

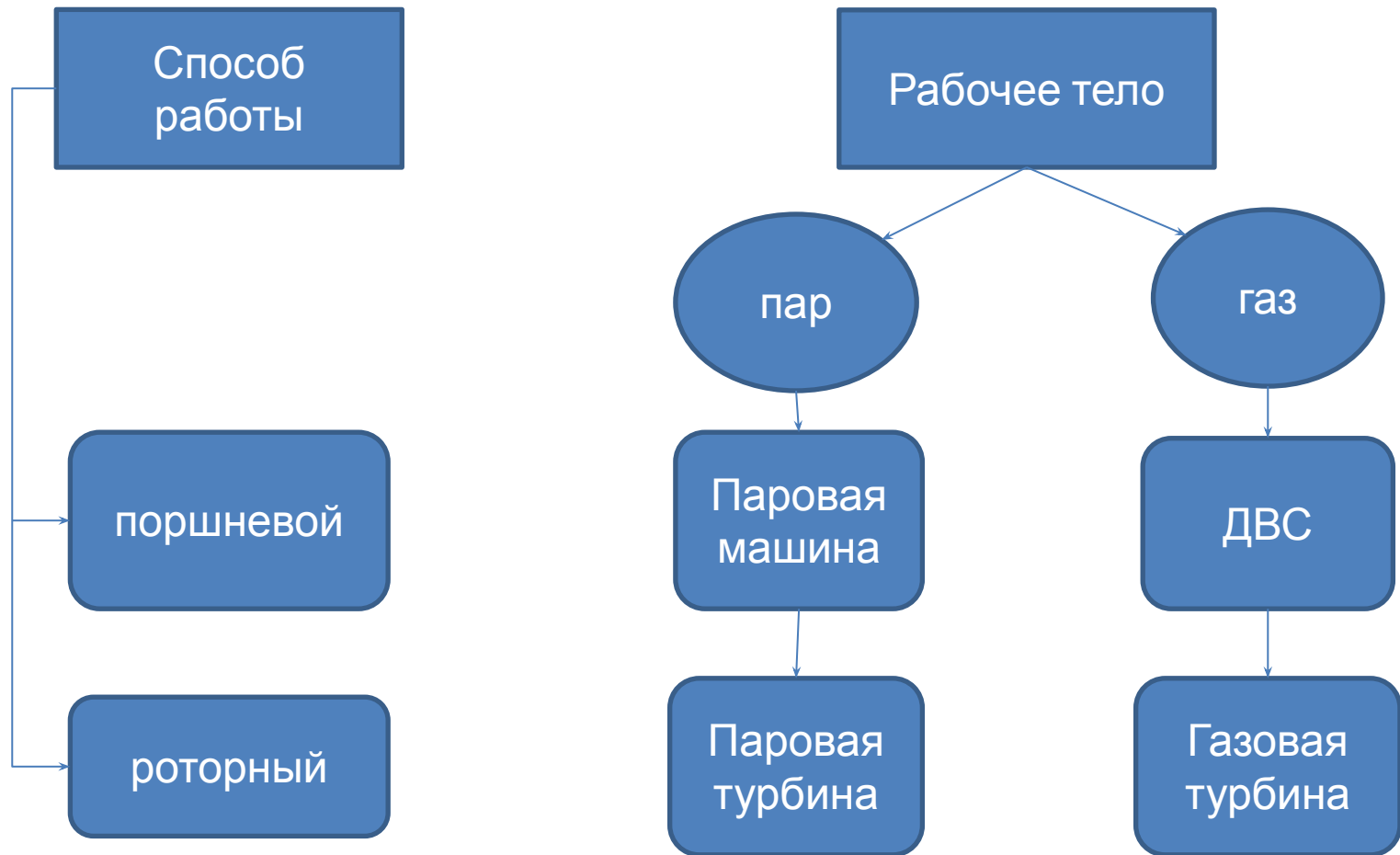
# **Тепловые электростанции.**

**ТЕПЛОВЫЕ  
КОНДЕНСАЦИОННЫЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

# Типы тепловых электростанций, режимы работы

- Тепловые конденсационные электрические станции преобразовывают энергию органического топлива вначале в механическую, а затем в электрическую. Механическую энергию упорядоченного вращения вала получают с помощью тепловых двигателей, преобразующих энергию неупорядоченного движения молекул пара или газа.

# Классификация тепловых двигателей



# История паровой машины

- Паровая машина была единственным двигателем, используемым в промышленности и на транспорте в XVIII и XIX вв. В настоящее время она практически не встречается, а широко применявшиеся в прошлом паровозы и пароходы почти полностью сняты с производства.
- В настоящее время наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания, используемые на автомобильном транспорте. В стационарной энергетике двигатели внутреннего сгорания находят ограниченное применение.

# Паровая машина Фербиса 1672г (Бельгия)



YAPLAKA.COM

# Паровая турбина

- На современных мощных ТЭС устанавливают паровые турбины. **Первая паровая турбина**, предназначенная для вращения электрического трехфазного генератора, была установлена на Эльберфельдской электростанции в 1899 г. С тех пор началось развитие мощных паротурбинных электростанций.
- В качестве тепловых двигателей на электрических станциях используют также газовые турбины.

# Паровая турбина



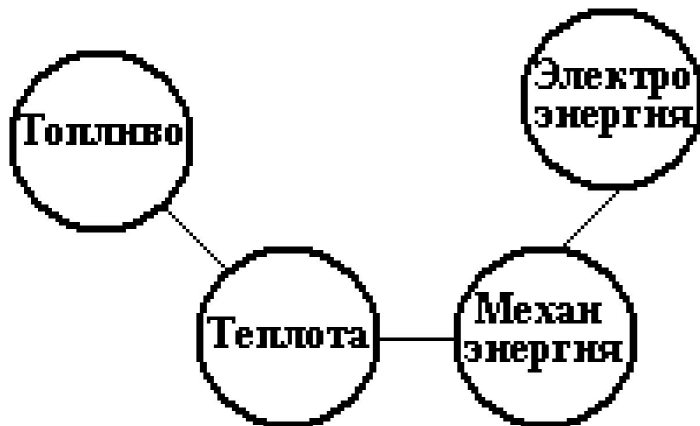
# Паровая турбина 250 Вт диаметр 1,6 м





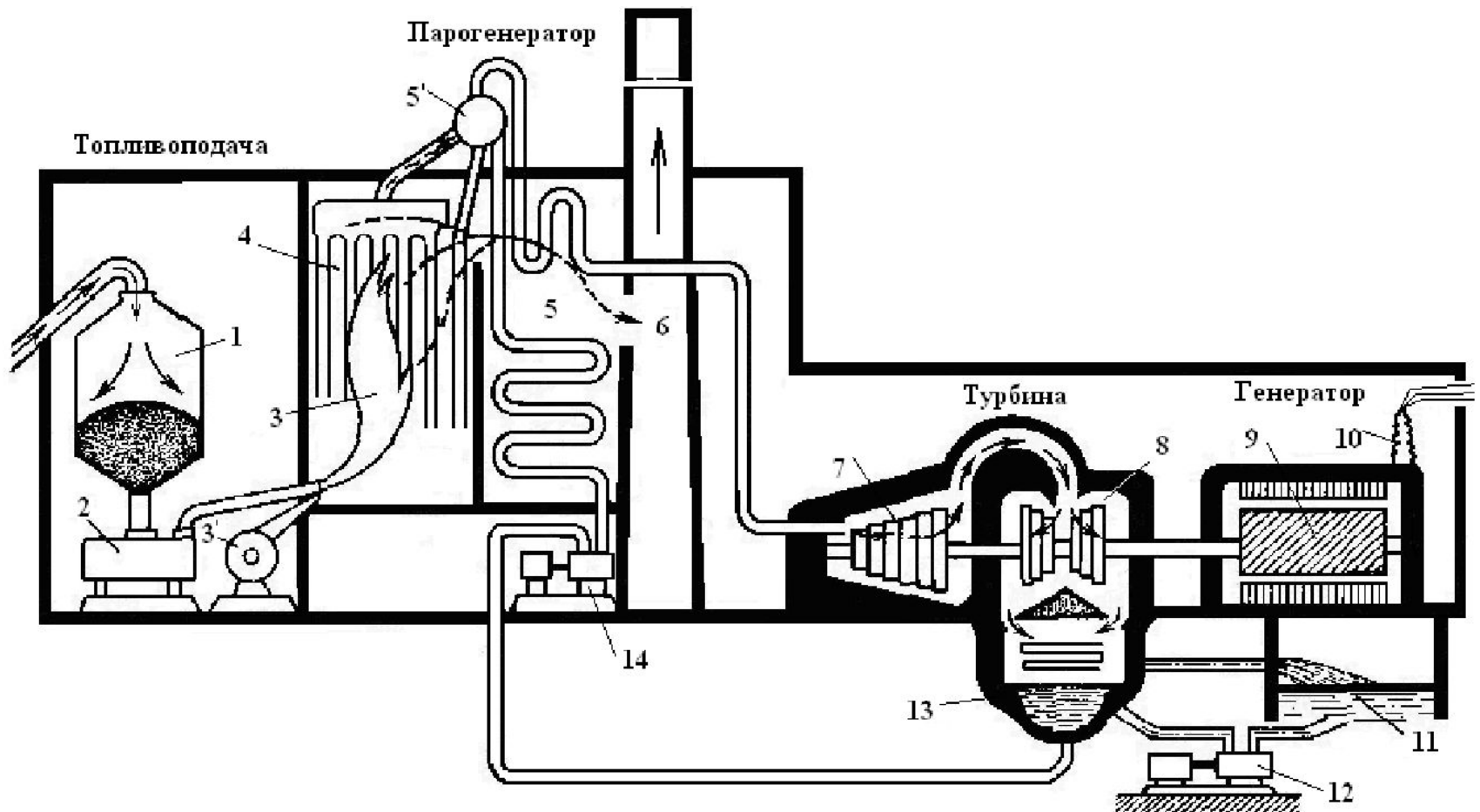
- В современных паровых установках, составляющих основу энергетики, используют пар при температуре около  $600^{\circ}\text{C}$  и давлении 30 МПа. Для охлаждения рабочего тела (пара) обычно применяют холодную воду, которая понижает его температуру до  $30\text{—}40^{\circ}\text{C}$ . При этом давление пара резко падает.

# Схема преобразования энергии на тепловых станциях

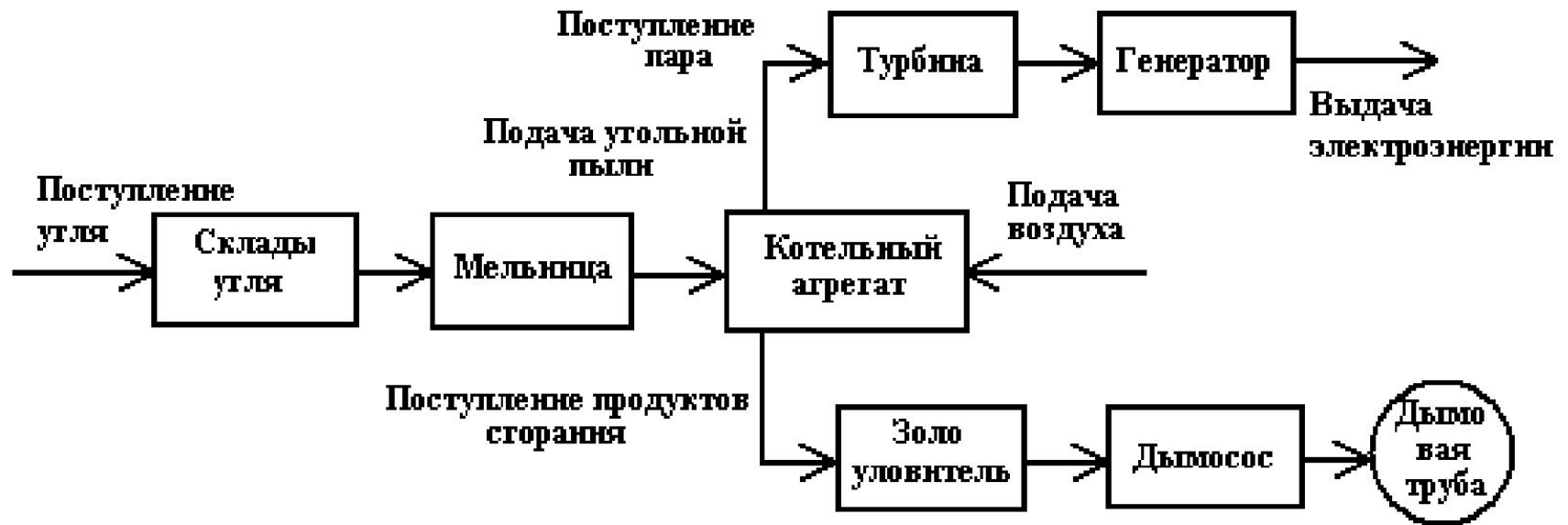


- Основные процессы теплового цикла паровых установок происходят в следующих элементах: в парогенераторах — подвод теплоты, в турбинах — расширение пара, в конденсаторах — отвод теплоты, в турбинах — расширение пара, в конденсаторах — охлаждение. С помощью насосов высокого давления производится сжатие, при котором конденсат нагнетается в парогенератор.

# Схема тепловой конденсационной ТЭС



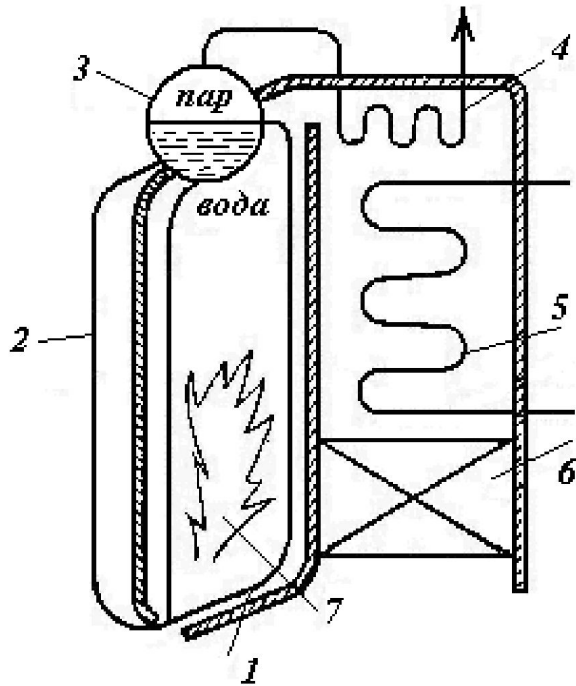
# Схема технологического процесса конденсационной ТЭС



# Парогенератор

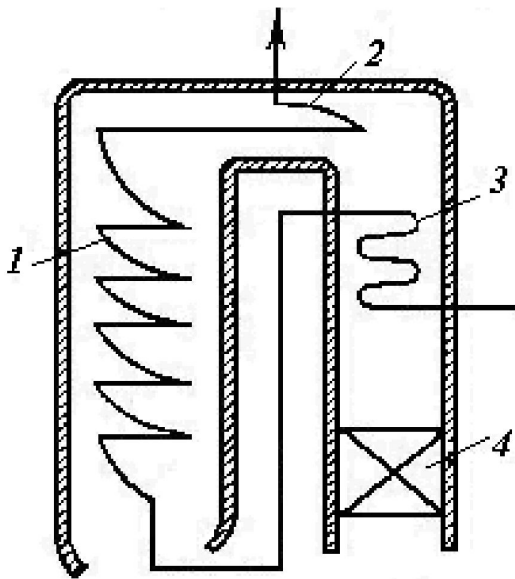
- Современный парогенератор представляет собой сложное техническое сооружение больших размеров, высота которого соизмерима с высотой пятиэтажного дома.
- В топке парогенератора сжигается превращенный в мелкую пыль уголь, газ или распыленная нефть при температуре 1500—2000°С. Для наиболее полного сжигания топлива с помощью вентилятора в больших количествах подается подогрётый воздух. Появляющаяся в процессе сгорания топлива теплота нагревает воду, превращает ее в пар и увеличивает его температуру и давление до расчетных значений. Использованные горячие газы дымососами вытягиваются из парогенератора и подаются в очистительные устройства, а затем направляются в дымовую трубу. Вода, подаваемая в парогенератор, предварительно очищается от примесей, содержание которых допускается в меньшем количестве, чем в питьевой воде. Очистка воды производится в специальных устройствах — питателях.

# Конструкция парогенераторов



- В барабанном парогенераторе имеется стальной барабан 3, в нижней части которого находится вода, а в верхней части — пар. По циркуляционной трубе 2 вода поступает в трубки экрана 1, покрывающие стенки топки 7. Трубки экрана выполняют стальными, небольшого диаметра (32 мм внутри). В парогенераторе каждый час испаряются сотни тонн воды и трубки имеют общую длину до 50 км.
- Для повышения эффективности работы вода перед подачей в барабан нагревается в экономайзере 5, а воздух перед подачей в топку подогревается горячими газами в воздухоподогревателе 6. Выходящий из барабана пар дополнительно нагревается в пароперегревателе 4.

# Прямоточный парогенератор



- В прямоточном парогенераторе барабана нет. Циркуляция воды и пара создается насосами. Вода через водоподогреватель 3 поступает в трубы 1, расположенные в топке, превращается в пар, который затем подается в пароперегреватель 2 и далее в турбину. В воздухоподогревателе 4 происходит подогрев воздуха перед подачей его в топку. Прямоточные парогенераторы требуют качественного регулирования подачи воды (к питательной воде предъявляют очень высокие требования в отношении ее химической чистоты). Прямоточные котлы получили широкое распространение, так как они дешевле барабанных.

# Турбина

- Полученный в парогенераторах перегретый пар при температуре  $\sim 600^{\circ}\text{C}$  и давлении 30 МПа по паропроводам передается в *сопла*. Сопла предназначены для преобразования внутренней энергии пара в кинетическую энергию упорядоченного движения молекул.
- После выхода из сопла пар подается на рабочие, лопатки турбины.



# Конструкции турбин

- У реактивной турбины происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток.
- В настоящее время турбины выполняются многоступенчатыми, в одной и той же турбине активные и реактивные (с различной степенью реактивности) ступени.
- Если турбина активная, то между ее рабочими лопатками расширения пара не происходит, следовательно, давление пара не меняется.
- Конструктивно турбина выполняется в виде нескольких ступеней, состоящих из венца сопловых лопаток и одного венца рабочих лопаток.

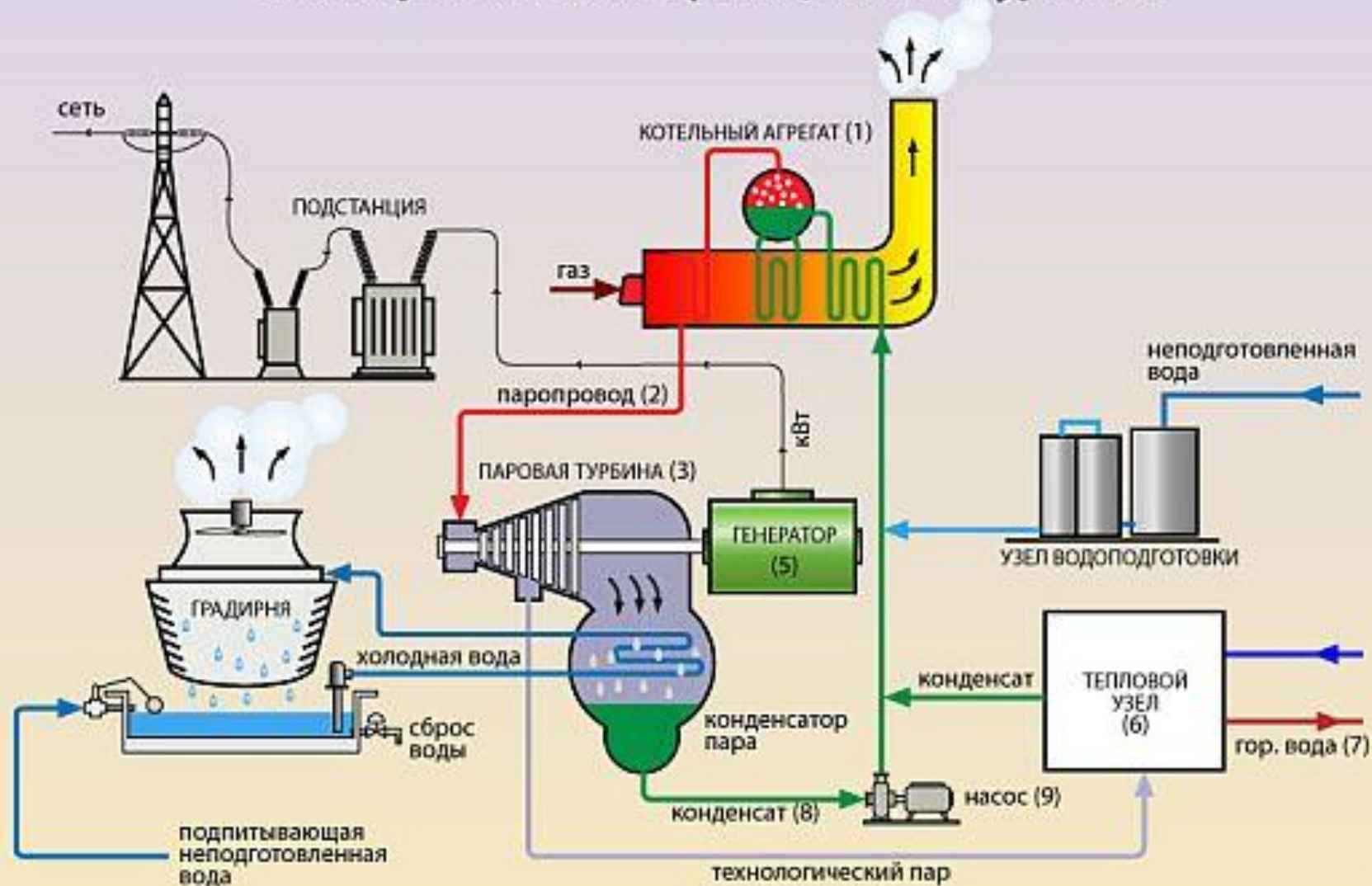
# Конденсаторы.

- Пар, выходящий из турбины, направляют для охлаждения и конденсации в конденсаторы. Конденсатор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого имеется большое число латунных трубок. По трубкам протекает охлаждающая вода, поступающая в конденсатор обычно при температуре 10 - 15°С и выходящая из него при температуре 20—25°С. Пар обтекает трубки сверху вниз, конденсируется и снизу удаляется. Давление в конденсаторе поддерживается в пределах 3-4 кПа, что достигается охлаждением пара.

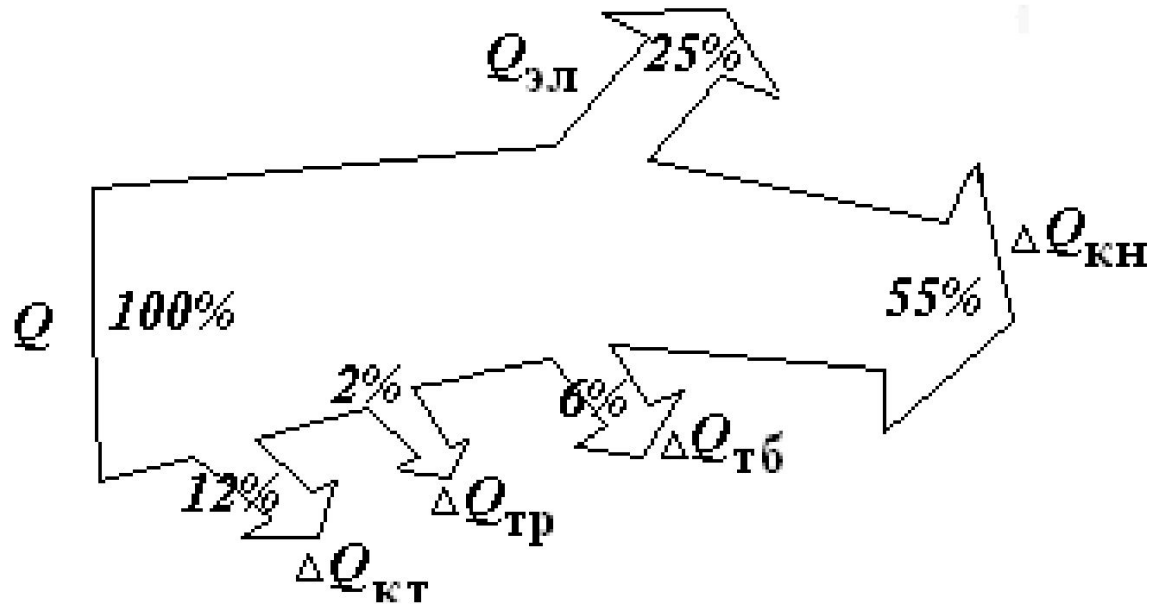
# Конденсаторы

- Расход охлаждающей воды составляет примерно 50—100 кг на 1кг пара. На электростанции мощностью 1 ГВт расходуется 40 м<sup>3</sup>/с охлаждающей воды, что примерно равно расходу воды в Москве-реке.
- Если воду для охлаждения пара забирают из реки, подают в конденсатор, а затем сбрасывают в реку, такую систему водоснабжения называют **прямоточной**. В случаях, когда воды в реке не хватает, сооружают пруд. С одной стороны пруда вода подается в конденсатор, а с другой стороны пруда сбрасывается нагретая в конденсаторе вода.
- В **замкнутых** системах водоснабжения для охлаждения воды, нагретой в конденсаторе, сооружают градирни, представляющие собой устройства высотой примерно 50м. Вода вытекает струйками из отверстий лотков, разбрызгивается и, стекая вниз, охлаждается. Внизу расположен бассейн, в котором вода собирается и затем насосами подается в конденсатор.

## Схема работы теплофикационной турбины



# Тепловой баланс конденсационной ТЭС



Если за 100% принять химическую энергию, получаемую при сжигании угля в топках котлов, то в среднем только 25% этой энергии превращается в электрическую. Наибольшие потери теплоты происходят в конденсаторе. С охлаждающей водой конденсатора уносится 55% теплоты.

# Теплоэлектроцентрали ТЭЦ

- ТЭЦ конструктивно устроена как конденсационная электростанция (КЭС). Главное отличие ТЭЦ от КЭС состоит в возможности отобрать часть тепловой энергии пара, после того, как он выработает электрическую энергию. В зависимости от вида паровой турбины, существуют различные отборы пара, которые позволяют забирать из нее пар с разными параметрами. Турбины ТЭЦ позволяют регулировать количество отбираемого пара. Отобранный пар конденсируется в сетевых подогревателях и передает свою энергию сетевой воде, которая направляется на пиковые водогрейные котельные и тепловые пункты.



# Графики нагрузки ТЭЦ

- На ТЭЦ есть возможность перекрывать тепловые отборы пара, в этом случае ТЭЦ становится обычной КЭС. Это дает возможность работать ТЭЦ по **двум графикам нагрузки**:
  - тепловому — электрическая нагрузка жёстко зависит от тепловой нагрузки (тепловая нагрузка — приоритет)
  - электрическому — электрическая нагрузка не зависит от тепловой, либо тепловая нагрузка вообще отсутствует (приоритет — электрическая нагрузка).



# Достоинства ТЭЦ

- Совмещение функций генерации тепла и электроэнергии выгодно, так как оставшееся тепло, которое не участвует в работе на КЭС, используется в отоплении. Это повышает расчетный [КПД](#) в целом (80 % у ТЭЦ и 30 % у КЭС).
- При строительстве ТЭЦ необходимо учитывать близость потребителей тепла в виде горячей воды и [пара](#), так как передача тепла на большие расстояния экономически нецелесообразна

# Достоинства ТЭЦ

- Эффективность работы системы теплоснабжения во многом зависит от рационального размещения ТЭЦ, которые стремятся по возможности приблизить к крупным потребителям теплоты и электрической энергии, так как передача теплоты в виде пара неэкономична на расстояниях свыше 5—7 км. На решение вопроса о целесообразных местах расположения ТЭЦ в последнее время значительно влияет загрязнение ими окружающей среды.

# Недостатки

При максимальной централизации теплоснабжения на ТЭЦ можно выработать только 25—30% требуемой электроэнергии. Работа же конденсационных станций определяется только условиями выработки электроэнергии, что делает весьма благоприятными концентрацию больших электрических мощностей и позволяет быстро наращивать электроэнергетический потенциал страны.

# Мини-ТЭЦ

- **Мини-ТЭЦ** (малая теплоэлектроцентраль) — теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, независимо от вида оборудования.
- Отличительной особенностью мини-ТЭЦ является более экономичное использование топлива для произведенных видов энергии в сравнении с общепринятыми раздельными способами их производства.

# Преимущества мини-ТЭЦ

- Основное преимущество мини-ТЭЦ — близость к потребителям тепловой энергии. Снижаются или отпадают проблемы с теплосетями (трубопроводы, обеспечивающие подачу тепловой энергии от ТЭЦ к потребителям). В случае аварии, разрыва в теплосети возникают большие проблемы: разрытие грунта, временное отчуждение территории для ремонта теплосети, как правило прекрывается движение автотранспорта. По советским нормативам теплосети подлежали замене через 20-30 лет. На основе двигателей внутреннего сгорания существует оборудование «мини-ТЭЦ», позволяющее обеспечивать электро- и теплоснабжение отдельных домов, в том числе и индивидуальных домов (коттеджей).

# Виды используемого топлива

- Виды используемого топлива
- **газ:** [природный газ](#) магистральный, природный газ сжиженный и другие горючие газы;
- **жидкое топливо:** [нефть](#), [мазут](#), [дизельное топливо](#), [биодизель](#) и другие горючие жидкости;
- **твердое топливо:** [уголь](#), [древесина](#), [торф](#) и прочие разновидности биотоплива.
- Наиболее эффективным и недорогим топливом в России является магистральный природный газ, а также попутный газ.

# Газотурбинные установки



# Газотурбинные установки

## ГТУ

- Газотурбинные установки — ГТУ имеют единичную электрическую мощность от двадцати киловатт (**микротурбины**) до нескольких десятков мегаватт. Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет 33–**39%**. С учетом высокой температуры выхлопных газов в мощных газотурбинных установках имеется возможность комбинированного использования газовых и **паровых турбин**, что позволяет повысить эффективность использования топлива и увеличивает электрический КПД установок до 57–59%.
- Соотношение производимой электрической энергии к тепловой энергии у газотурбинных установок — ГТУ составляет  $\sim 1:2$ . То есть газотурбинная установка с электрической мощностью 10 МВт способна выдать  $\sim 20$  МВт тепловой энергии. Для перевода МВт в Гкал используется коэффициент 1,163 ( $1,163 \text{ МВт} = 1163 \text{ кВт} = 1 \text{ Гкал}$ ).



# Достоинства ГТУ

Газотурбинные установки дополнительно оснащаются паровыми или водогрейными котлами, что дает возможность иметь пар различного давления для производственных потребностей, или горячую воду со стандартными температурами (ГВС). При комбинированном использовании энергии двух видов коэффициент использования топлива газотурбинной тепловой электростанции увеличивается до 90%.

Применение **газотурбинных установок** в качестве силового оборудования для мощных ТЭС и мини-ТЭЦ оправдано экономически, так как электростанции, работающие на газовом топливе, имеют наиболее привлекательную для потребителя удельную стоимость строительства и низкие затраты при последующей эксплуатации.

# Достоинства ГТУ

- **Газотурбинные установки** имеют незначительные вибрации и шумы в пределах 65–75 **дБ** (что соответствует по шкале уровня шума звуку пылесоса на расстоянии 1 метр).
- **Газотурбинные установки** обладают относительно компактными размерами и небольшим удельным весом. Допускается монтаж ГТУ на **техническом этаже здания или крышное расположение маломощных газотурбинных установок.** Это полезное свойство ГТУ является важным финансовым фактором в городской застройке, потому что оно позволяет экономить дорогостоящие дефицитные квадратные метры и во многих ситуациях дает больше технического пространства инженерам для решения задачи размещения автономной электростанции.
- **Газотурбинные установки** — ГТУ отличаются высокой надежностью и неприхотливостью. Имеются подтвержденные заводские данные о безостановочной работе некоторых газотурбинных установок — ГТУ в течение 5–7 лет.

Газотурбинная установка **SIEMENS**  
**SGT-700** мощностью 29 МВт



# Модульные газотурбинные установки



Состоят из унифицированных энергоблоков и общих управляющих систем, что позволяет за короткий период времени увеличивать электрическую мощность с наименьшими финансовыми и временными затратами.

# Принцип работы ГТУ

- В газотурбинных установках многоступенчатый компрессор сжимает атмосферный воздух, и подает его под высоким давлением в камеру сгорания. В камеру сгорания подается и определенное количество топлива. При столкновении на высокой скорости топливо и воздух воспламеняются. Топливовоздушная смесь сгорает, выделяя большое количество энергии. Затем, энергия газообразных продуктов сгорания преобразуется в механическую работу за счёт вращения струями раскаленного газа лопаток турбины.
- Некоторая часть полученной энергии расходуется на сжатие воздуха в компрессоре. Остальная часть работы передаётся на [электрический генератор](#). Работа, потребляемая этим агрегатом, является полезной работой ГТУ. Отработавшие газы направляются в утилизатор для получения тепловой энергии.
- Газотурбинные двигатели имеют самую большую удельную мощность среди ДВС, до 6 кВт/кг.
- В качестве топлива могут использоваться любое горючее: керосин, дизельное топливо, [газ](#).

# Парогазовые установки ПГУ



# Парогазовые установки

- **Парогазовые установки** производят электричество и тепловую энергию. Тепловая энергия используется для дополнительного производства электричества.
- Парогазовая установка состоит из двух отдельных блоков: паросилового и газотурбинного.
- Топливом ПГУ может служить как природный газ, так и продукты нефтехимической промышленности, например мазут.
- В парогазовых установках на одном валу с газовой турбиной находится первый генератор, который за счет вращения ротора вырабатывает электрический ток. Проходя через газовую турбину, продукты сгорания отдают ей лишь часть своей энергии и на выходе из турбины все ещё имеют высокую температуру. Далее продукты сгорания попадают в паросиловую установку, в котел-утилизатор, где нагревают водяной пар.
- Температуры продуктов сгорания достаточно для того, чтобы довести пар до состояния, необходимого для вращения **паровой турбины** (температура 500 градусов по Цельсию и давление 80 атмосфер). С паровой турбиной механически связан второй генератор.

# Эффективность использования топлива ПГУ

- Общий электрический КПД парогазовой установки составляет ~58 - 64%. В стандартных газотурбинных установках КПД составляет ~ 35%.
- **Парогазовые установки (ПГУ)** — относительно новый тип электростанций, работающих на газе, жидком или твердом топливе.
- **Парогазовые установки (ПГУ)** предназначены для получения максимального количества электроэнергии.



# Гидроэлектростанции



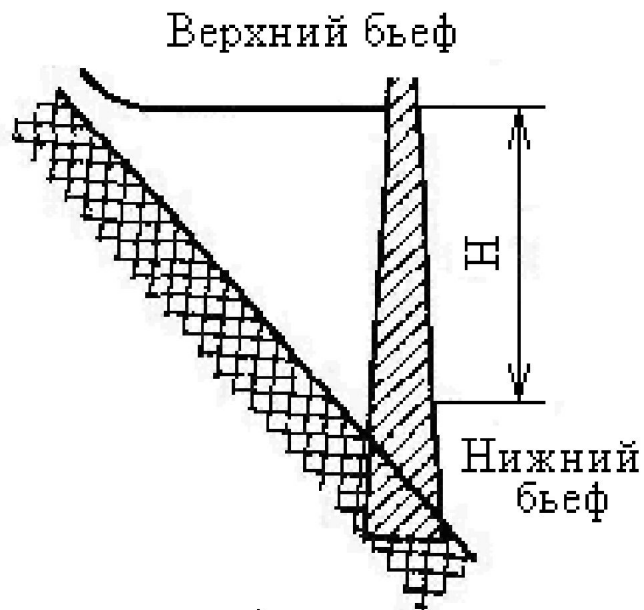
# Гидроэлектростанции.

- Основой изучения работы ГЭС, преобразующих энергию воды в электрическую энергию, является наука, называемая *гидравликой*; она включает в себя гидростатику, изучающую равновесие жидкостей, и гидродинамику, изучающую движение жидкостей.
- Мощность потока воды, протекающего через некоторое сечение — створ, определяется расходом воды  $Q$ , высотой между уровнем воды в верхнем по течению бассейне (верхнем бьефе) и уровнем воды в нижнем по течению бассейне (нижнем бьефе) в месте сооружения плотины. Разность уровней верхнего и нижнего бассейнов называется *напором*.

# Мощность ГЭС

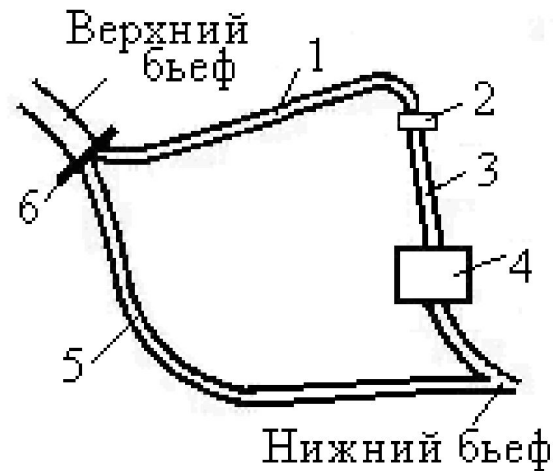
- Мощность потока в створе  $Q$  (кВт) можно определить посредством расхода ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) и напора  $H$  (м):
- $P = 9,81QH$ .
- В двигателях ГЭС можно использовать только часть мощности потока воды в створе из-за неизбежных потерь мощности в гидротехнических сооружениях, турбинах и генераторах, учитываемых коэффициентом полезного действия  $\eta$ .
- Таким образом, приближенно мощность ГЭС:
- $P = 9,81Q\eta$

# Схема создания напора



а)

С помощью плотины



б)

С помощью деривационного канала

- 1- канал; 2- напорный бассейн; 3- турбинные водоводы; 4- здание ГЭС 5- русло реки; 5- платина

# Типы турбин

- В гидравлических турбинах преобразуется энергия воды в механическую энергию вращения вала турбины. Турбина называется активной, если используется динамическое давление воды, и реактивной, если используется статическое давление при реактивном эффекте.

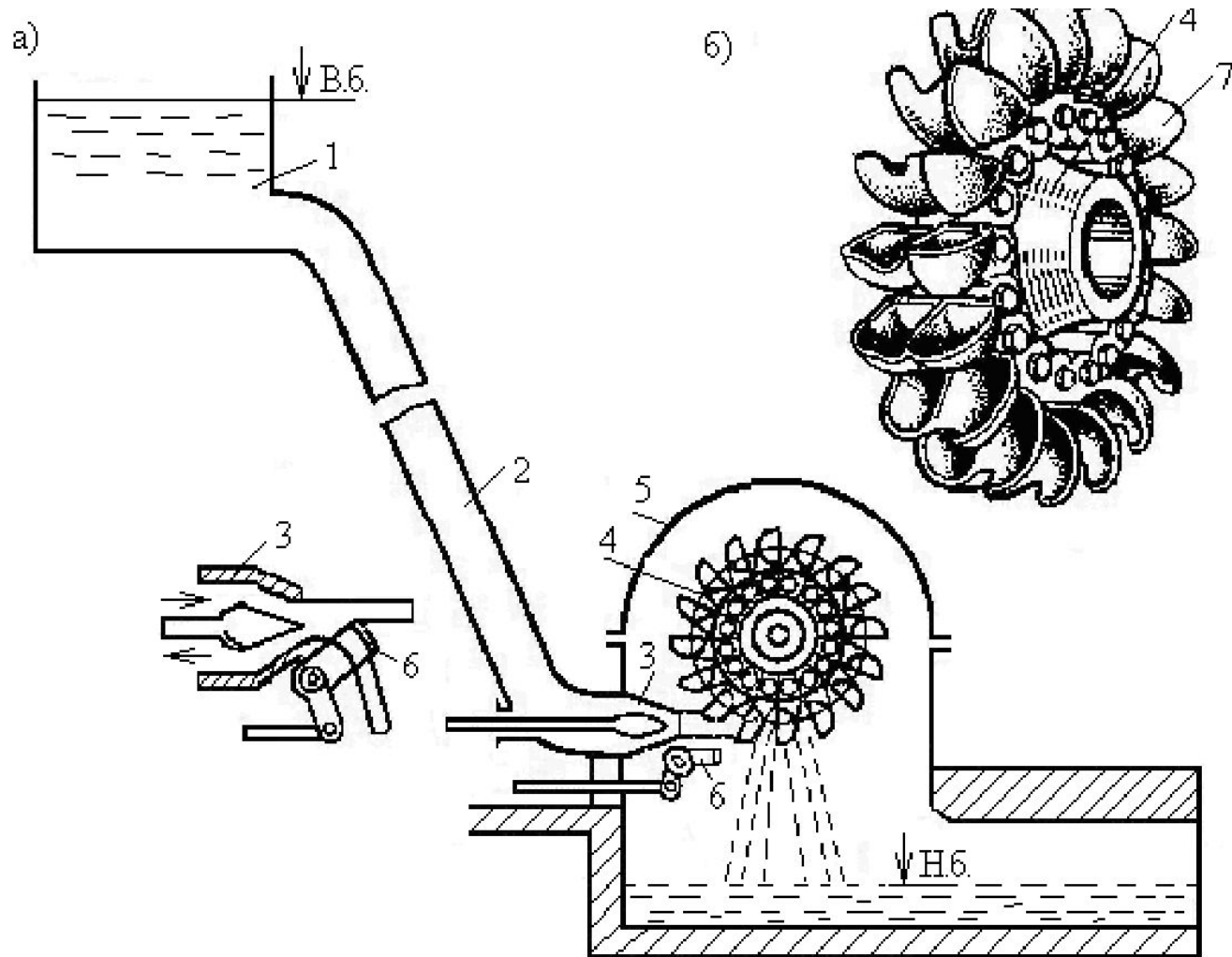


Схема работы активной турбины:

а- схема турбинной установки; б- рабочее колесо; 1- верхний бьеф; 2- трубопровод; 3- сопло; 4- рабочее колесо; 5- кожух; 6- отклонитель; 7- лопасти (ковши)

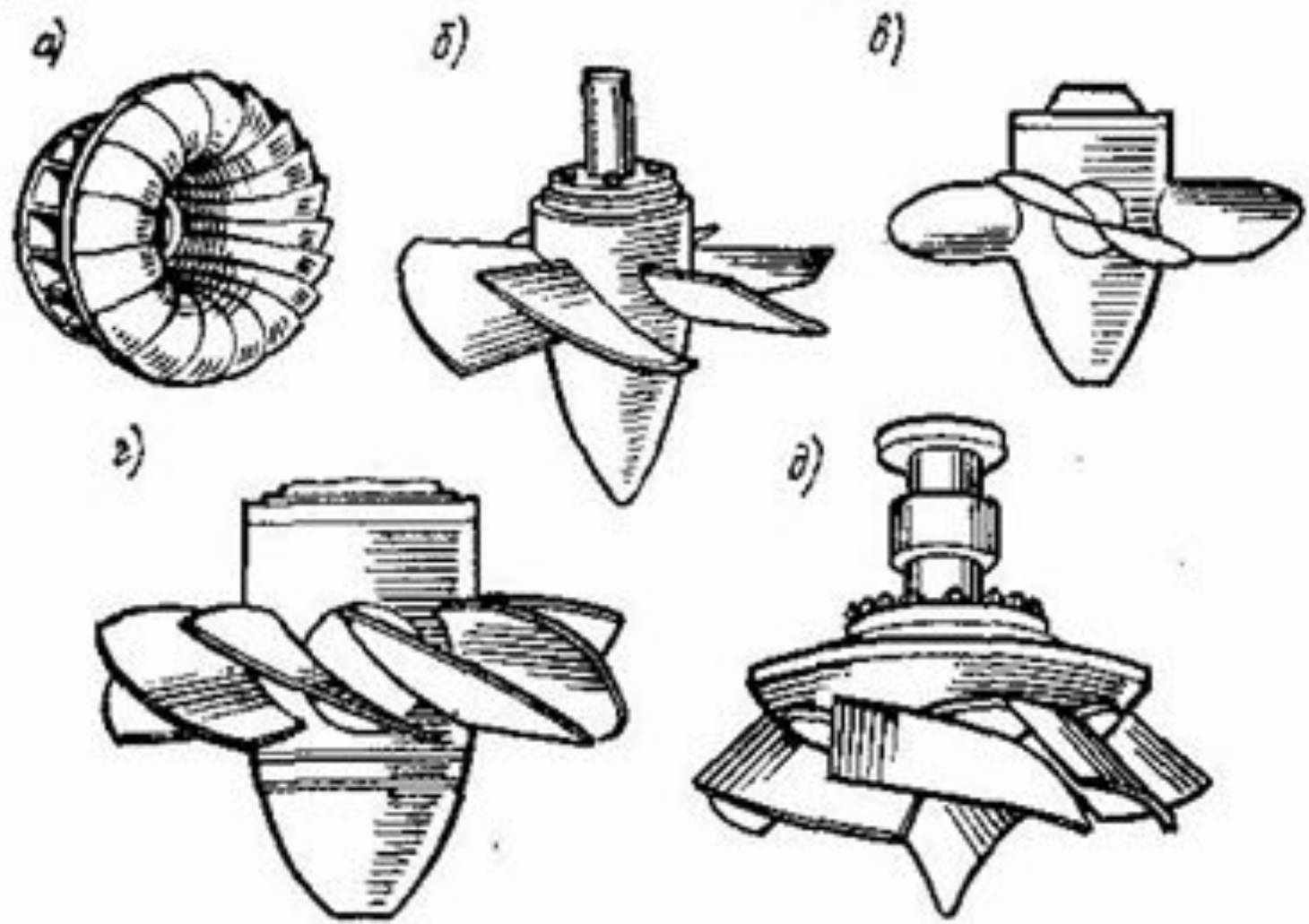


Рис. 2.19. Общий вид рабочих колес реактивных турбин:  
 а — радиально-осевая, б — пропеллерная; в — поворотно-лопастная; г —  
 двухлопастная; д — диагональная

# Типы рабочих колес реактивных турбин

- У радиально-осевых турбин лопасти рабочего колеса имеют сложную кривизну, поэтому вода, поступающая с направляющего аппарата, постепенно меняет направление с радиального на осевое. Такие турбины используют в диапазоне напоров 30 - 600 м. Созданы уникальные радиально-осевые турбины мощностью 700 МВт.
- Пропеллерные турбины обладают простой конструкцией и высоким КПД, однако у них с изменением нагрузки КПД резко уменьшается.
- У поворотно-лопастных гидротурбин в отличие от пропеллерных лопасти рабочего колеса поворачиваются при изменении режима работы для поддержания высокого значения КПД.
- Двухперовые турбины имеют спаренные рабочие лопасти, что позволяет повысить расход воды. Широкое применение их ограничено конструктивными сложностями.
- Сложная конструкция свойственна также диагональным турбинам, у которых рабочие лопасти поворачиваются относительно своих осей.



# Типы ГЭС

- На равнинных реках ГЭС с плотинной схемой концентрации напора разделяются на два типа: русловые и приплотинные.
- При напоре до 30 м здание станции, как и плотина, воспринимает напор и располагается в русле реки. Такие ГЭС называются *русловыми*.
- Так как с ростом напора увеличивается объем строительных работ по сооружению зданий русловых гидроэлектростанций, то при напорах, превышающих 25—30 м, здание станции помещается за плотиной. Такие ГЭС называются *приплотинными*. На них весь напор воспринимается плотиной.

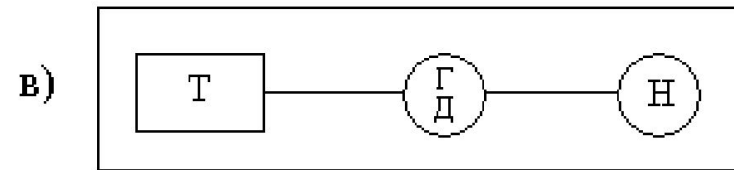
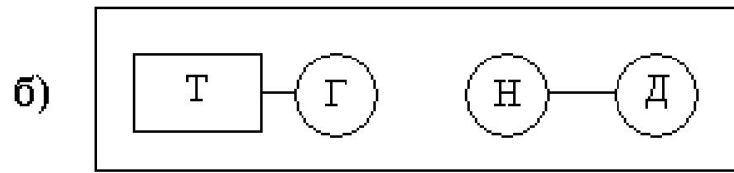
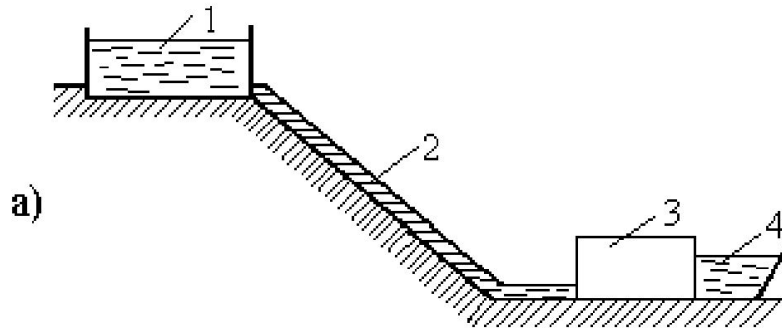
# Аккумулялирующие гидроэлектростанции

- дефицит в маневренных мощностях («пик» нагрузки) покрывается ГЭС, у которых набор полной мощности с нуля можно произвести за 1—2 мин.
- Регулирование мощности производится следующим образом:
- Когда в системе имеются провалы нагрузки, ГЭС работают с незначительной мощностью и вода заполняет водохранилище, т.е. запасается энергия. С наступлением пиков включаются агрегаты станции и вырабатывается энергия.
- Накопление энергии в водохранилищах на равнинных реках приводит к затоплению обширных территорий, что во многих случаях крайне нежелательно. Небольшие реки малопригодны для регулирования мощности в системе, так как они *не* успевают заполнить водой водохранилище.

# ГАЭС

- Задачу снятия пиков решают гидроаккумулирующие станции (ГАЭС).
- В интервалы времени, когда электрическая нагрузка в объединенных системах минимальна, ГАЭС перекачивает воду из нижнего водохранилища в верхнее и потребляет при этом электроэнергию из системы.
- В режиме непродолжительных «пиков» — максимальных значений нагрузки — ГАЭС работает в генераторном режиме и расходует запасенную в верхнем водохранилище воду.

# Схема работы гидроаккумулирующей станции:



- **а-схема станции:**
- 1-верхний бассейн;
- 2-водовод;
- 3-здание ГАЭС;
- 4-нижний бассейн;
- **б, в, компоновка агрегатов станции** четырехмашинная, трехмашинная и
- Т- турбина, Г- генератор, Д- двигатель, Н- насос.

# Преимущества ГАЭС

- Первые ГАЭС имели КПД не выше 40%.
  - У современных ГАЭС КПД составляет 70—75%.
- К преимуществам ГАЭС кроме **относительно высокого значения КПД** относится также и **низкая стоимость строительных работ**. Для ГАЭС нет необходимости перекрывать реки, возводить высокие плотины с длинными туннелями и т. п.
- Ориентировочно на 1 кВт установленной мощности на крупных речных ГЭС требуется 10 м<sup>3</sup> бетона, а на крупных ГАЭС — всего лишь несколько десятых кубометров бетона.

# ГАЭС и ветровые электростанции

- ГАЭС и ветровые электростанции, отличающиеся непостоянством вырабатываемой мощности, удачно сочетаются между собой. При этом трудно рассчитывать на мощность ветровых станций в часы «пик» в энергосистеме. Если же вырабатываемую на этих станциях электроэнергию запасать на ГАЭС в виде воды, перекачиваемой в верхний бассейн, то выработанная на ветровых электростанциях за какой-либо промежуток времени энергия может быть использована в соответствии с потребностями системы.
- Преимущества ГАЭС позволяют широко применять их для аккумуляции энергии.