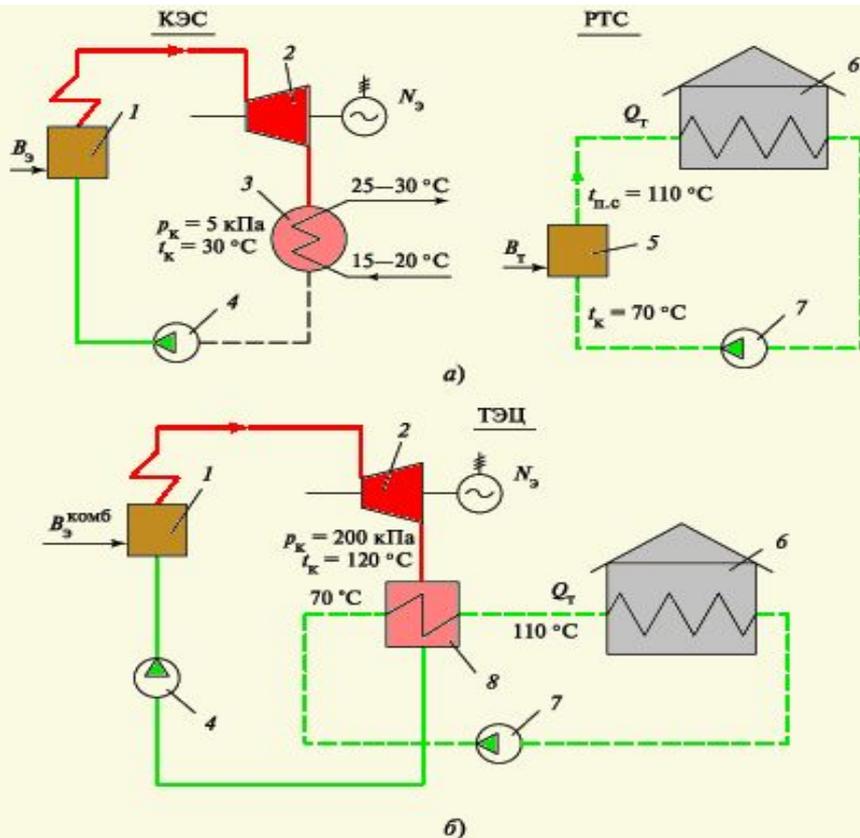


Рис. 3.9. Схемы раздельной (а) и комбинированной (б) выработки тепла и электроэнергии:  
 1 — энергетический котёл; 2 — паровая турбина; 3 — конденсатор;  
 4 — питательный насос; 5 — водогрейный котёл; 6 — потребитель тепла;  
 7 — сетевой насос; 8 — сетевой подогреватель

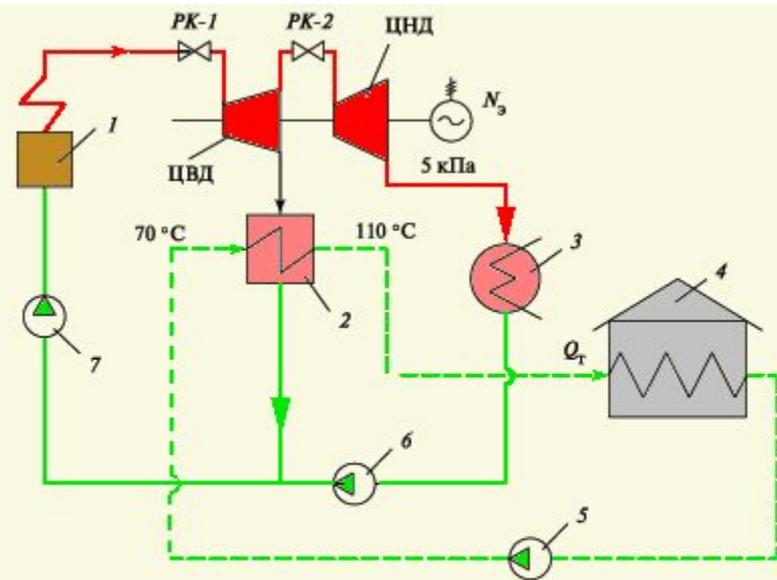


Рис. 3.10. Схема отопительной ТЭС с теплофикационной турбиной:  
 1 — энергетический котёл; 2 — сетевой подогреватель; 3 — конденсатор;  
 4 — потребитель тепла; 5 — сетевой насос; 6 — конденсатный насос;  
 7 — питательный насос