

# Раздел 2

## **ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

# Типы электрических станций

Электрическая станция представляет собой промышленное предприятие для производства электрической энергии. ЭС по виду используемой энергии разделяют на ТЭС, АЭС и ГЭС (значительно менее распространены геотермальные, солнечные, ветровые, приливные ЭС).

**ТЭС** – промышленное предприятие, на котором установлено оборудование для выработки и передачи потребителю электрической и тепловой энергии. Используют химическую энергию сжигаемого топлива.

Основным типом ТЭС на органическом топливе являются *паротурбинные* электростанции. В настоящее время для повышений КПД существует тенденция внедрения ГТУ и ПГУ.

## ТЭС содержат:

- оборудование для подготовки топлива;
- оборудование для получения ТН (топки котлов, камеры сгорания (**КС**));
- теплообменники;
- оборудование для подготовки рабочего тела (химводоподготовка (**ХВО**), деаэраторы);
- оборудование, преобразующее теплоту РТ в механическую энергию (турбины);
- оборудование, преобразующее механическую энергию в электрическую (электрогенератор);
- преобразователи электроэнергии (трансформаторы).

Типы ЭС, использующие паротурбинный цикл можно разделить:

**1. По виду топлива:**

*а) на органическом топливе (ТЭС)*

твердое

жидкое

газообразное

*б) на ядерном топливе (АЭС)*

*в) на альтернативных источниках энергии*

**2. По виду вырабатываемой энергии:**

*а) конденсационные (КЭС) – только электричество;*

*б) теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – электричество и тепло на бытовые и производственные нужды.*

**3. По связи оборудования:**

*а) поперечные – питание котлов водой и турбин перегретым паром производится из общих магистралей;*

*б) блочные – каждый котел работает на свою турбину.*

**4. По виду рабочего тела:**

*а) паротурбинные (РТ – вода и перегретый пар);*

*б) газотурбинные (РТ – продукты сгорания, получаемые в КС);*

*в) парогазовые установки (комбинация двух циклов – паротурбинного и газотурбинного).*

Паротурбинные электростанции выгодно отличаются возможностью сосредоточения огромной мощности в одном агрегате, относительно высокой экономичностью и наименьшими капитальными затратами на их сооружение.

**Определения:**

**Паровой котел** – устройство для получения рабочего тела требуемых параметров.

**Турбина** – устройство для преобразования тепловой энергии в механическую.

**Генератор** – устройство для преобразования механической энергии в электрическую.

**Конденсатор** – устройство, позволяющее обеспечить низкие температуры рабочего тела при малой влажности пара, обеспечивает получение вакуума в последних ступенях турбины.

**Конденсационный насос** – устройство для транспорта полученного конденсата до деаэрата.

**Обессоливающая установка** – устройство для улавливания вынесенных из тракта хим. соединений, для исключения их отложений в котле и турбине.

**ПНД и ПВД** – подогреватели низкого и высокого давления, предназначены для подогрева рабочего тела.

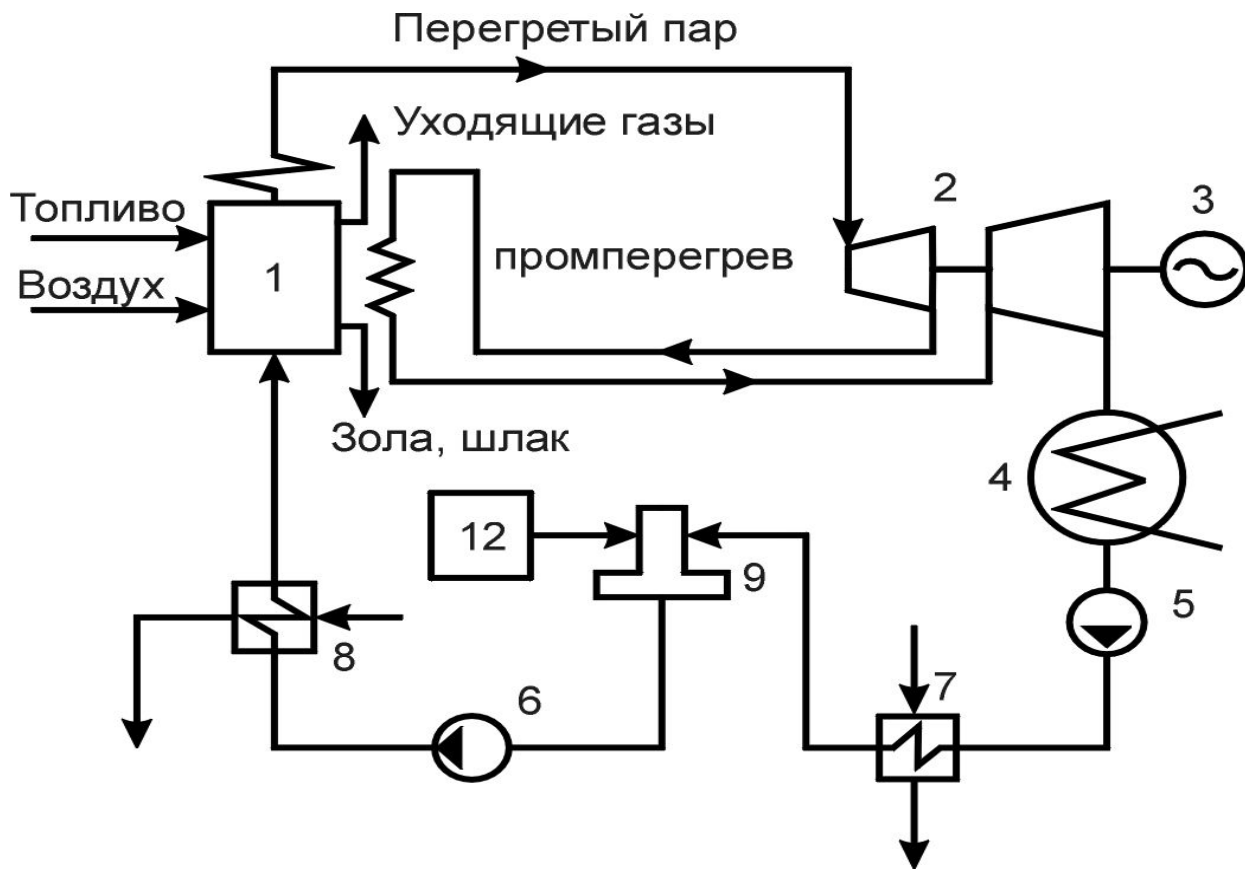
**Деаэратор** – устройство, служащее для удаления из рабочего тела растворенных газов, которые вызывают коррозию оборудования.

**Подготовка воды** – ХВП для обработки добавляемой питательной воды.

**Питательный насос** – устройство, которое обеспечивает необходимое давление рабочего тела, чтобы преодолеть сопротивление тракта до турбины и получить перед ней нужные параметры.

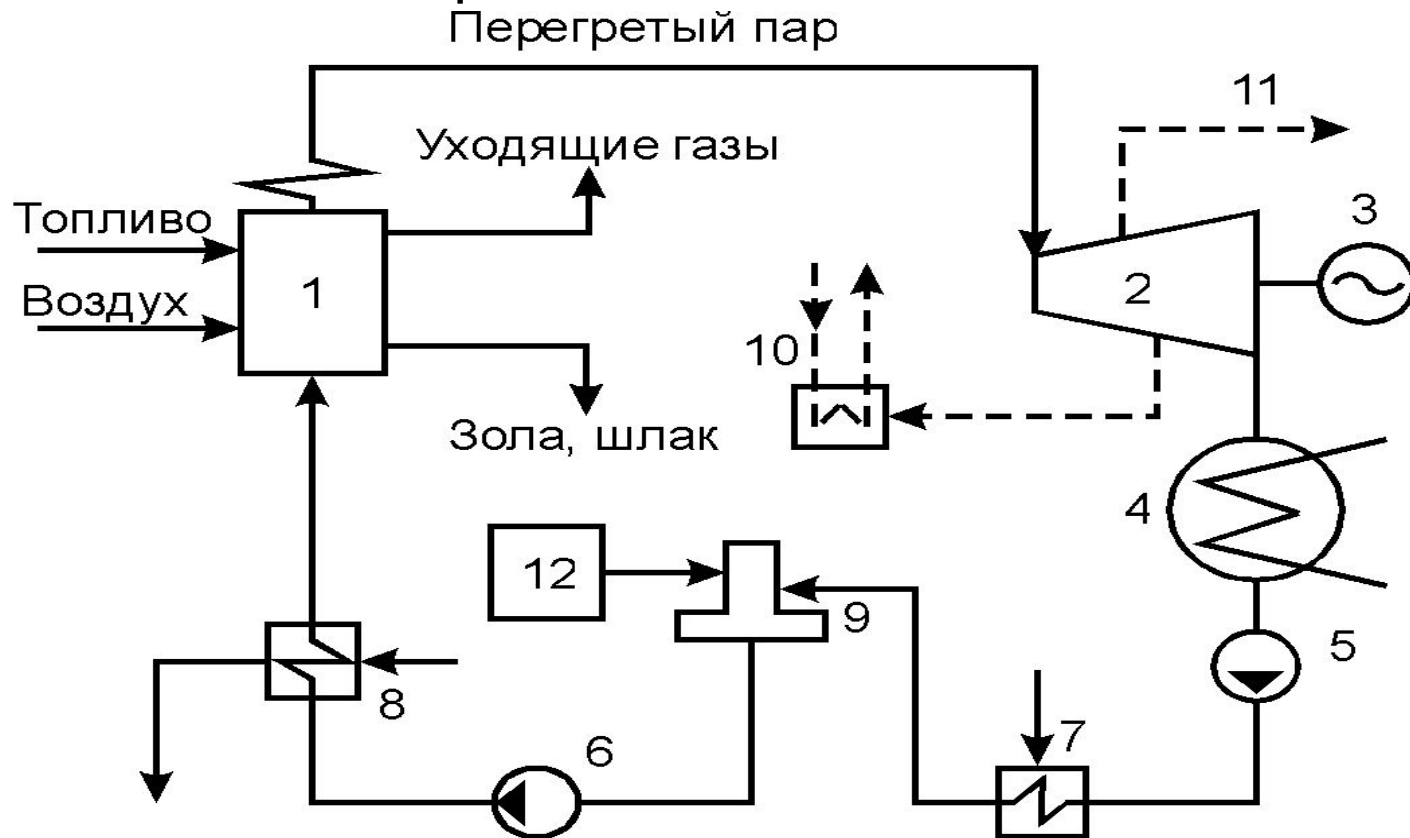
**Питательная вода** – вода, поступающая в паровой котел предварительной

# Простейшая тепловая схема КЭС



1 – паровой котел; 2 – паровая турбина; 3 – электрический генератор;  
4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – питательный насос; 7 – ПНД;  
8 – ПВД; 9 – деаэратор; 10 – подогреватель сетевой воды;  
11 – промышленный отбор пара; 12 – водоподготовительная установка.

# Простейшая тепловая схема ТЭЦ

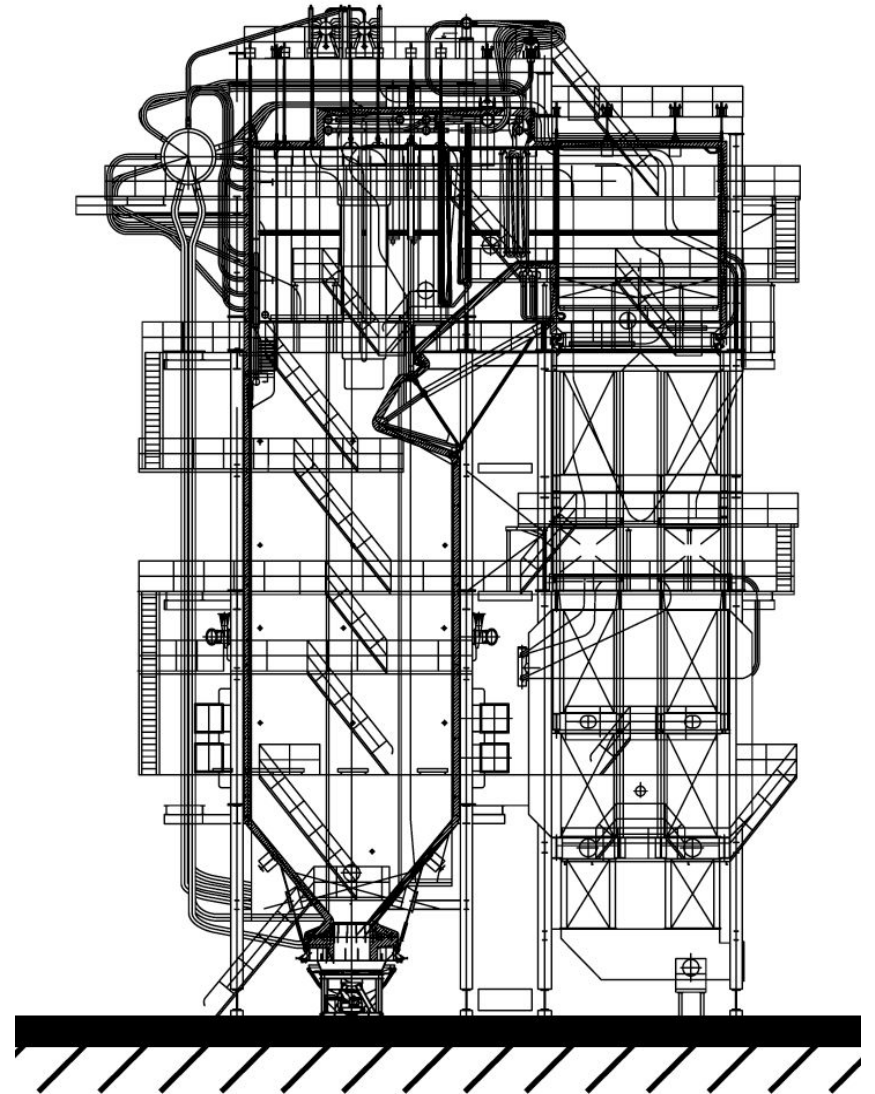


- 1 – паровой котел; 2 – паровая турбина; 3 – электрический генератор;  
4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – питательный насос; 7 – ПВД;  
8 – ПВД; 9 – деаэратор; 10 – подогреватель сетевой воды;  
11 – промышленный отбор пара; 12 – водоподготовительная установка.

## Паровой котел

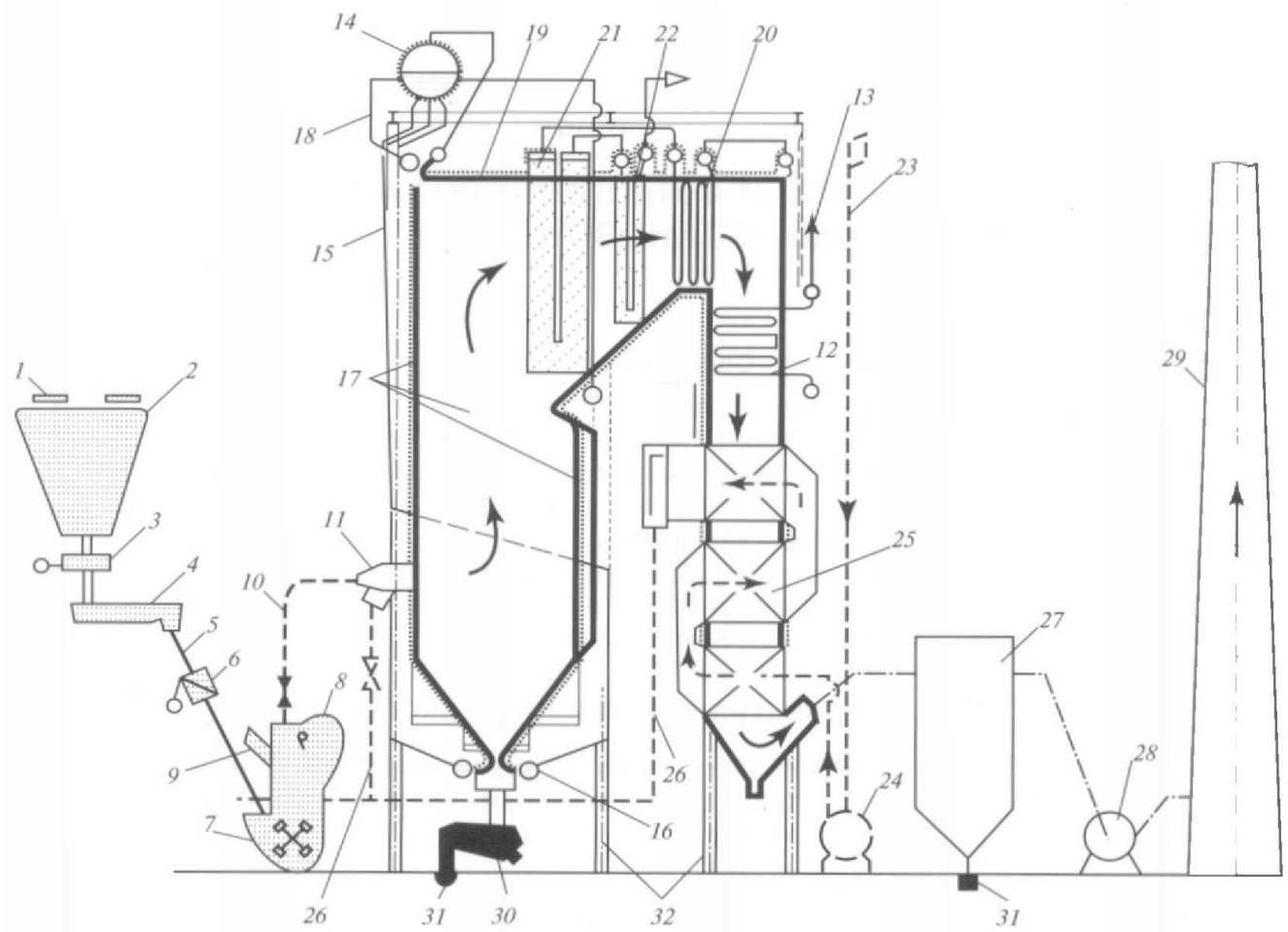
**Паровым котлом** называется устройство для выработки перегретого пара или горячей воды, заданных параметров за счет преобразования химической энергии топлива в тепловую.

**Котельная установка** (котельный агрегат) состоит из котла соответствующего типа и вспомогательного оборудования, обеспечивающего функционирование котла





# Схема котельной установки с барабанным котлом



1 – транспортер сырого топлива; 2 – бункер сырого топлива; 3 – отсекающий шибер;  
4 – питатель сырого топлива; 5 – топливная течка; 6 – мигалка; 7 – молотковая мельница; 8 – сепаратор; 9 – взрывной клапан; 10 – пылепровод; 11 – горелка; 12 – экономайзер; 13, 18– отводящие трубы; 14 – барабан; 15 – опускные трубы; 16 – нижний коллектор; 17 – испарительные экраны; 19 – потолочный перегреватель; 20, 22 – холодная и горячая конвективные ступени пароперегревателя; 21 – ширмы; 23 – воздухозаборное устройство; 24 – дутьевой вентилятор; 25 – воздухоподогреватель; 26 воздуховоды; 27 – золоуловитель; 28 – дымосос; 29 – дымовая труба; 30 – установка механизированного шлакоудаления; 31 – канал гидрозолоудаления; 32 – колонны каркаса котла.

## **В котельной установке существует 5 основных трактов:**

- тракт рабочего тела – пароводяной;
- топливный – для транспорта и подготовки топлива;
- воздушный – подготовка и транспортировка окислителя;
- газовый – тракт продуктов сгорания и оборудования для транспорта;
- тракт золошлакоулавливания и удаления.

Паровой котел представляет собой систему поверхностей нагрева для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования теплоты, выделяющейся при сжигании топлива. Поступающая в паровой котел питательная вода подогревается до температуры насыщения, испаряется, а полученный насыщенный пар затем перегревается.

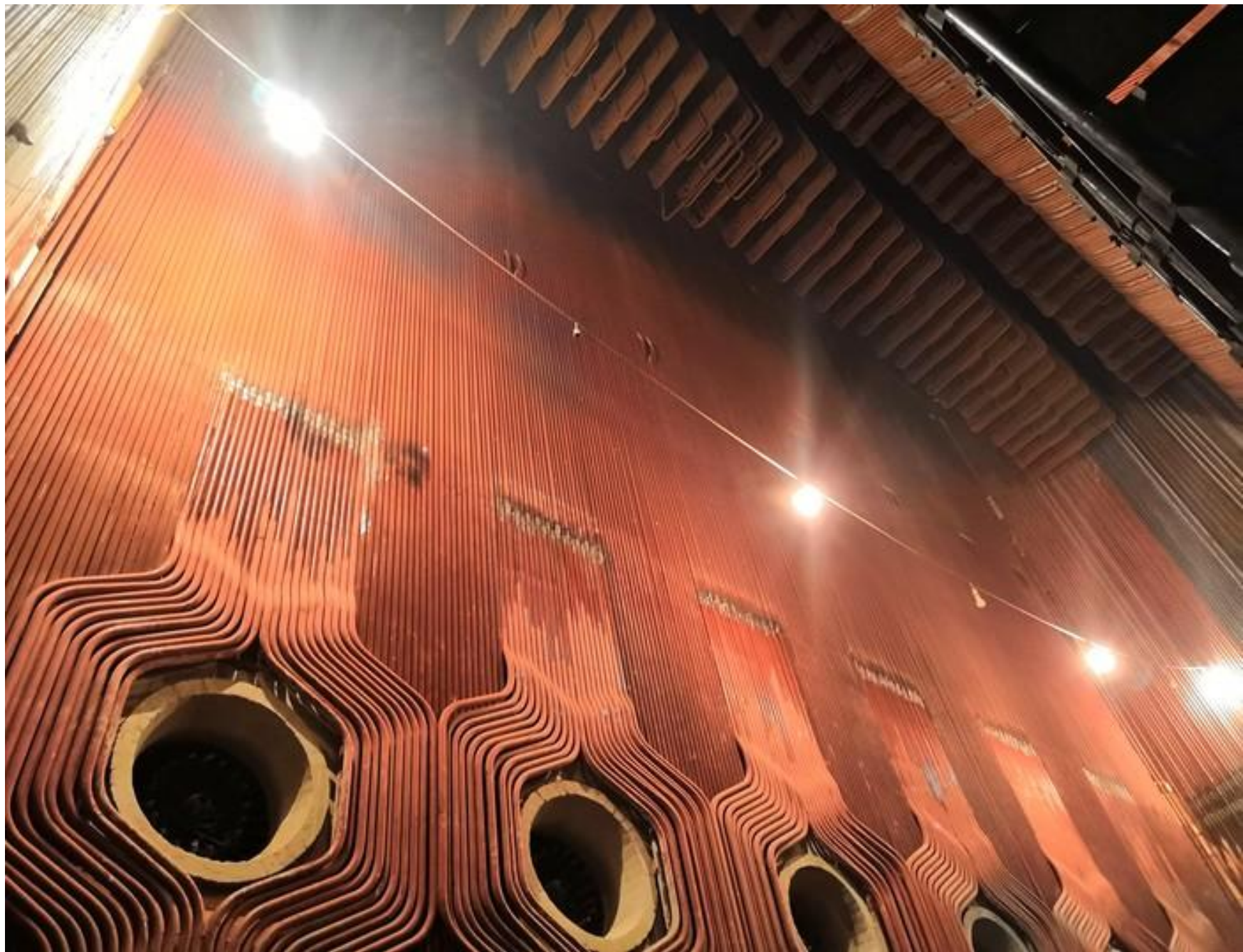
На современных КЭС и ТЭЦ с агрегатами единичной электрической мощности 100 МВт и выше применяют промежуточный перегрев пара, при котором частично отработавший пар из промежуточных ступеней турбины возвращают в паровой котел, а оттуда – обратно в турбину.











## **Котлы можно классифицировать по многим признакам.**

### **По назначению:**

*Энергетические паровые котлы* отличают: высокая единичная паропроизводительность, повышенные параметры пара, высокие требования к надежности и экономичности в процессе проектирования и изготовления на заводе, и, наконец, высокие требования к культуре их эксплуатации на электростанциях.

*Промышленные паровые котлы* вырабатывают пар для технологических нужд промышленности и сельского хозяйства.

*Отопительные котлы* производят пар или горячую воду для отопления промышленных, жилых и общественных зданий.

*Водогрейные отопительные.* Водогрейный котел–устройство для получения горячей воды с давлением выше атмосферного.

*Котлы-утилизаторы и энерготехнологические* используют резервы вторичные энергетических ресурсов при переработке отходов химических производств, бытового мусора и др.

**По виду сжигаемого топлива:**

*твердотопливные*

*газовые*

*на жидком топливе*

*комбинированные (газوماзутные)*

**По уровню давления**

*низкого давления (до 10 кгс/см<sup>2</sup>);*

*среднего (10-100 кгс/см<sup>2</sup>);*

*высокого (100-225 кгс/см<sup>2</sup>);*

*сверхкритического (СКД 225-300кгс/см<sup>2</sup>);*

*ультрасверхкритического (УСКД >300 кгс/см<sup>2</sup>).*



## Паровые турбины

Паровая турбина – это тепловой двигатель непрерывного действия, в лопаточном аппарате которого потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь совершает механическую работу на валу.

Поток водяного пара поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и, воздействуя на них, приводит ротор во вращение.

Паровая турбина является одним из элементов паротурбинной установки (ПТУ). Отдельные типы паровых турбин также предназначены для обеспечения потребителей тепла тепловой энергией.

В теплоэнергетике используются конденсационные и теплофикационные паровые турбины.







**Конденсационные** паровые турбины служат для превращения максимально возможной части теплоты пара в механическую работу. Они работают с выпуском (выхлопом) отработавшего пара в конденсатор, в котором поддерживается вакуум (отсюда возникло наименование).

**Теплофикационные** паровые турбины служат для одновременного получения электрической и тепловой энергии. Тепловые электростанции, на которых установлены теплофикационные паровые турбины, называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). К теплофикационным паровым турбинам относятся турбины с:

- противодавлением;
- регулируемым отбором пара;
- отбором и противодавлением.

У турбин с противодавлением весь отработанный пар используется для технологических целей (варка, сушка, отопление). Электрическая мощность, развиваемая турбоагрегатом с такой паровой турбиной, зависит от потребности производства или отопительной системы в греющем паре и меняется вместе с ней.

В турбинах с регулируемым отбором часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а остальной пар идёт в конденсатор. Давление отбираемого пара поддерживается в заданных пределах системой регулирования. Место отбора (ступень турбины) выбирают в зависимости от нужных параметров пара.

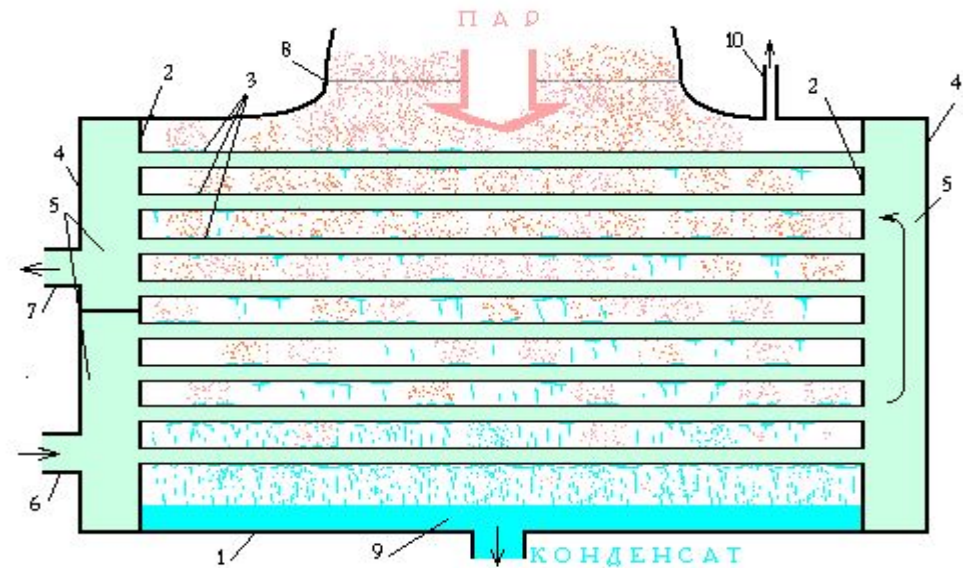
У турбин с отбором и противодавлением часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а весь отработавший пар направляется из выпускного патрубка в отопительную систему или к сетевым подогревателям.



**Конденсатор** – теплообменный аппарат для конденсации пара, выходящего из турбины, путём охлаждения.

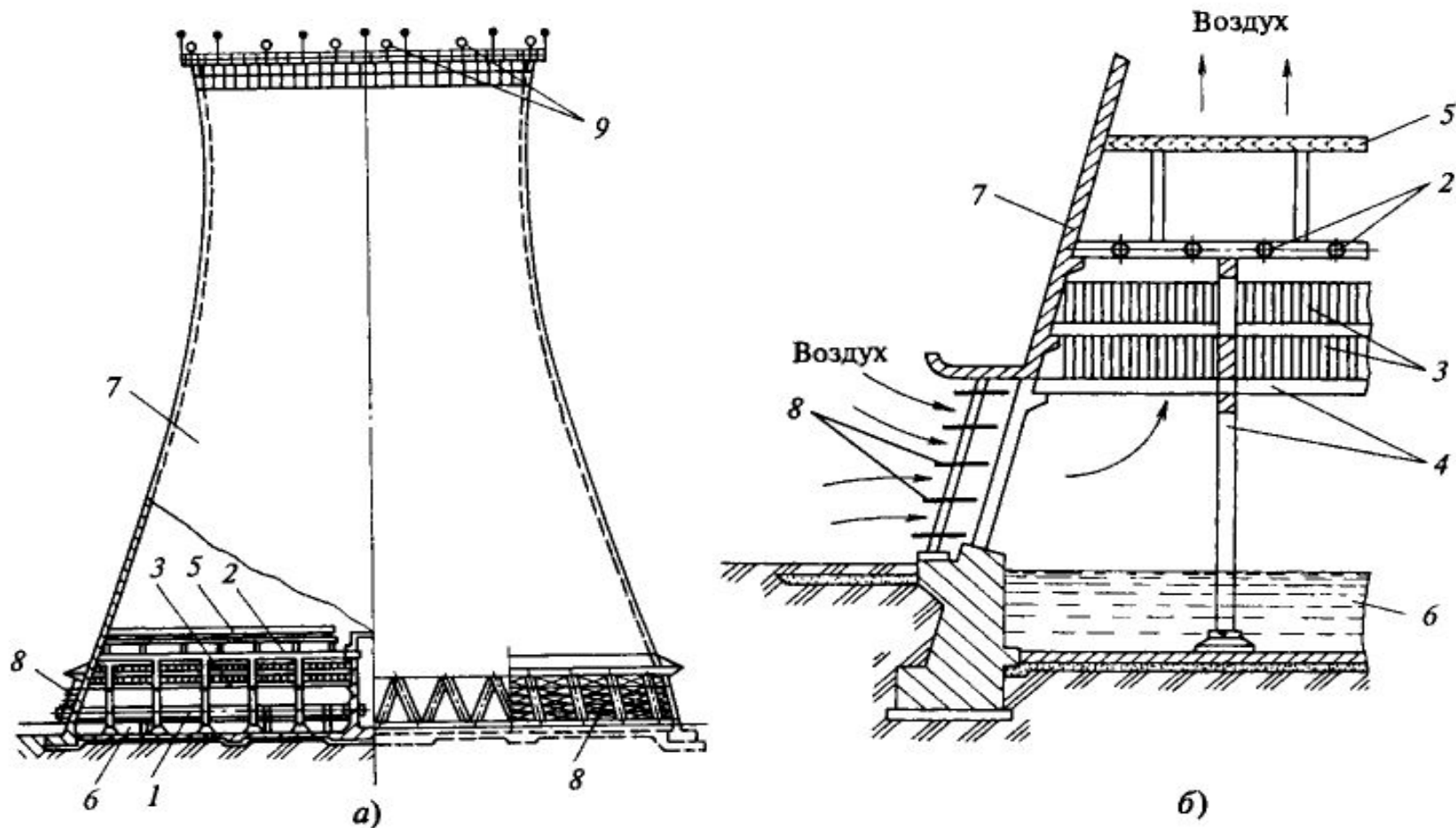
Для конденсации пара какого-либо вещества необходимо отвести от каждой единицы его массы теплоту, равную удельной теплоте конденсации. Для обратимых процессов она равна удельной теплоте парообразования.

Поскольку при конденсации, как и при испарении, температура не изменится, пока не сконденсируется весь пар, процесс происходит практически при постоянных параметрах пара. Для охлаждения пара используется более холодная среда, очень часто – обычная вода. Холодная вода может забираться из прилегающего водоема (например, река) или циркулировать, охлаждаясь в



## Градирни

Градирня – устройство для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха. Процесс охлаждения происходит за счёт испарения части воды при стекании её тонкой плёнкой или каплями по специальному оросителю, вдоль которого в противоположном направлении подаётся поток воздуха (вентиляторные градирни).





**Процесс охлаждения происходит за счёт испарения части воды при стекании её тонкой плёнкой или каплями по специальному оросителю, вдоль которого в противоположном движении воды направлении подаётся поток воздуха. При испарении 1 % воды, температура оставшейся понижается на 5,48 °С.**



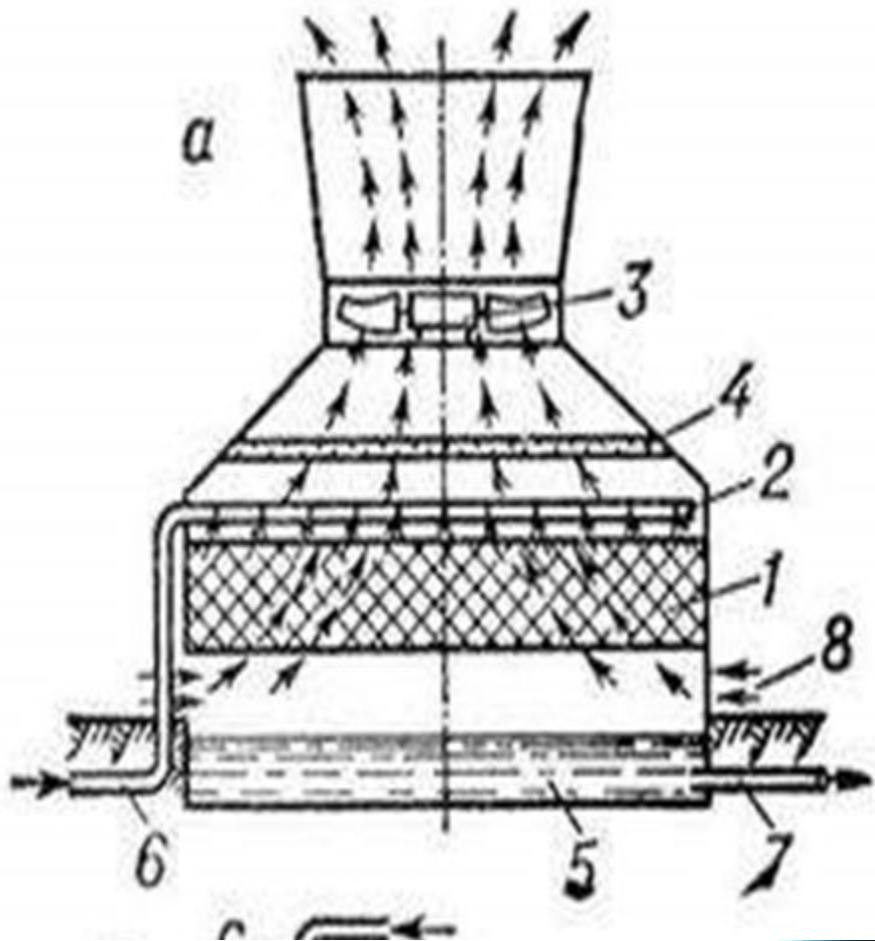












# Градирни

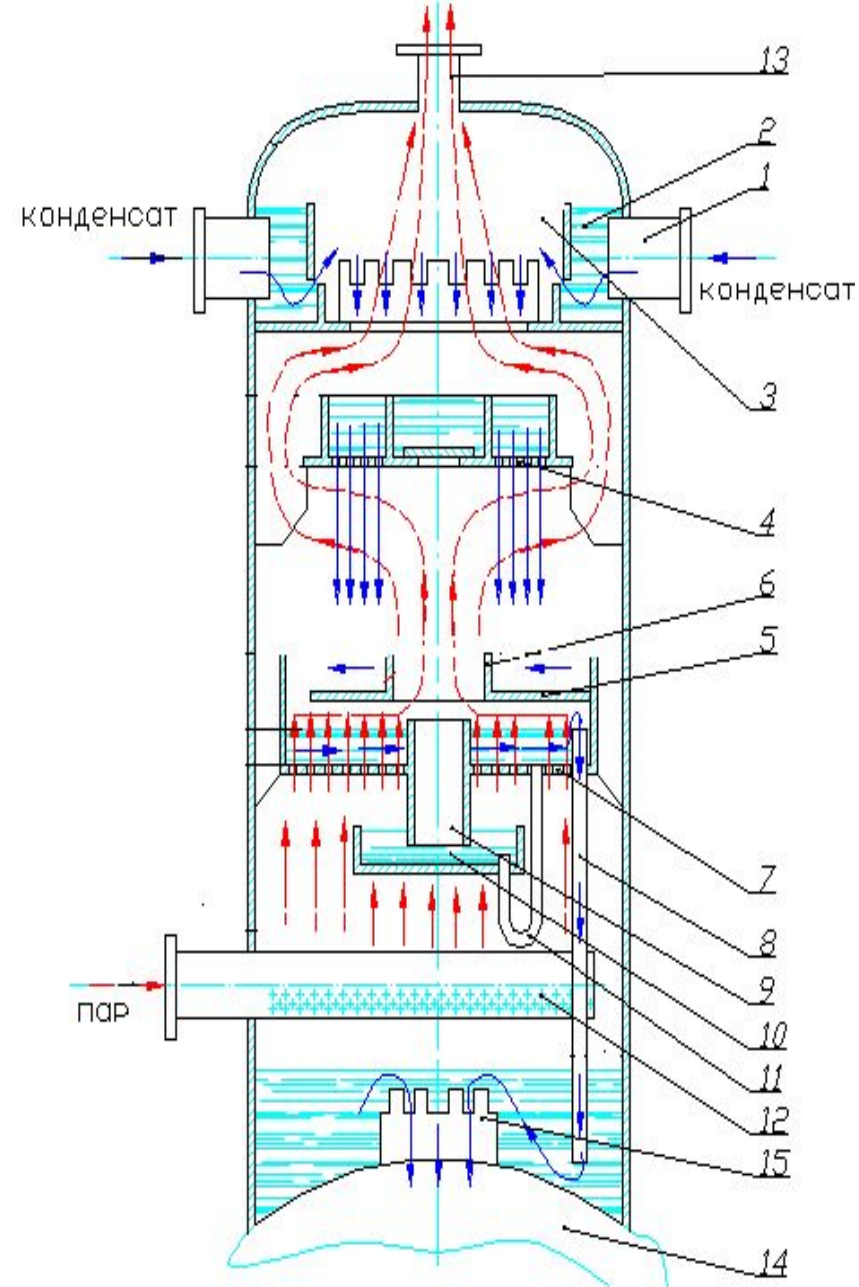




## Деаэраторы

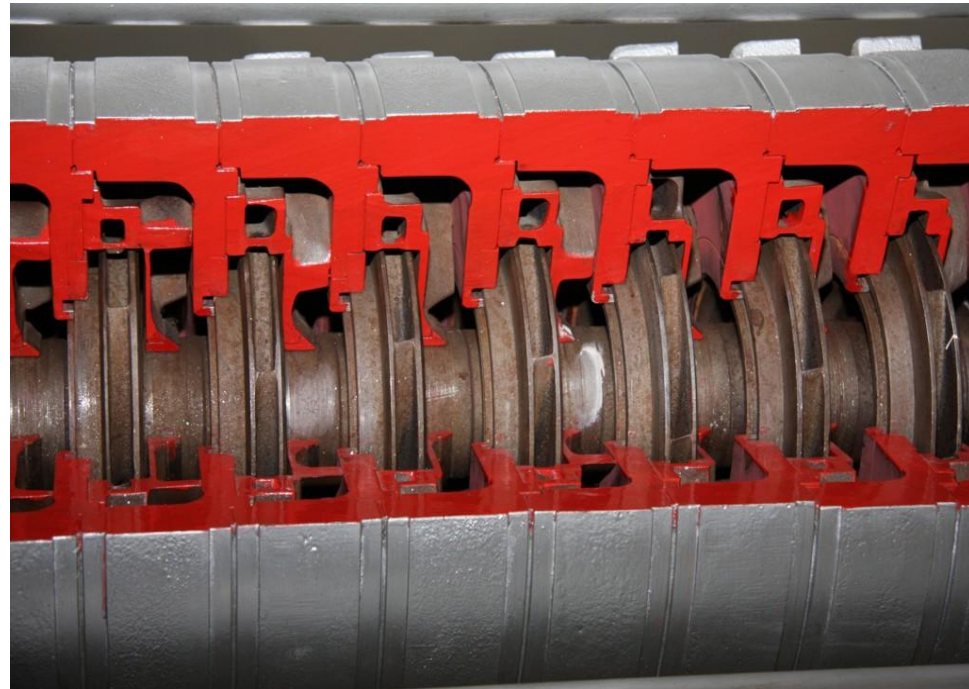
Деаэраторы, как правило, выполняют две функции – обеспечивают удаление из рабочего тела (воды) растворенных газов и содержат запас питательной воды.

Обычно на ТЭС используют термические деаэраторы, основанные на принципе диффузионной десорбции: жидкость нагревается до кипения, при этом растворимость газов близка к нулю и образующийся пар (выпар) уносит



## Питательные насосы

Питательные насосы являются важнейшими из вспомогательных машин паротурбинной электростанции – они обеспечивают подачу питательной воды в котел. Питательные насосы бывают как с электрическим, так и с паровым приводом. Как правило, используются центробежные многоступенчатые насосы.





## Тягодутьевое оборудование

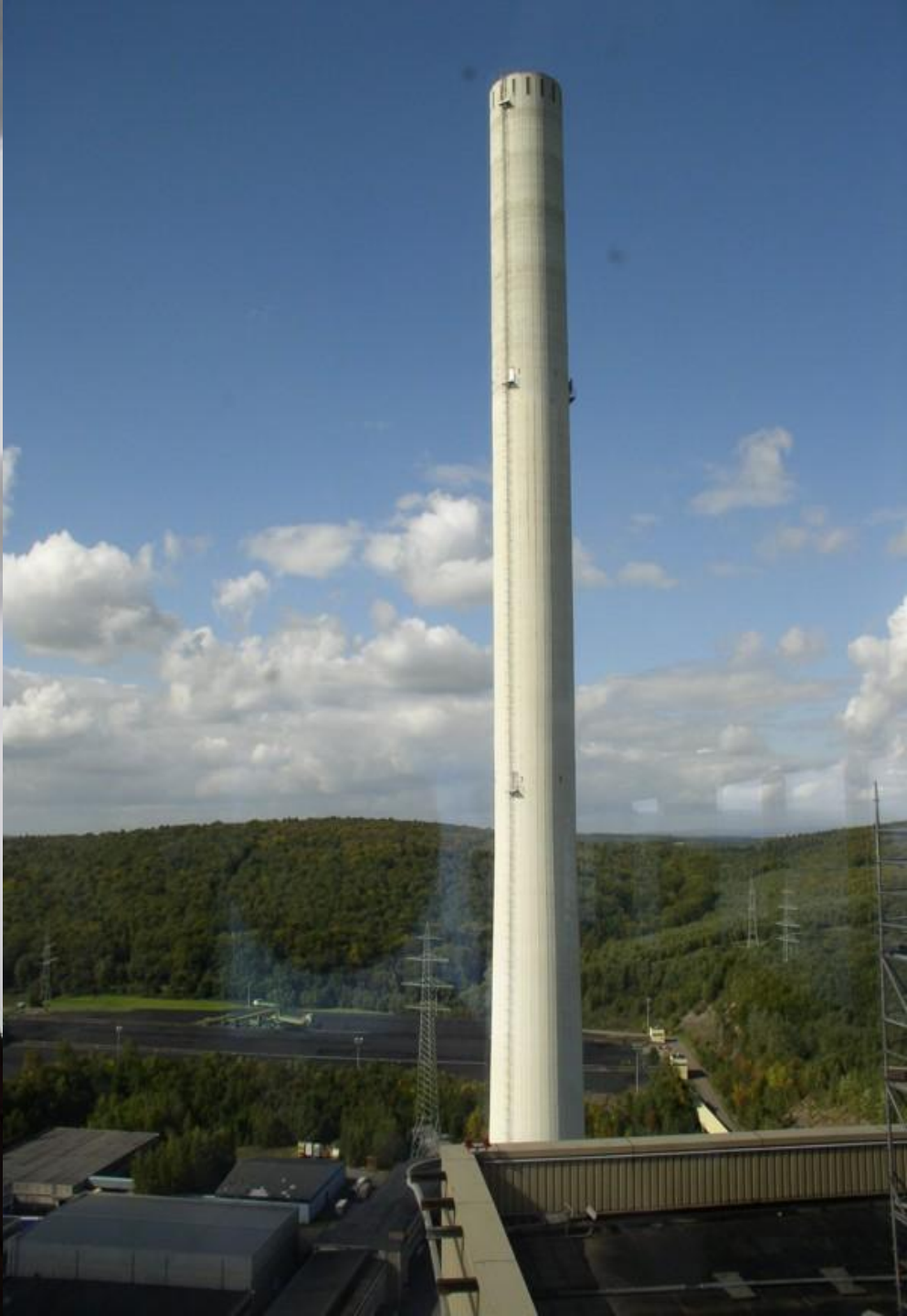
Для подачи воздуха в котел и эвакуации дымовых газов используется тягодутьевое оборудование - дутьевые вентиляторы и дымососы.

**Дымосос** – тягодутьевая машина (как правило, центробежного типа), которая устанавливается после котла для удаления дымовых газов.

**Дутьевой вентилятор** (как и дымосос обычно центробежного типа) предназначен для подачи воздуха в топку котельных агрегатов.

Следует отметить, что тягодутьевое оборудование и питательные насосы являются основными потребителями электроэнергии, идущей на собственные нужды.

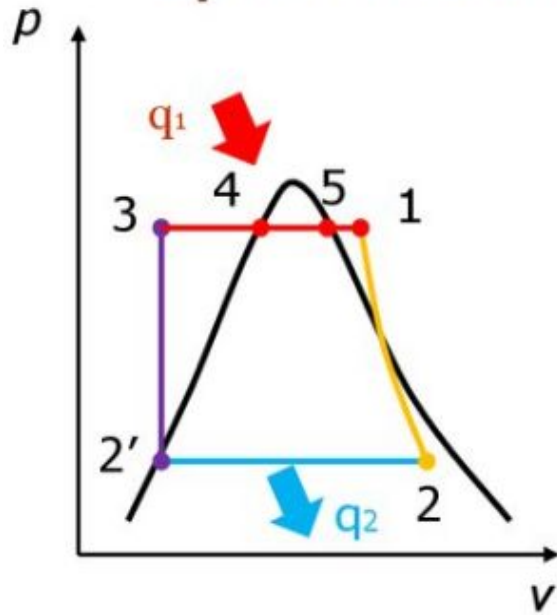








# Цикл Ренкина на перегретом паре



1-2 расширение пара в турбине

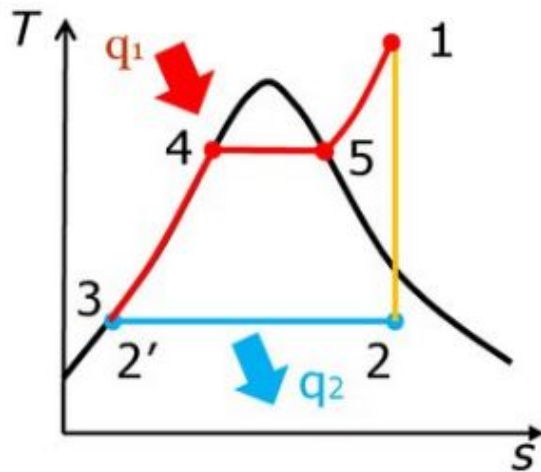
2-2' конденсация пара в конденсаторе

2' -3 сжатие воды в питательном насосе

3-4 нагрев питательной воды до температуры кипения

4-5 генерация пара в котле

5-1 перегрев пара в пароперегревателе





# КПД ТЭС

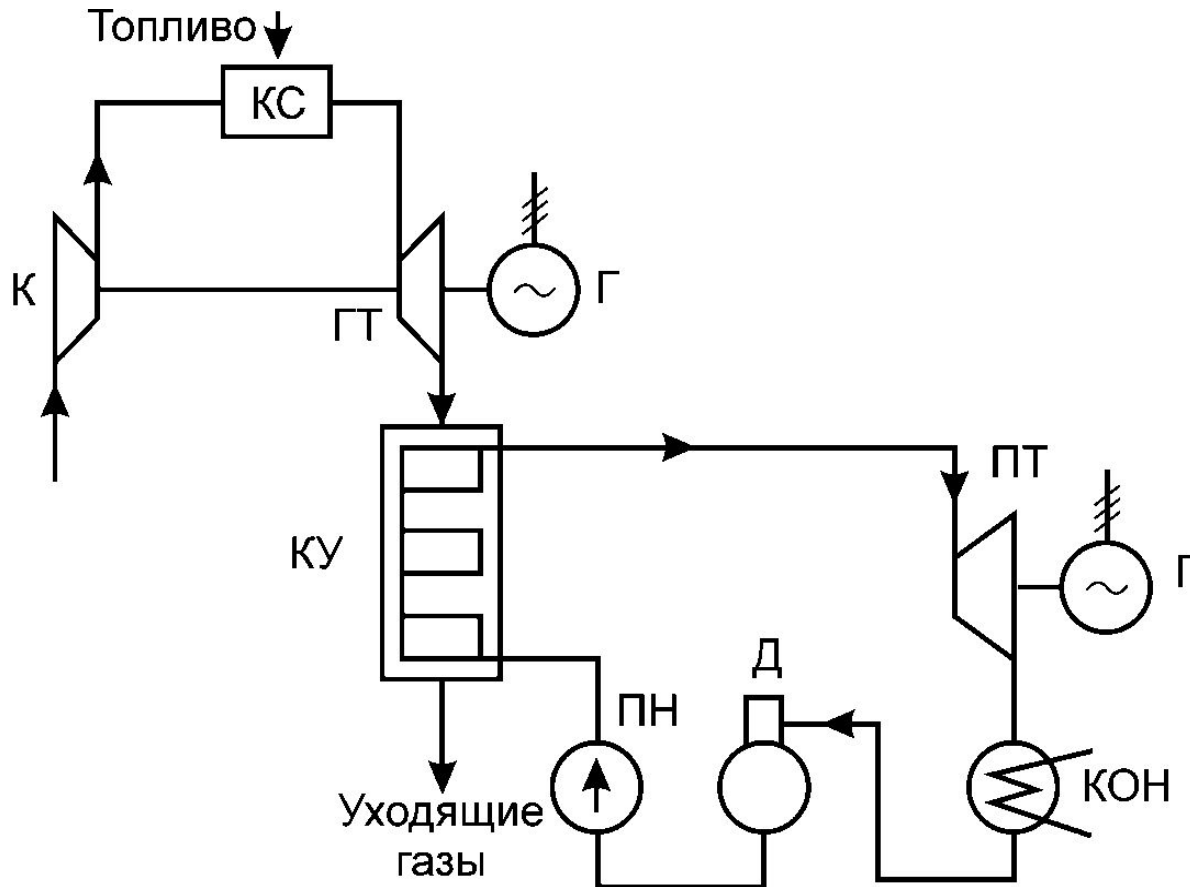
- турбина – 85-90%
- генератора – 99-99,5%
- котла – 90-93%
- конденсатора – 45-50%

*Итого КПД ТЭС = 34-41,5%*

*На современных ТЭЦ значение КПД  
может достигать 45%*

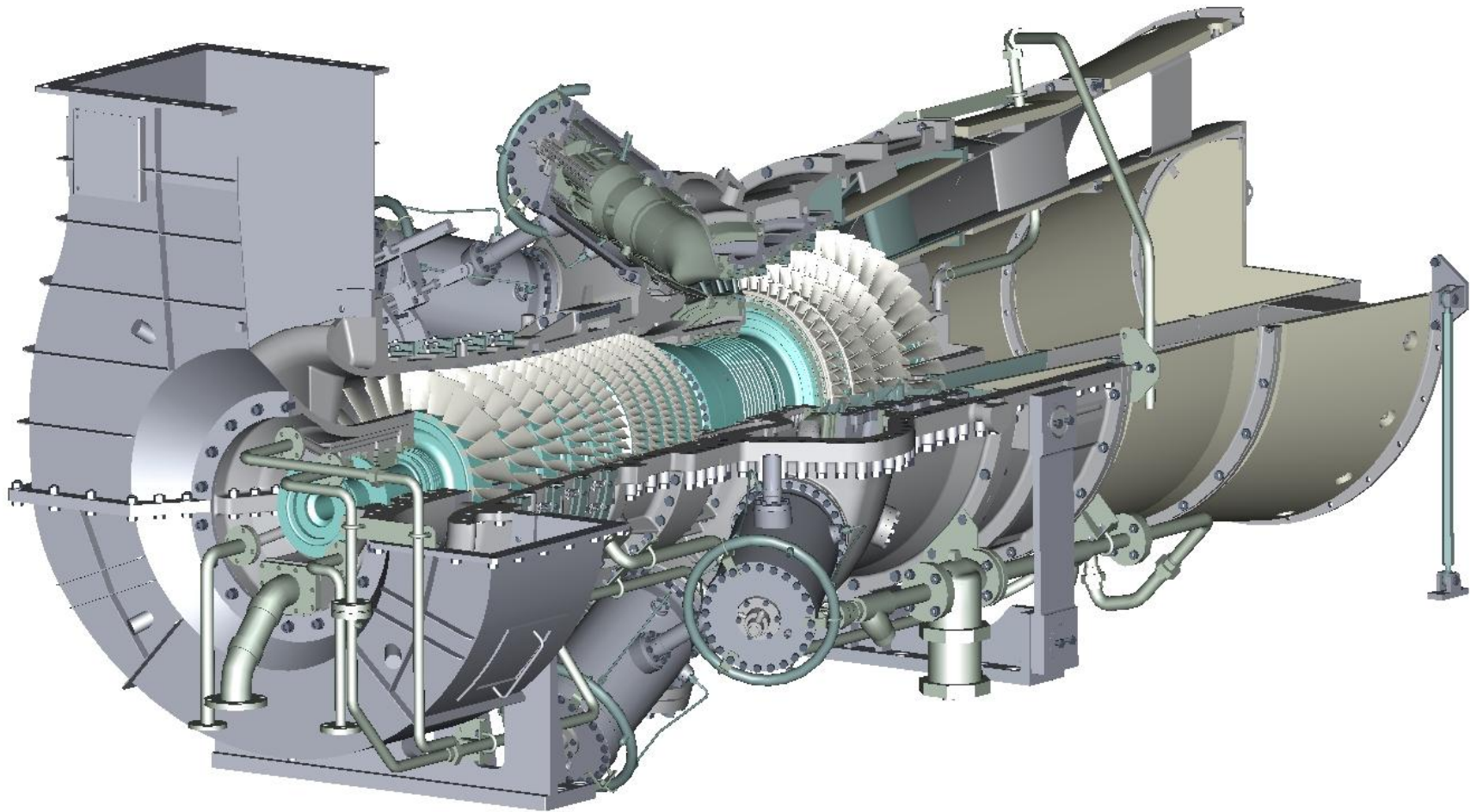
# ПГУ

Парогазовая установка – электрогенерирующая станция, служащая для производства электроэнергии. Отличается от паросиловых и газотурбинных установок (ГТУ) повышенным КПД.

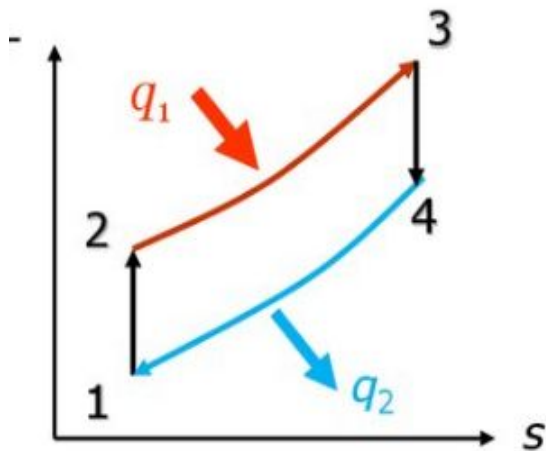
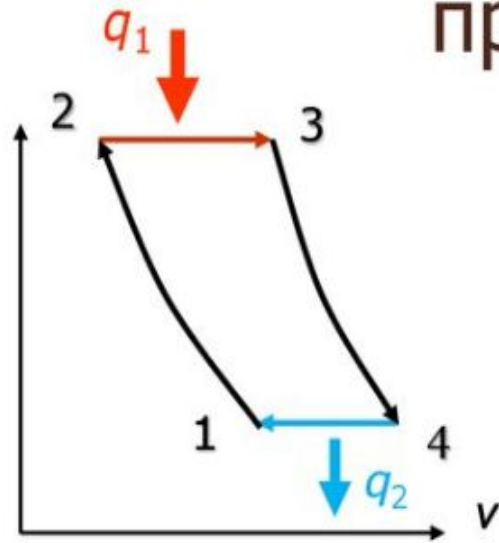


К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; Г – генератор; КУ – котел утилизатор; ПТ – паровая турбина; КОН – конденсатор; Д – деаэратор; ПН – питательный насос.

## Схема одновальная ГТУ



# Цикл ГТУ с подводом теплоты в процессе $p=\text{const}$



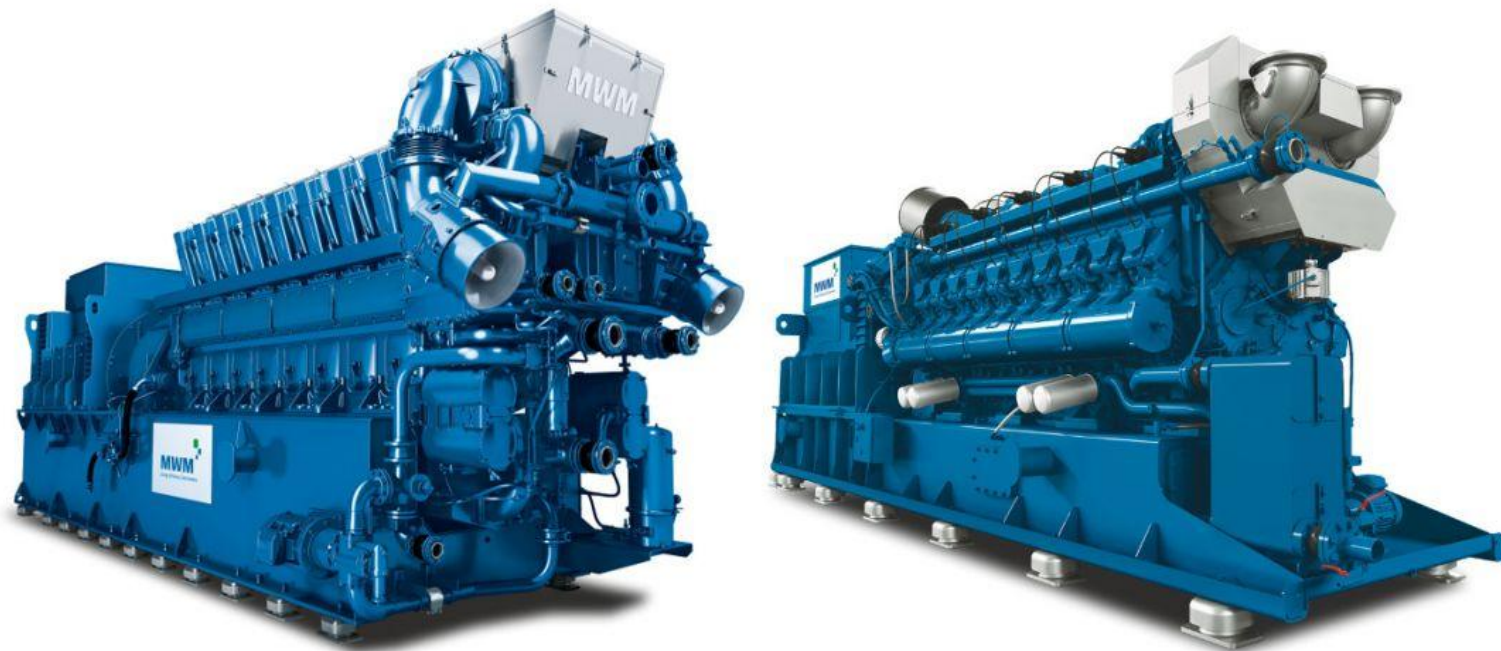
1-2 адиабатное сжатие воздуха в компрессоре

2-3 изобарный подвод теплоты ( $p=\text{const}$ )

3-4 адиабатное расширение рабочего тела в газовой турбине

4-1 изобарный отвод теплоты

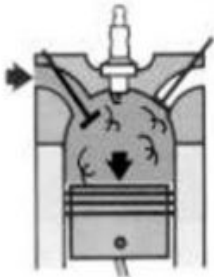
Газопоршневая электростанция — это система генерации, созданная на основе поршневого двигателя внутреннего сгорания, работающего на природном или другом горючем газе. Возможно получение двух видов энергии, (тепло и электричество) и этот процесс называется «когенерация». В случае если в газопоршневых электростанциях используется технология, позволяющая получать ещё и холод (очень актуально для вентиляции, холодоснабжения складов, промышленного охлаждения), то данная технология будет называться «тригене»



Общий вид газопоршневых установок MWM



# Цикл Отто



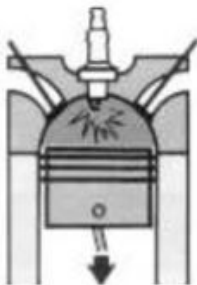
## 1-й такт: ВПУСК

Открывается впускной клапан  
Поршень движется вниз  
Цилиндр заполняется **ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСЬЮ**  
Закрывается впускной клапан



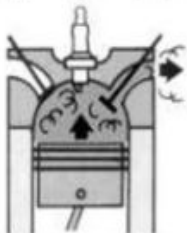
## 2-й такт: СЖАТИЕ

Клапаны закрыты  
Поршень движется вверх  
Повышаются давление и температура



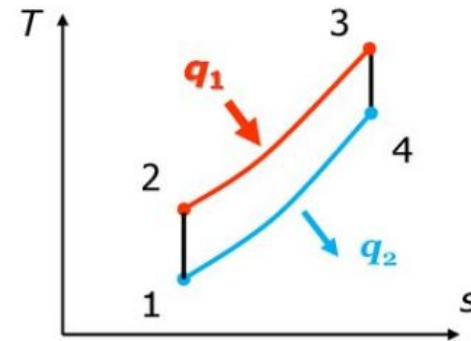
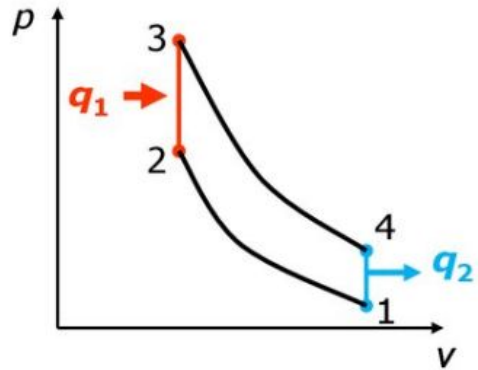
## 3-й такт СГОРАНИЕ-РАСШИРЕНИЕ

Сгорание.  
Расширение.



## 4-й такт: Выпуск

Открывается выпускной клапан  
Поршень движется вверх и выталкивает продукты сгорания,  
находящиеся в цилиндре



- 1-2 адиабатное сжатие рабочего тела
- 2-3 изохорный подвод теплоты
- 3-4 адиабатное расширение рабочего тела
- 4-1 изохорный отвод теплоты  
от рабочего тела к холодному источнику

## Принцип работы газопоршневой электростанции

Горючий газ необходимых параметров поступает на газопоршневой двигатель. В процессе сжигания топлива образуется механическая энергия, которая передается через единый вал на генератор и преобразуется в электрическую энергию стандартных параметров качества. Вырабатываемая электроэнергия через кабельные линии передается на генераторное распределительное устройство необходимого уровня напряжения (генераторная ячейка) с последующим распределением до существующего распределительного устройства энергосистемы предприятия заказчика.

Во время работы установки высвобождается большое количество тепла (рубашка охлаждения двигателя, отработавшие дымовые газы, нагретое масло), которое снимается с помощью теплообменников и котлов-утилизаторов (система утилизации попутного тепла). Вырабатываемая тепловая энергия подается в существующую тепловую сеть предприятия. При неиспользовании попутного тепла с электростанции тепловая энергия сбрасывается в атмосферу.



## Преимущества газопоршневых электростанций

- КПД до 48%;
- возможность получения относительно бесплатных попутных продуктов (когенерация и тригенерация);
- низкий уровень себестоимости производства электроэнергии;
- оптимальная стоимость установок;
- широкая линейка номинальных мощностей установок;
- длительные межсервисные интервалы и максимальная наработка до капитального ремонта среди установок своего класса;
- компактность, возможность блочно-модульного исполнения;
- экологичность и безопасность, отвечающие европейским нормам;
- оптимальные расходы на сервисное обслуживание и эксплуатацию;
- быстрая окупаемость проектов.

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

*Органическим топливом* называются вещества органического происхождения, способные активно соединяться с кислородом и образовывать продукты сгорания, нагретые до высокой температуры за счет содержащейся в нем химически связанной энергии.

## *Классификация топлив*

### *По происхождению*

- *естественные* - добытые в природных условиях
- *искусственные* - полученные в результате переработки природного топлива

### *По сфере потребления*

- *энергетические* – идущие для сжигания при выработке электроэнергии и теплоты
- *технологические* – на переработку для получения необходимых промышленных продуктов

# Классификация топлив

## По агрегатному состоянию

- *твердые*
  - *угли*
  - *торф*
  - *сланцы*
- *жидкие*
  - *мазут*
- *газообразные*
  - *природный газ*
  - *промышленный газ*

# *Твердые топлива*

Угли по глубине химических превращений (метаморфоза), часто отвечающих **геологическому возрасту**, подразделяются на:

- *бурые угли*
- *каменные угли*
- *антрациты*

**Торф** является основным углеобразующим веществом



# Твердые топлива

## Сланцы

- *горючие* - глинистые породы, расслаивающиеся на плитки, обладающие способностью легко загораться от спички и гореть коптящим пламенем с запахом нефти
- *углистые* - плотные сцементированные углисто-глинистые породы растительного происхождения

# Жидкое топливо

*Сернистые мазуты* являются основным видом жидкого топлива, сжигаемого на электростанциях, и характеризуются повышенной вязкостью и плотностью

При перекачке и распыле мазутов большую роль играет *вязкость*, ее принято выражать в градусах условной вязкости ( $^{\circ}\text{ВУ}$ ).

## *Характерные температуры*

- *Температура застывания* – минимальная температура (5–25°C). при которой мазут теряет текучесть
- *Температура вспышки* – температура 80–140 °C, при которой пары мазута в смеси с воздухом вспыхивают при соприкосновении с пламенем



# *Газообразное топливо*

## *Природный газ*

- газ чисто газовых и газоконденсатных месторождений
- газ попутный (нефтепромысловый), всегда сопутствующий нефтяным месторождениям

## *Промышленный газ*

- газификация углей
- получаемый, как дополнительный продукт, при химических производствах

# *Характеристики топлива*

- *состав топлива*
- *влажностное содержание*
- *содержание минеральной части*
- *выход летучих*
- *теплота сгорания*

# *Элементарный состав твердого топлива*

- *углерод C*
- *водород H*
- *сера S*
- *кислород O*
- *азот N*
- *зола A*
- *вода W*



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПАРА

