

# **“Электрические станции и подстанции**

**3 курс 5 семестр**

**Симаков Ю. П.**

## **Лекция 2.**

# **Основные типы электростанций и подстанций, их характерные особенности.**

- 1. Тепловые электростанции (ТЭС)**
- 2. Гидроэлектрические станции (ГЭС)**
- 3. Атомные электростанции (АЭС)**
- 4. Ветроэлектростанции (ВЭС)**
- 5. Геотермальные электростанции**
- 6. Солнечные электростанции (СЭС)**
- 7. Электростанции с магнитогидродинамическим генератором**
- 8. Электрохимические электростанции**
- 9. Подстанции**

# Тепловые электростанции

**К тепловым электростанциям относят:**

***1. Паротурбинные электростанции:***

- конденсационные (КЭС, ГРЭС);
- теплофикационные (ТЭЦ);

***2. Газотурбинные установки (ГТУ);***

***3. Парогазовые установки (ПГУ).***

**Основными элементами паротурбинной электростанции являются:**

- котельные агрегаты;
- турбинные агрегаты: паровая турбина и электрический синхронный генератор (турбогенератор).

# Тепловые электростанции (ТЭС)



тепловые электростанции —  
электростанция, вырабатывающая  
электрическую энергию за счет  
преобразования химической энергии  
топлива в механическую энергию  
вращения вала электрогенератора.

- Паротурбинные электростанции работают **на твердом, жидком или газовом топливе.**
- Наиболее широко используют **твердое топливо**: бурые угли, антрацитовый штыб, горючие сланцы, торф и т.д.
- Твердое топливо сжигается в топках котлов кусками (слоевое сжигание) или в пылевидном состоянии (камерное сжигание).
- Станции на **газовом топливе** более экономичны, на них меньше численность персонала, выше КПД котлоагрегатов и на 4 - 5% ниже себестоимость энергии, а также меньше сроки строительства и окупаемости.
- Применение в качестве **жидкого топлива мазута** дает аналогичные преимущества, но с большими затратами.

# Паротурбинные конденсационные станции

**КЭС** оснащаются паротурбинными агрегатами **высоких** параметров единичной мощностью: **50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 800, 1200 МВт.**

На станции может быть установлено до 12 агрегатов, которые, как правило, выполняются **по блочной схеме** (**котел- турбогенератор- трансформатор**) без поперечных связей.

## Достоинствами КЭС являются:

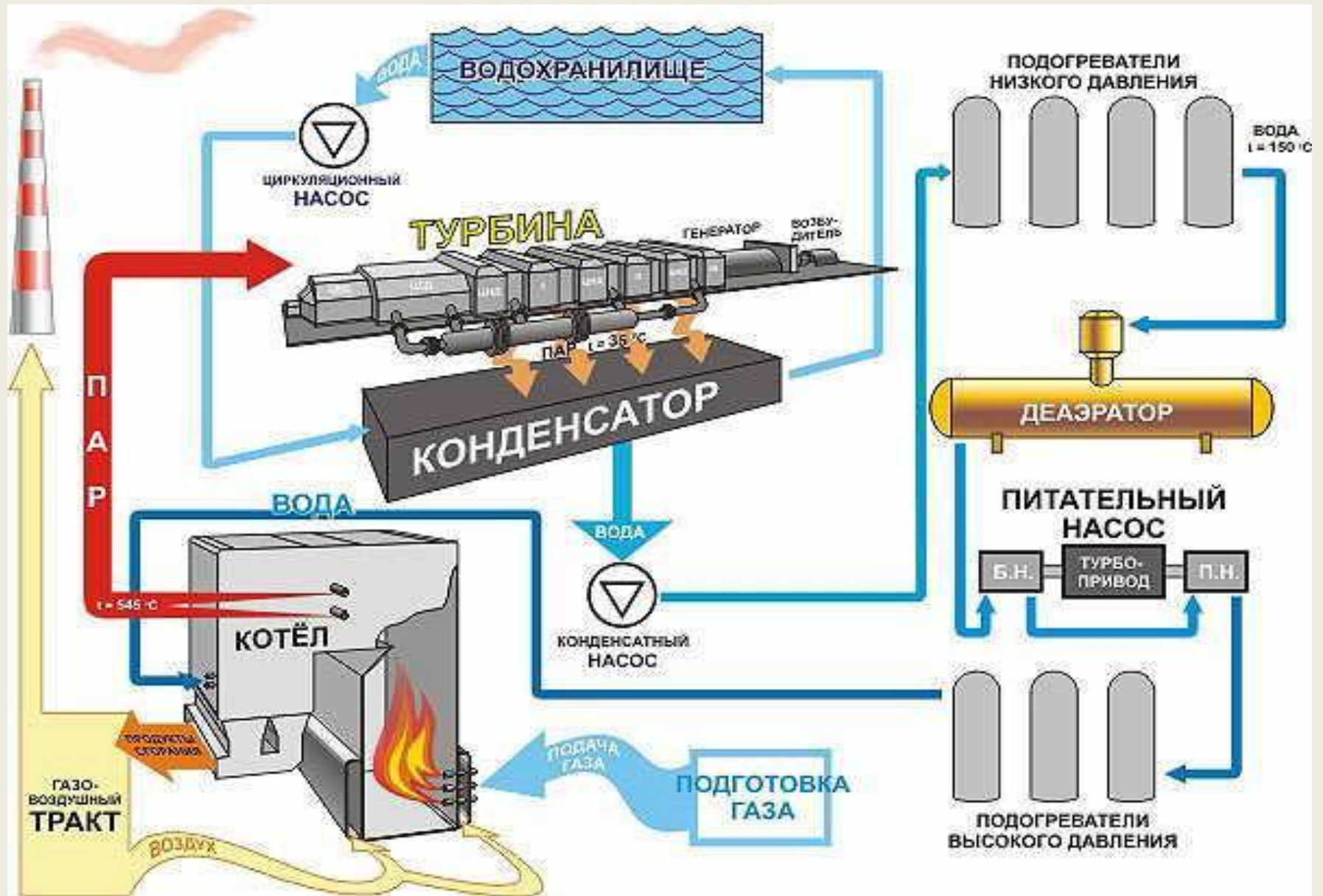
*высокая надежность,  
низкая себестоимость электроэнергии.*

## К недостаткам можно отнести

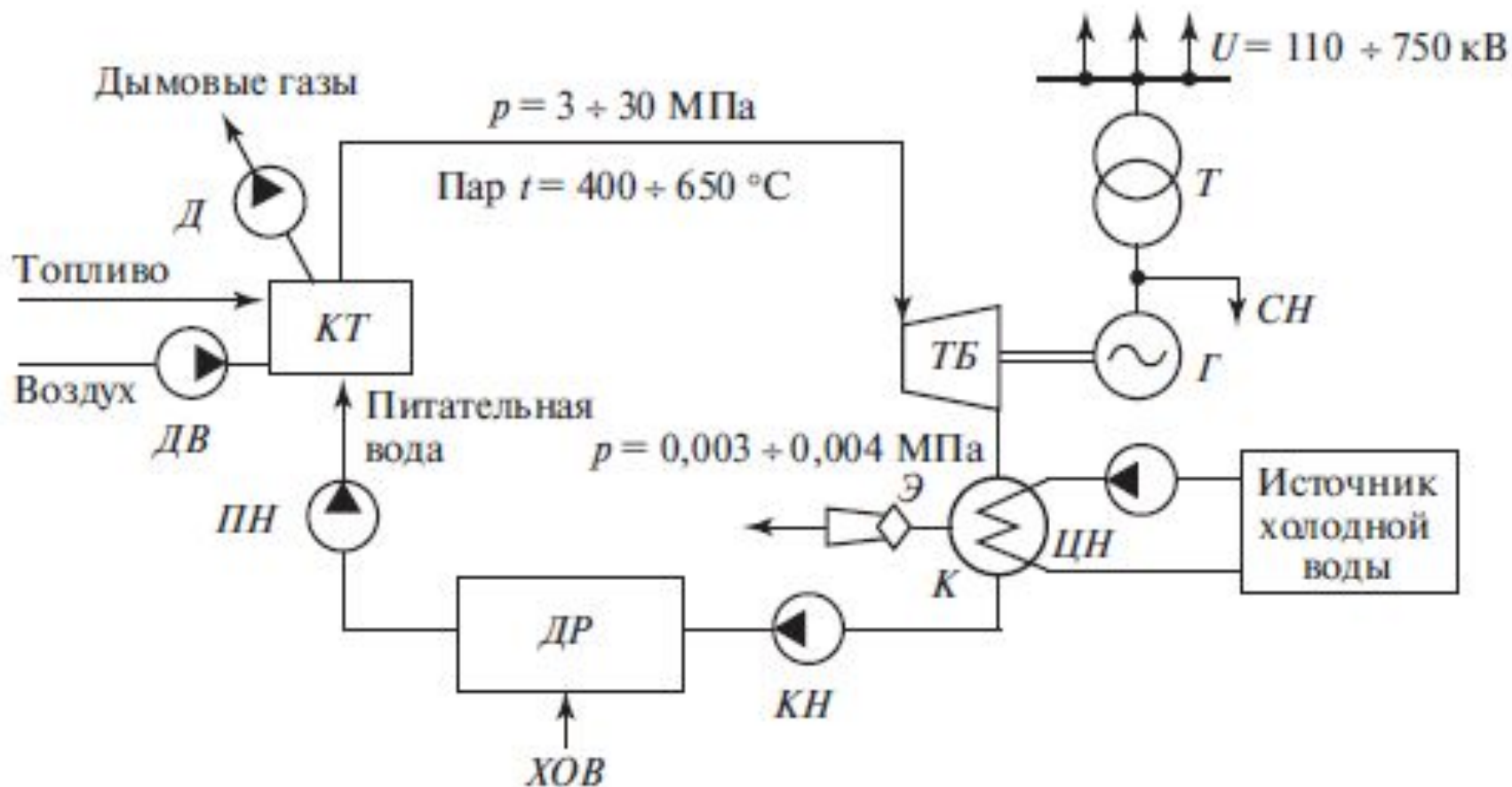
*относительно высокую стоимость  
оборудования,*

*значительные затраты на пуско-  
остановочные операции и, вследствие  
этого, затруднительность глубокого  
регулирования мощности.*

# Тепловая схема ГРЭС



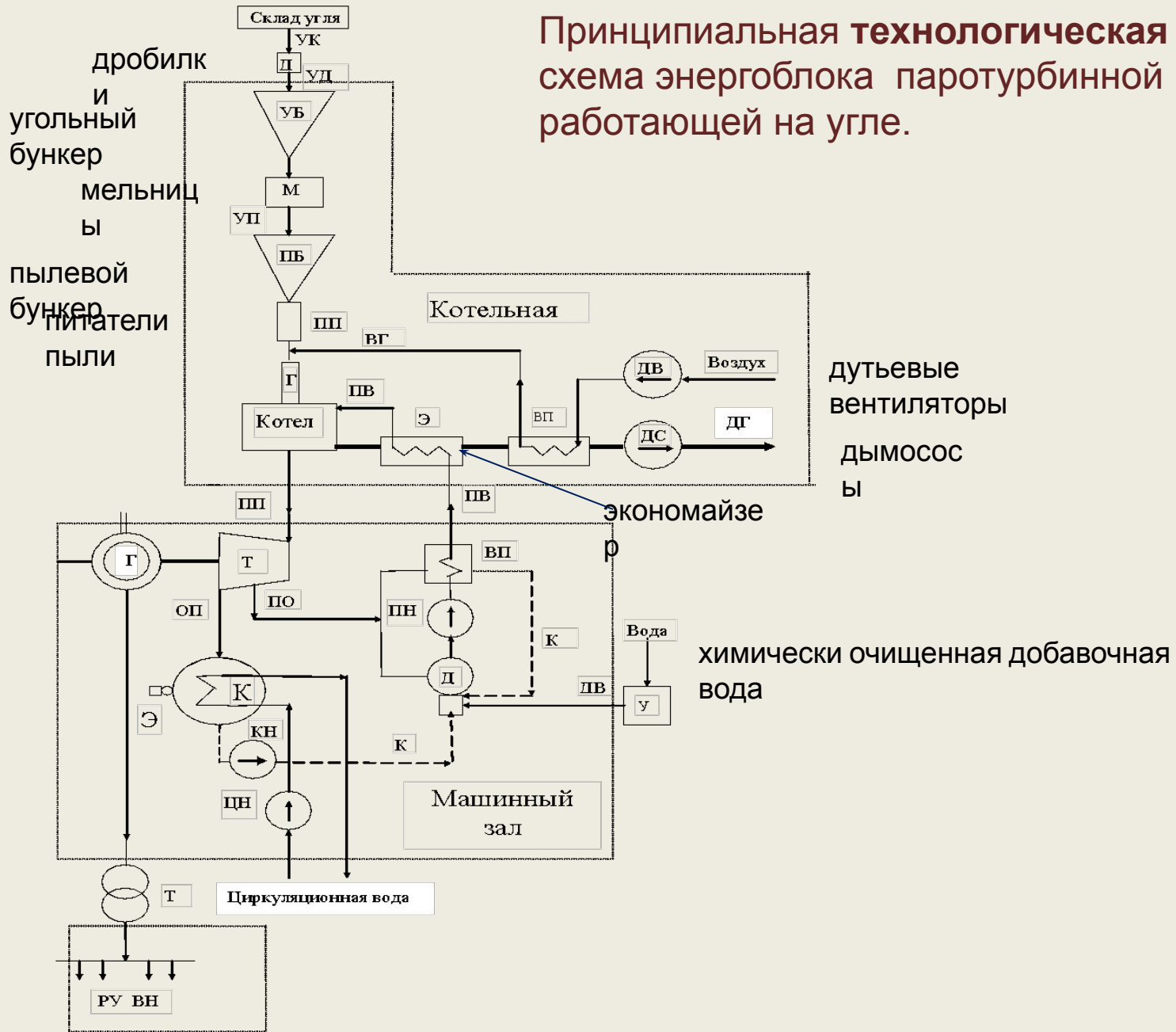




**Рис. 1.2. Принципиальная схема конденсационной тепловой электростанции:**

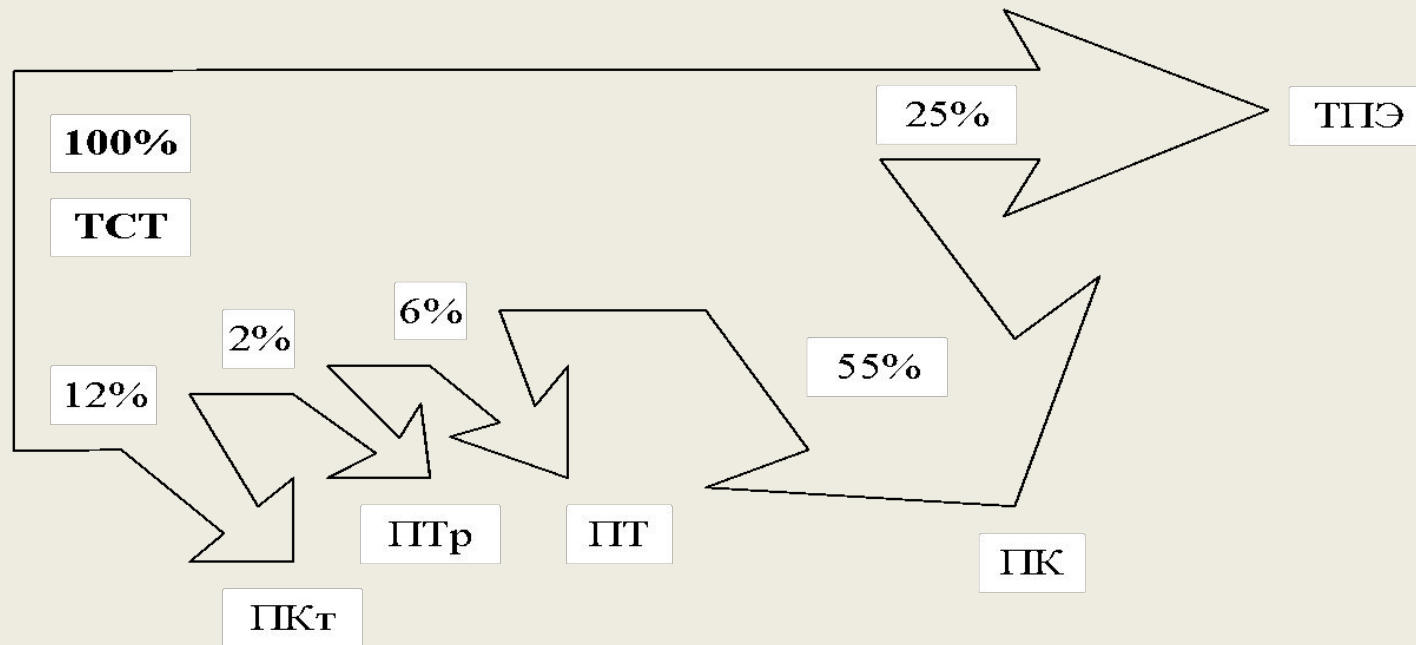
*ХОВ* — химически очищенная вода; *ДР* — деаэратор; *ПН* — питательный насос; *ДВ* — дутьевой вентилятор; *КТ* — котел; *Д* — дымосос; *ТБ* — турбина; *КН* — конденсатный насос; *Э* — эжектор; *К* — конденсатор; *ЦН* — циркуляционный насос; *Т* — трансформатор; *СН* — собственные нужды; *Г* — генератор

# Принципиальная технологическая схема энергоблока паротурбинной КЭС, работающей на угле.



- Конденсационные паровые турбины имеют несколько отборов для подогрева питательной воды.
- Чем больше отбор, тем большее количество тепла возвращается (регенерируется) с питательной водой и тем меньше поступает в конденсатор и теряется с циркуляционной водой и тем выше КПД.
- **Общий КПД станций составляет 25 - 40%, поэтому они невыгодны на дальнепривозном сырье.**

# Тепловой баланс КЭС



- ТСТ - тепло, полученное при сжигании топлива;
- ПКт - потери тепла в котельном агрегате;
- ПТр - потери тепла в трубопроводах;
- ПТ - потери тепла в турбогенераторах;
- ПК - потери тепла в конденсаторе;
- ТПЭ - тепло, превращенное в электроэнергию

- Обычно КЭС работают на местном топливе, поэтому удалены от потребителей.
- Удаленность от потребителей, а также большие мощности установленных агрегатов определяют особенности электрической части КЭС.
- Электроэнергия с КЭС распределяется на высоких и сверхвысоких напряжениях:
  - при мощности блоков 50-200 МВт - на напряжении 110-220 кВ;
  - при мощности блоков 200 МВт и выше - на напряжении 220 - 750 кВ.
- КЭС связаны с потребителями относительно небольшим количеством ЛЭП большой пропускной способности.

- КЭС являются **основными** источниками электроэнергии, работающими в **базисном и полупиковом** режимах.
- В состав энергоблоков входят **трансформаторы Т**, которые повышают генераторное напряжение (6, 10, 20 кВ) до 110 - 750 кВ.
- Отдельные энергоблоки связаны распределительным устройством высокого напряжения (РУ ВН), от которого отходят ЛЭП к потребителям.
- Для РУ ВН применяются достаточно сложные и дорогие схемы, так как к надежности их предъявляются высокие требования.

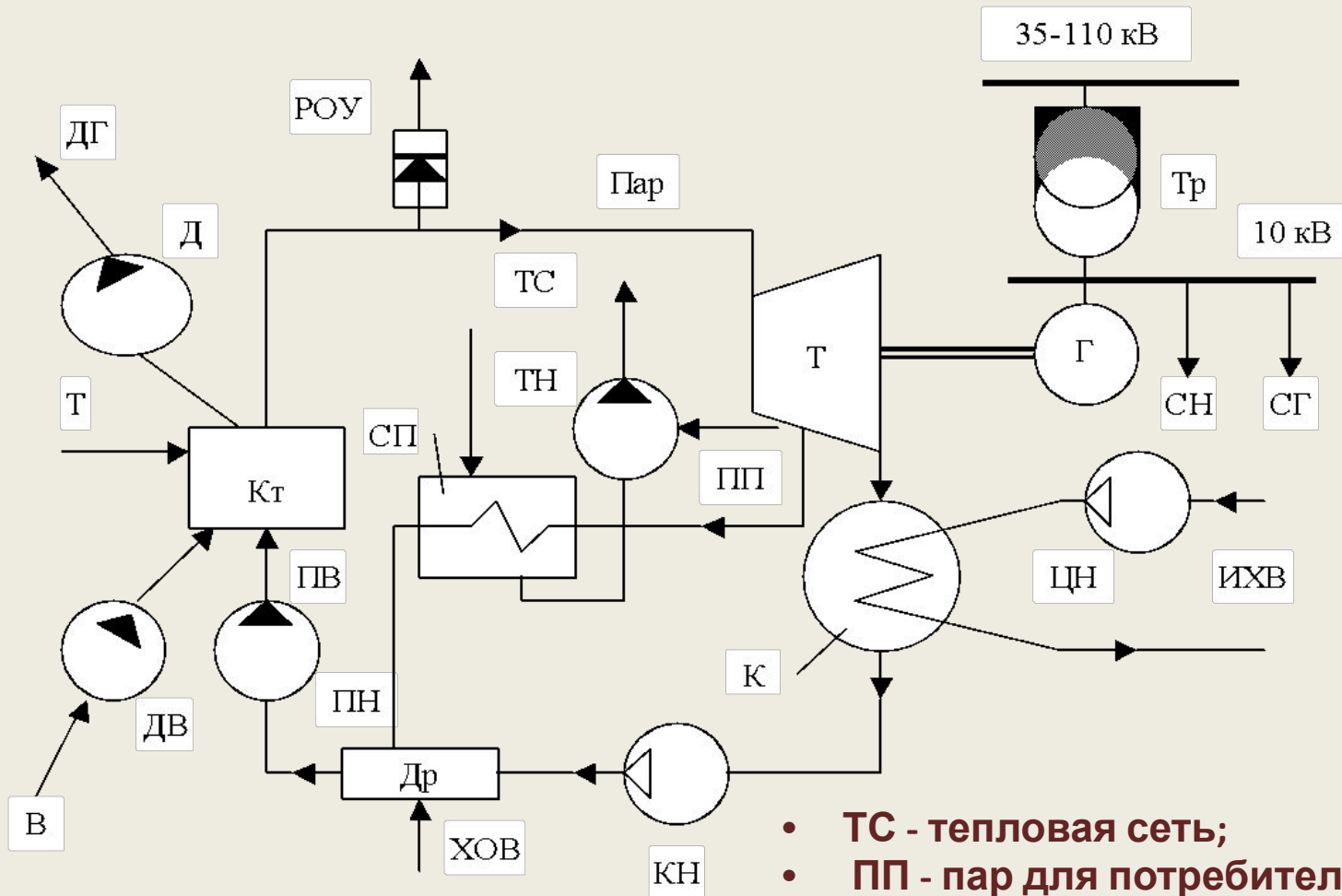
- КЭС работают по свободному графику выработки электроэнергии (т.е. неограниченному технологическому режиму).
- КЭС *низкоманевренные*: разворот турбин и набор нагрузки из "холодного" состояния требует примерно 3-10 ч.
- Мощность современных КЭС достигает 4 ГВт и выше. На них устанавливаются энергоблоки мощностью **200, 300, 500 и 800 МВт**. На Костромской КЭС (РФ) работает один энергоблок мощностью **1200 МВт**.

# Теплоэлектростанции

- Для многих отраслей промышленности, таких, как автомобилестроение, химическая, нефтеперерабатывающая, металлургическая, целлюлозно-бумажная, текстильная, пищевая и др., наряду с электроэнергией требуется большое количество тепловой энергии. Для отопления жилых зданий также необходима тепловая энергия.
- В этих условиях естественно использовать пар, получаемый в парогенераторах на тепловых станциях, как для выработки электроэнергии, так и для теплофикации потребителей.
- Электростанции, выполняющие такие функции, называются теплоэлектростанциями (ТЭС).



# Структурная схема ТЭЦ



- **ТС** - тепловая сеть;
- **ПП** - пар для потребителей;
- **РОУ** - редуционно-охладительная установка

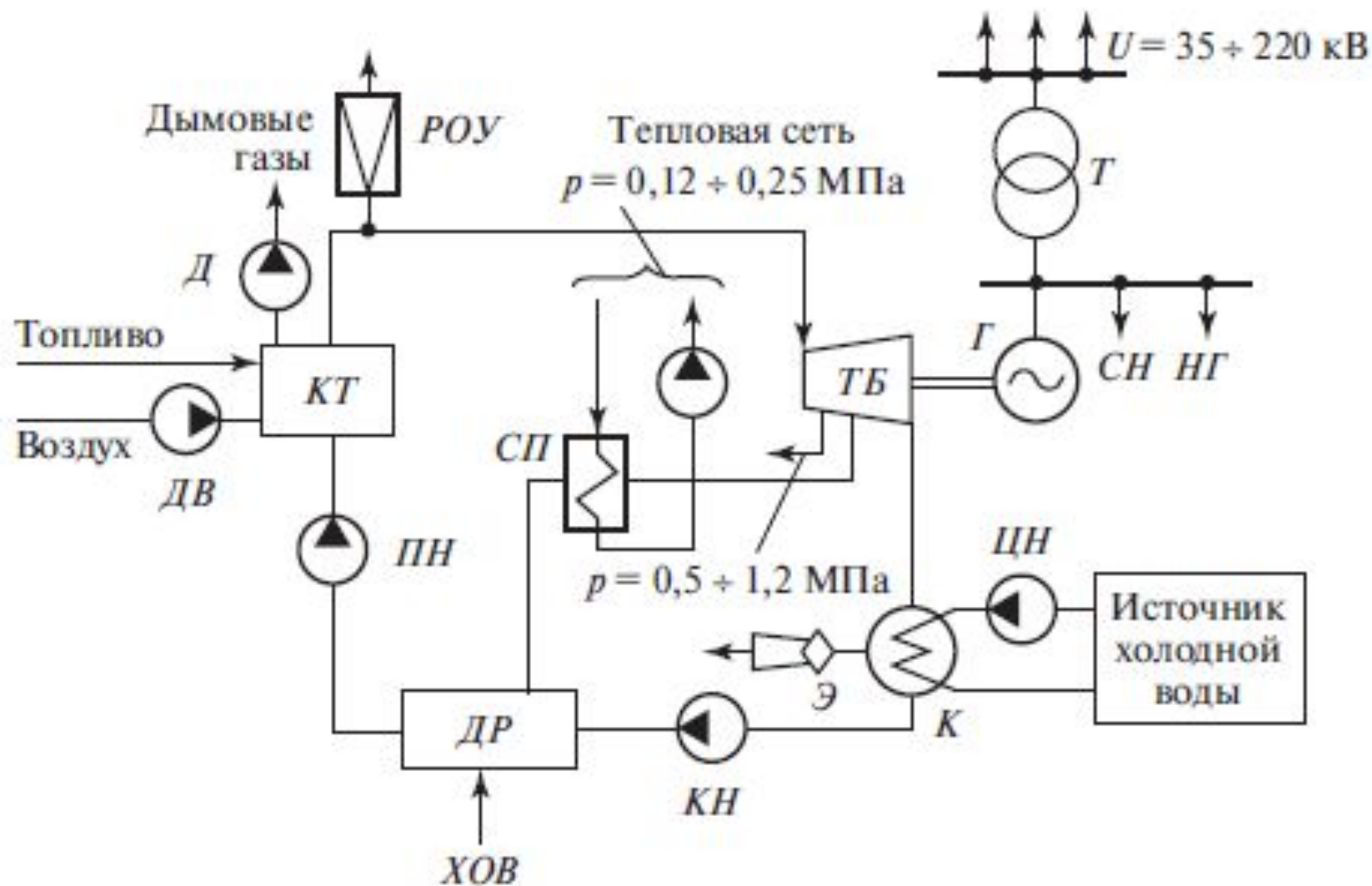
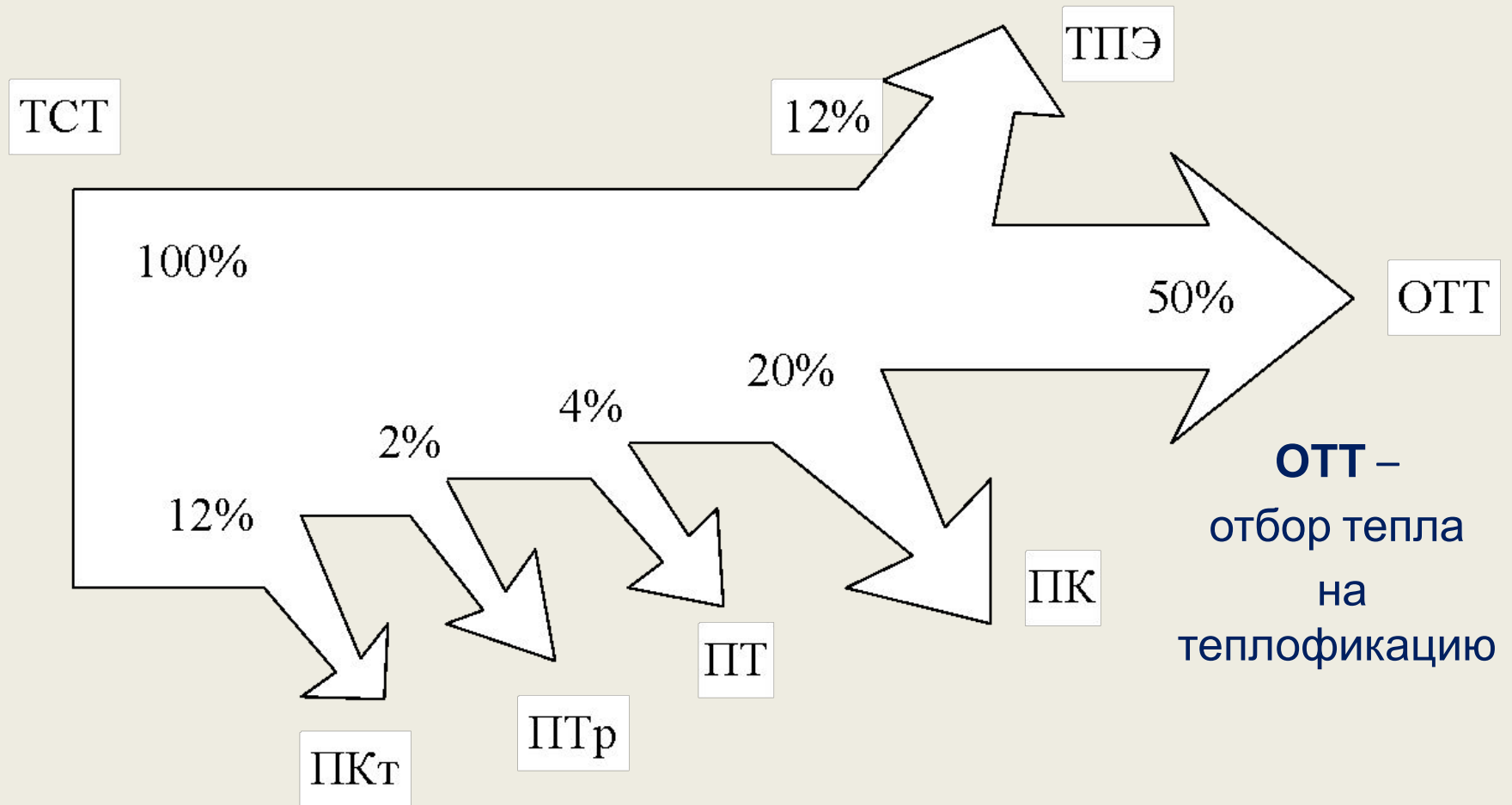


Рис. 1.3. Принципиальная схема теплофикационной электростанции

- ТЭЦ строятся вблизи потребителей тепла.
- ТЭЦ обычно работают на привозном топливе.
- Большую часть выработанной электроэнергии выдают потребителям ближайшего района (на генераторном или повышенном напряжении).
- ТЭЦ низкоманевренны (так же, как и КЭС).
- ТЭЦ имеют относительно высокий суммарный КПД (до 50-70%). На ТЭЦ энергия топлива используется сначала для производства электроэнергии, а затем менее ценная теплота применяется для нужд теплофикации.
- Мощность современных ТЭЦ достигает 1000 МВт, на них устанавливаются энергоблоки мощностью 60. 100. 135 и 250 МВт.

# Тепловой баланс ТЭЦ

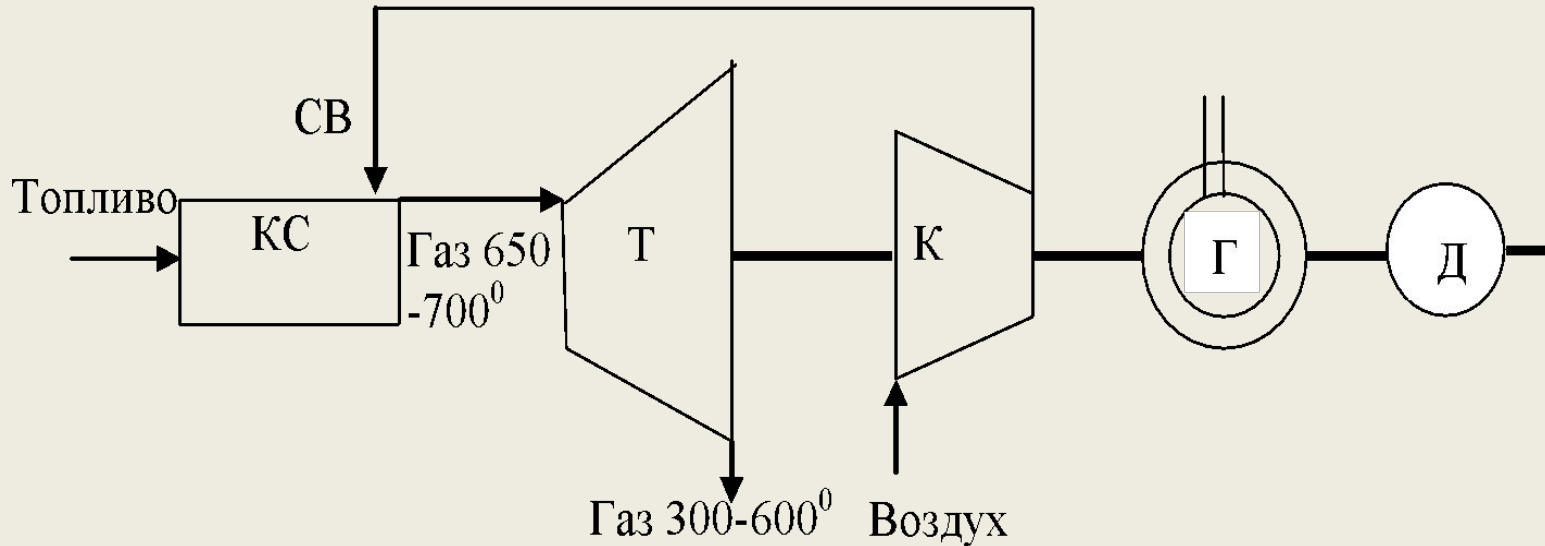


- ТЭЦ стремятся приблизить к потребителям тепловой энергии на расстояние не более, чем 10-20 км.
- Поэтому в **электрической части** ТЭЦ существенно отличается от КЭС.
- При небольших расстояниях до потребителей целесообразно электроэнергию распределять на генераторном напряжении 6-10 кВ.
- Через распределительное устройство высокого напряжения (РУ ВН) в этом случае осуществляется связь с энергосистемой для выдачи избыточной мощности в энергосистему или для питания потребителей 6-10 кВ из энергосистемы при авариях на станции.
- Требования к надежности распределительных устройств ТЭЦ могут быть ниже по сравнению с КЭС.

- Наиболее целесообразно использовать ТЭЦ для комплексного энергоснабжения промышленных районов и городов электрической и тепловой энергией.
- На ТЭЦ допускается и даже требуется **сезонное** регулирование графика электрических нагрузок в зависимости от режима тепловых нагрузок. На **суточном** графике нагрузки энергосистемы они располагаются в базисной части.

# Газотурбинные станции (ГТУ)

## Технологическая схема энергоблока ГТУ



Топливо сжигается в камере сгорания КС, дымовые газы с температурой 650 - 700° С поступают в цилиндры газовой турбины Т.

На одном валу с турбиной расположены: компрессор (К), синхронный генератор Г и пусковой двигатель Д.

Сжатый воздух СВ подается в камеру сгорания для повышения эффективности горения топлива.

Электроэнергия с ГТУ выдается на средних напряжениях 35 - 220 кВ.

### **Особенности ГТУ:**

- **себестоимость электроэнергии незначительно выше, чем на КЭС;**
- **допускается глубокое регулирование мощности;**
- **осуществим легкий и быстрый пуск и останов агрегатов;**
- **КПД составляет 25-30%.**

**Основные недостатки ГТУ: низкий КПД и дефицитность газотурбинного топлива.**

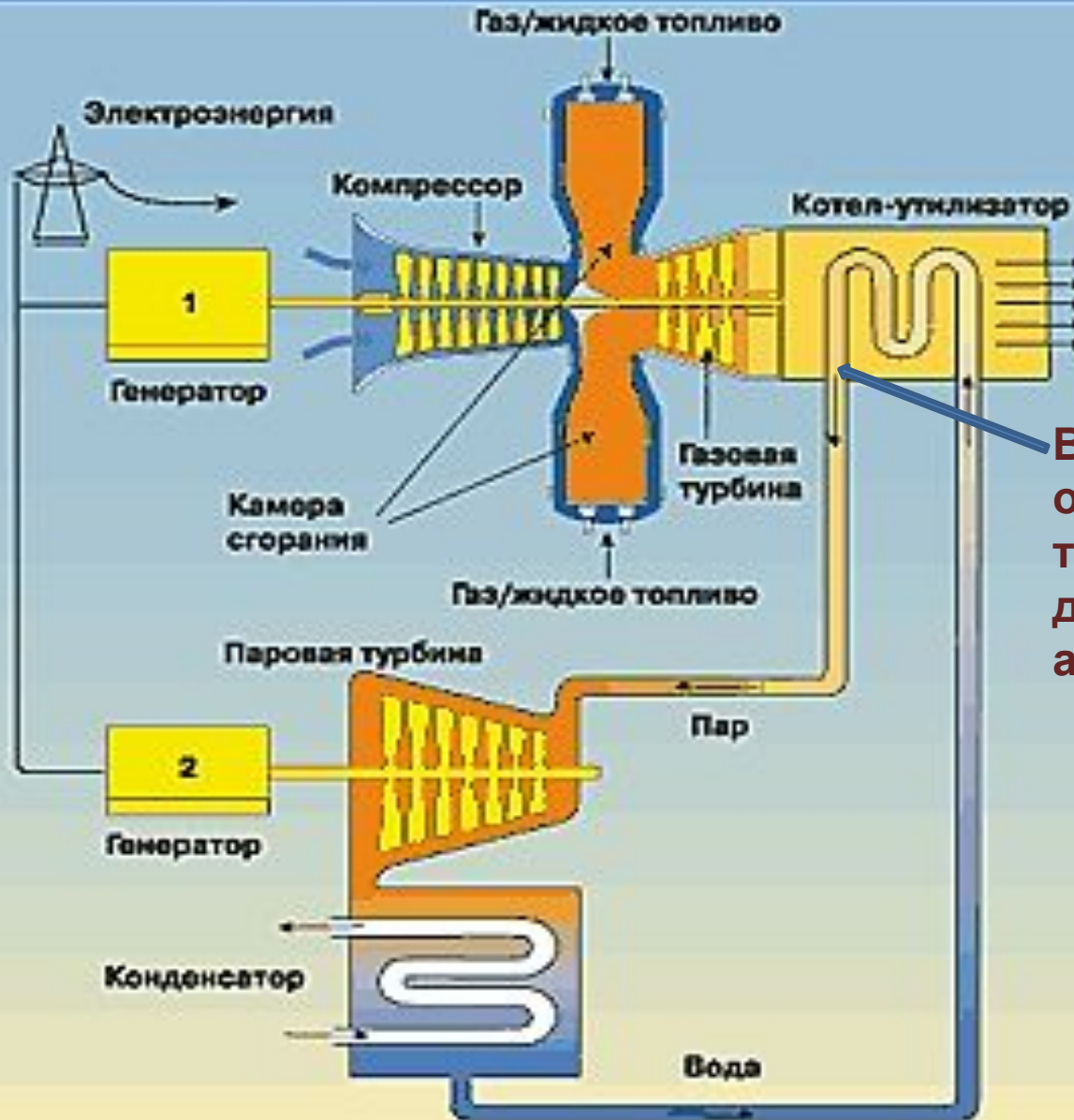
**ГТУ используются, в основном, в качестве источников, работающих в пиковом режиме с низким числом часов использования установленной мощности.**



Для повышения КПД разработаны парогазовые установки ПГУ. В них топливо сжигается в топке парогенератора, где вместе с газовыми продуктами сгорания получают пар. ПГУ имеет две турбины - паровую и газовую. Тепло дымовых газов утилизируется в экономайзере для подогрева питательной воды. **Мощность ПГУ достигает 200-250 МВт.**

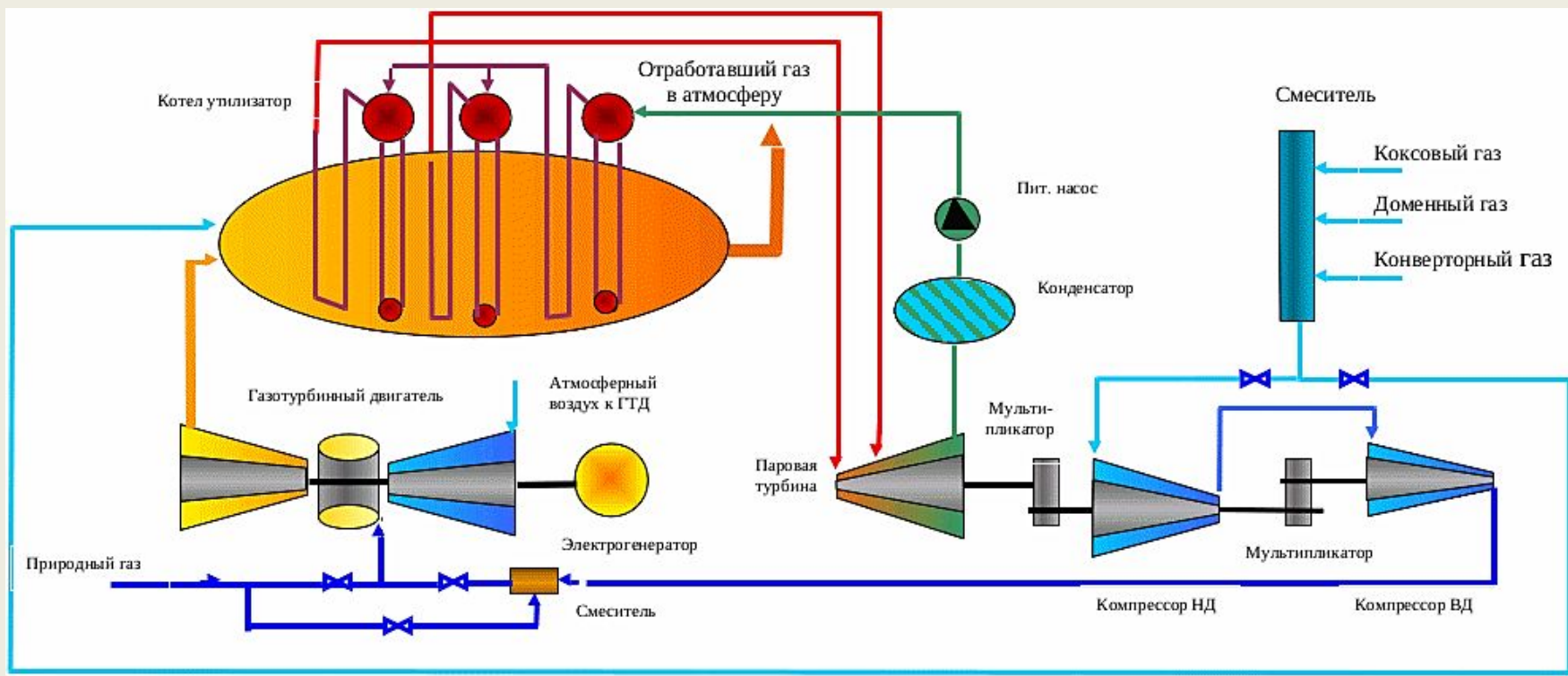


## Принцип работы парогазовой установки



Вода нагревается до образования пара с температурой 500°C и давлением в 100 атмосфер.

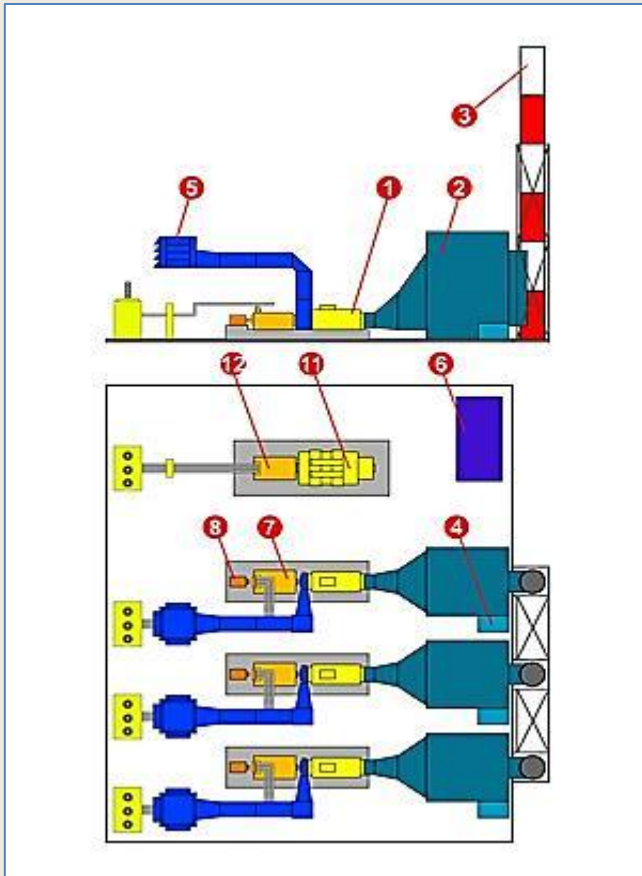
# ГПТУ 60 ДЛЯ РАБОТЫ НА НИЗКОКАЛОРИЙНЫХ ГАЗАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



# Парогазовая установка бинарного типа ПГУ-500

Производство – ОАО «НПО «Сатурн».

**ПГУ-500** – парогазовая установка бинарного типа электрической мощностью 500 МВт, на основе трех газотурбинных энергетических установок ГТЭ-110, предназначенная для выработки электрической энергии в комбинированном цикле. 9 10



1. *газовая турбина ГТД-110*
2. *котел-утилизатор*
3. *дымовая труба*
4. *зона размещения питающих насосов высокого и низкого давления*
5. *комплексное воздухоочистительное устройство*
6. *блочный щит управления*
7. *генератор газовой турбины (110 МВт)*
8. *коробка приводов с валоповоротным устройством*
9. *паровая турбина (165 МВт)*
10. *генератор паровой турбины (165 МВт)*



# Гидроэлектростанции (ГЭС)

## Гидроэлектрические станции (ГЭС)

— электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока.

Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

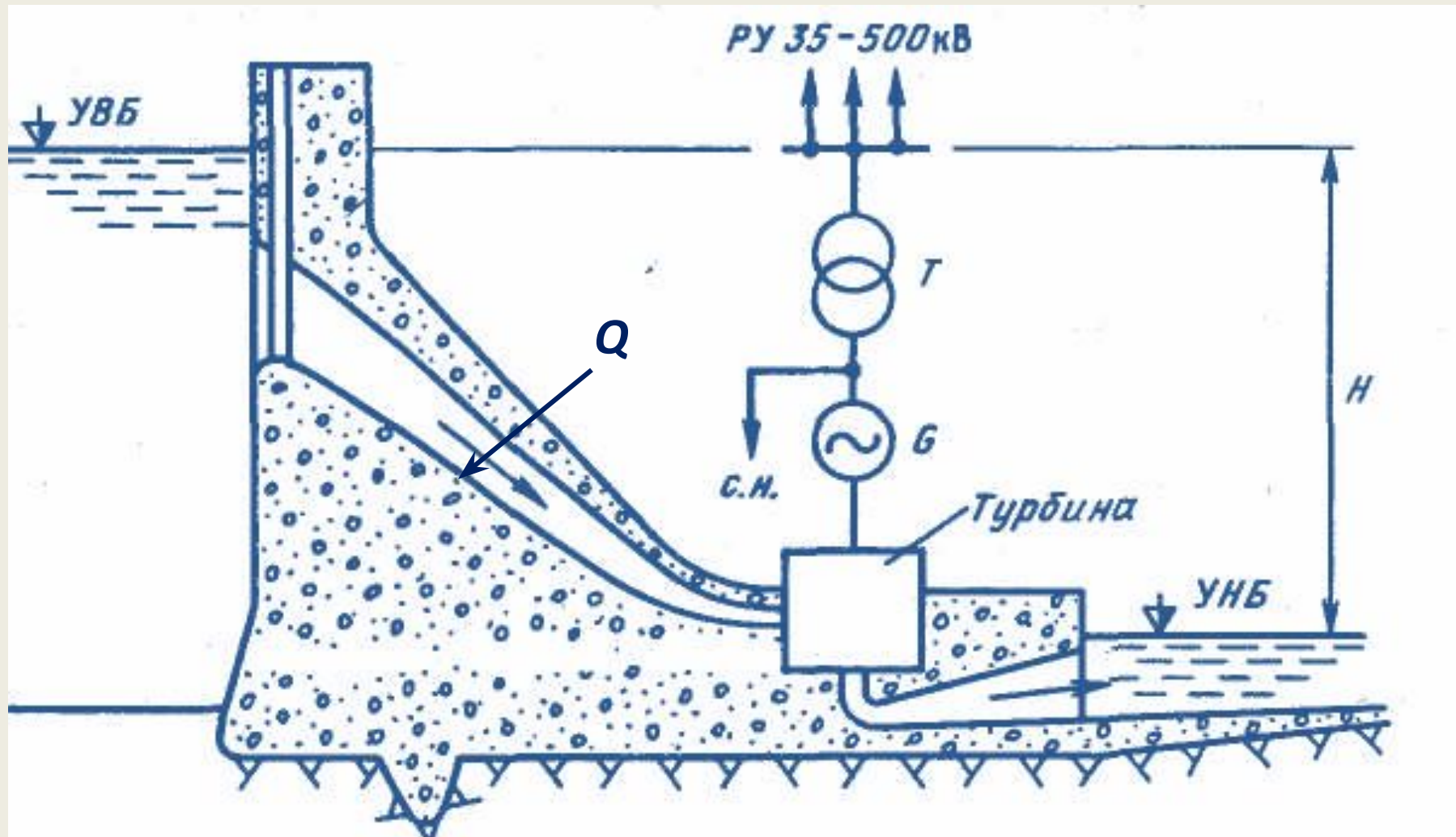
# Технологические и экономические особенности ГЭС:

- использование непрерывно возобновляемых природных источников энергии рек;
- исключительно высокий КПД преобразования гидравлической энергии в электрическую (**свыше 90%**);
- полная автоматизация процессов производства электроэнергии, сводящая до минимума трудовые затраты в процессе эксплуатации ГЭС;
- высокая долговечностью сооружений гидроузлов, простота и надежность их оборудования;
- большая маневренность, т.е. способность практически мгновенно и без потерь производить смены режимов работы, быстро принимать и сбрасывать нагрузки, покрывать кратковременные пики нагрузок, регулировать частоту тока в энергосистеме, а также

- Первичными двигателями на ГЭС являются гидравлические турбины, которыми приводятся во вращение синхронные гидрогенераторы.
- Мощность, развиваемая турбиной, зависит от количества проходящей через нее воды  $Q$  и величины напора  $H$

$$P_T = H \cdot Q$$

# Принципиальная технологическая схема ГЭС





- Гидроэлектростанции в энергосистеме работают параллельно с тепловыми.
- При этом, если ГЭС не имеет водохранилища, регулирование мощности на ней определяется естественным (сезонным) изменением стока.
- Поэтому они работают в базисной части графика, а регулирование суточного графика нагрузки осуществляется на ТЭС, что крайне неэкономично.

- ГЭС с водохранилищами осуществляют **искусственное регулирование стока**, как сезонное (задерживают паводковые воды и постепенно расходуют в другие периоды), так и суточное (увеличивают сток в период максимальной нагрузки и снижают в часы минимума нагрузок).
- Поэтому ГЭС с водохранилищами **используют в пиковой и полупиковой части графика** (соответственно в паводковый и непаводковый периоды).
- В электрической части ГЭС подобны



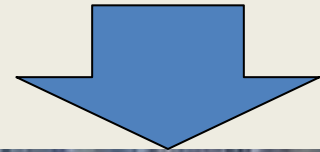
Токтогульская ГЭС



1200 МВт.

## Курпсайская ГЭС

800 МВт, среднегодовая  
выработка — 2,63 млрд кВт.ч



**12600 МВт**



Панорама ГЭС Итайпу  
(Бразилия – Парагвай)

**ГЭС «Три ущелья»  
самая мощная  
электростанция  
в мире.**

**22400  
МВт**



# Гидроаккумулирующие электрические станции

- В интервалы времени, когда электрическая нагрузка в энергосистеме минимальна, ГАЭС перекачивает воду из нижнего водохранилища в верхнее и потребляет при этом электроэнергию из энергосистемы.
- При пиках нагрузки ГАЭС работает в генераторном режиме и расходует запасенную в верхнем водохранилище воду.
- Мощности ГАЭС, которые сооружены в различных странах 1200, 2000 и 2400 МВт.
- На первых ГАЭС применялась четырехмашинная компоновка станции
- ГАЭС стали особенно эффективными после появления обратимых гидротурбин.
- КПД ГАЭС составляет 70-75%.



ГАЭС Tiahuangping с подземным зданием, Китай. Общий вид



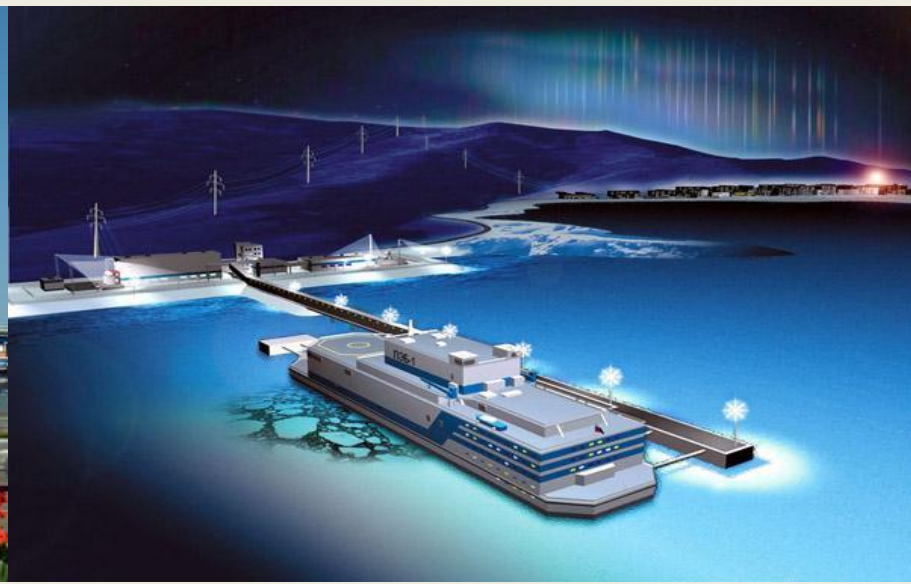
ГАЭС Ладингтон, США.  
Общий вид



# Атомная электростанция (АЭС)

## Атомные электростанции

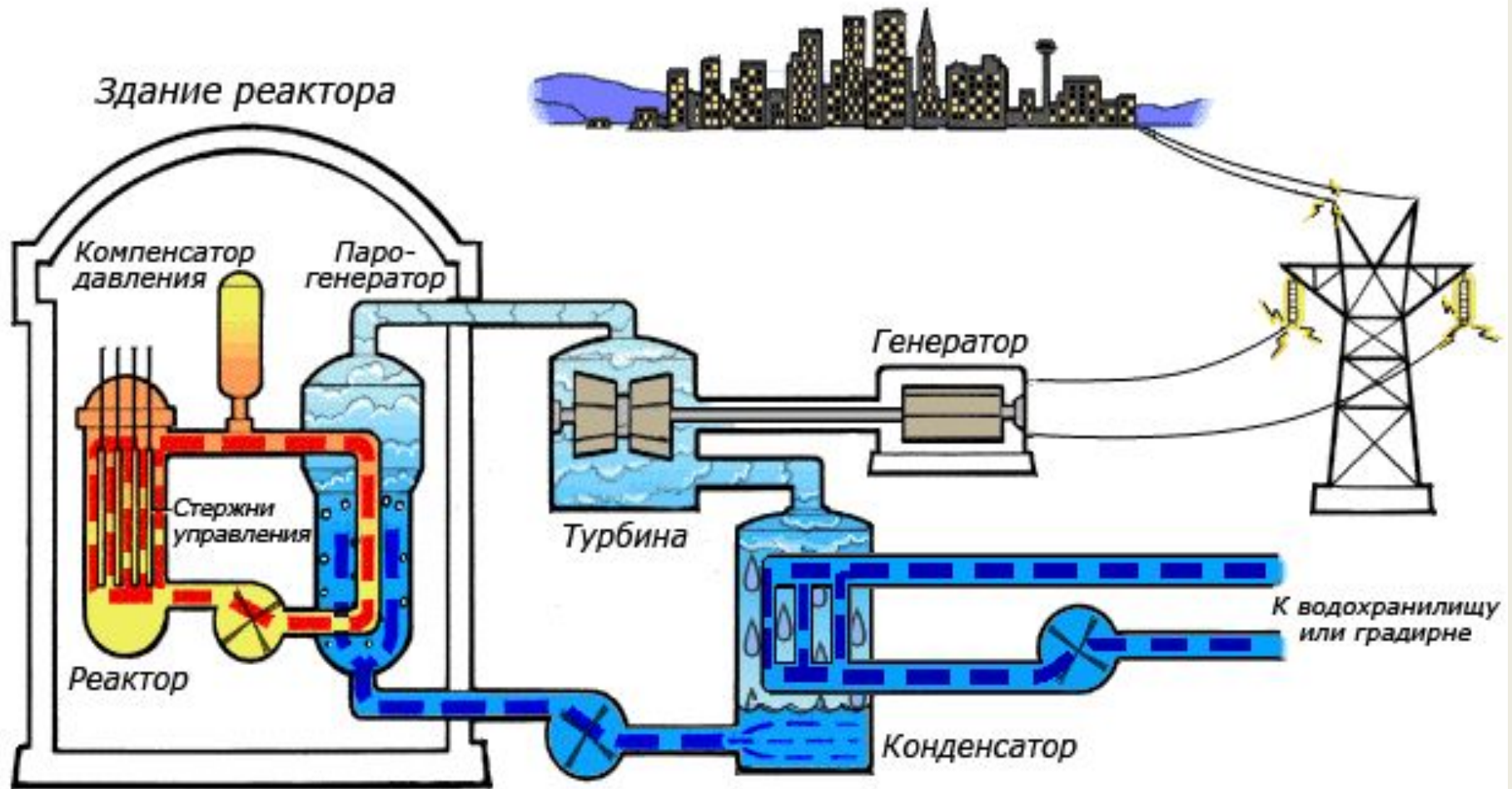
предназначены для выработки электрической энергии путём использования энергии, выделяемой при контролируемой ядерной реакции.



- Атомные электростанции (АЭС) являются тепловыми паротурбинными станциями, использующими в качестве источника энергии процесс деления атомов урана U-235 под действием тепловых или быстрых нейтронов.
- На АЭС роль котельных агрегатов выполняют атомные **реакторы** и парогенераторы.
- Один из основных элементов АЭС - **реактор**. В России используются, в основном, реакторы на тепловых нейтронах: ВВЭР и РБМК.
- В реакторе **ВВЭР** (водо - водяном энергетическом реакторе) вода используется в качестве замедлителя реакции и теплоносителя.



# Принцип работы АЭС



- В реакторе **РБМК** (реакторе большой мощности канального типа) в качестве замедлителя нейтронов используется графит, а в качестве первичного теплоносителя - вода.
- Технологическая схема АЭС с реакторами типа РБМК является одноконтурной. Пароводяная смесь из реактора поступает в сепараторы, куда также подается нагретая вода.
- Получая дополнительную энергию, вода превращается в пар, который направляется непосредственно в цилиндры паровой турбины.

- Реакторы на быстрых нейтронах (БН) используется одновременно для получения тепловой и электрической энергии, а также для воспроизводства ядерного горючего.
- АЭС с реакторами типа БН выполняются по трехконтурной схеме.
- В первом контуре теплоносителем является жидкий натрий, который эффективно поглощает тепло.
- Натрий бурно реагирует с водой, поэтому в теплообменниках парогенератора возможно выделение радиоактивных газов при повреждениях трубопроводов.
- Чтобы избежать контакта радиоактивного натрия первого контура с питательной водой, выполняют промежуточный контур с нерадиоактивным натрием.

## Преимуществами атомных электростанций являются:

- *малый расход ядерного топлива, в результате чего транспорт разгружается от перевозок топлива;*
- *большие единичные мощности (до 2000 МВт);*
- *чистота производства.*

АЭС работают в базисной части графика нагрузки энергосистемы.

Хотя на АЭС технически осуществимо регулирование мощности в широком диапазоне, оно не используется по условиям безопасности.

По этой же причине АЭС удалены от потребителей.

В электрической части атомные электростанции аналогичны КЭС.



**«Академик Ломоносов»** — [российская](#) пл авучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) проекта 20870, находящаяся в порту города [Певек](#) ([Чаунский район](#), [Чукотского автономного округа](#)), самая северная [АЭС](#) в мире.



Реактор	Тип реакторов	Тепловая мощность	Электрическая мощность		Ввод в эксплуатацию
			Чистая	Брутто	
Академик Ломоносов-1 <sup>[26]</sup> ↓	<a href="#">КЛТ-40С (водяной с водой под давлением)</a>	150 МВт	32 МВт	38 МВт	<a href="#">22.05.2020<sup>[1]</sup></a>
Академик Ломоносов-2 <sup>[27]</sup> ↓	КЛТ-40С (водяной с водой под давлением)	150 МВт	32 МВт	38 МВт	<a href="#">22.05.2020<sup>[1]</sup></a>

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**70**

МВт – ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ  
МОЩНОСТЬ

**50**

ГКАЛ/ч – ТЕПЛОВАЯ  
МОЩНОСТЬ

**40**

ЛЕТ – НАЗНАЧЕННЫЙ  
СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ

**21560**

ТОНН СОСТАВЛЯЕТ  
ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ

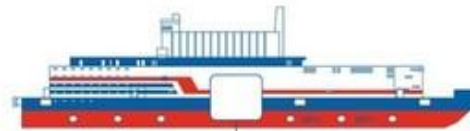
**144**

МЕТРА – ДЛИНА  
СУДНА

**30**

МЕТРОВ – ШИРИНА  
СУДНА

## СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ



Реализована глубокошелонированная защита, обеспечено оптимальное сочетание пассивных и активных систем безопасности, усилены свойства внутренней самозащиты.

### ЛОКАЛИЗУЮЩИЕ БАРЬЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- 1 – Топливная композиция
- 2 – Оболочка ТВЭЛ
- 3 – Первый контур
- 4 – Защитная оболочка реакторной установки
- 5 – Защитное ограждение

## ЧИСЛЕННОСТЬ ПЕРСОНАЛА

**375**

ЧЕЛОВЕК – ОБЩАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ  
ПЕРСОНАЛА

ОКОЛО

**75%**

ПЕРСОНАЛА РАБОТАЕТ ВАХТОВЫМ  
МЕТОДОМ

ОКОЛО

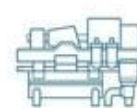
**2 месяцев**

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВАХТЫ

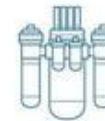
## Размещение ПАТЭС в г. Певек



## КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ



ТУРБОГЕНЕРАТОР



РЕАКТОРНАЯ  
УСТАНОВКА



ХРАНИЛИЩЕ  
ОТВС И ТРО



ОТДЕЛЕНИЕ  
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ



ЖИЛОЙ  
МОДУЛЬ



# Ветроэлектростанции



**Ветроэлектростанции** — несколько **ветрогенераторов**, собранных в одном, или нескольких местах. Крупные ветряные электростанции могут состоять из 100 и более ветрогенераторов.



Ветроэнергетика является наиболее развитой сферой практического использования природных возобновляемых энергоресурсов.

**Единичная мощность наиболее крупных ветряных установок превышает 1 МВт.**

Мировыми лидерами в ветроэнергетике являются

США, Германия, Нидерланды, Дания, Индия и т. д.

**Достаточно широкое распространение ветроэнергетических установок объясняется их относительно невысокими удельными капиталовложениями по сравнению с другими возобновляемыми энергисточниками**

**Принцип действия всех ветродвигателей заключается во вращении ветроколеса с лопастями под напором ветра. Вращающий момент ветроколеса через систему передач передается на вал генератора, вырабатывающего электроэнергию.**



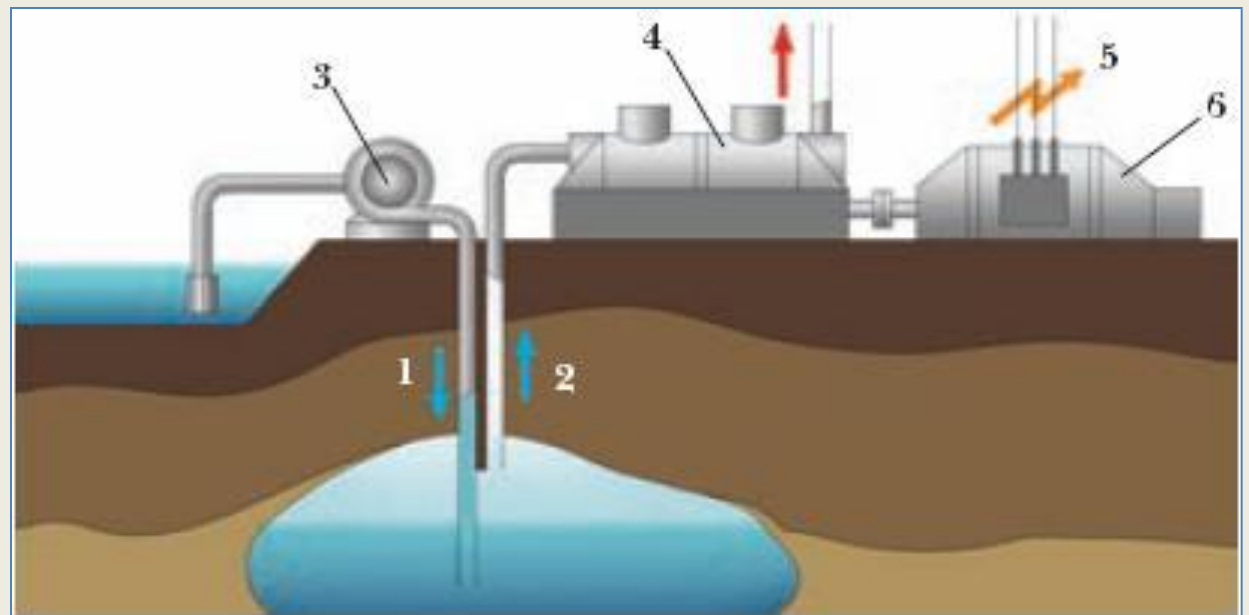
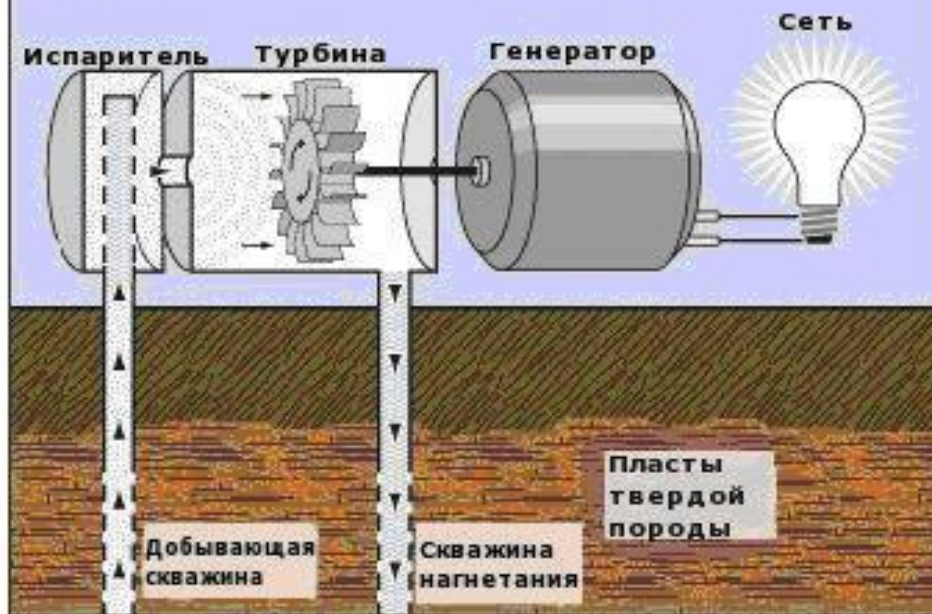
# Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) Геотермальные электростанции

вырабатывают электрическую энергию из тепловой энергии подземных источников (например, гейзеров).



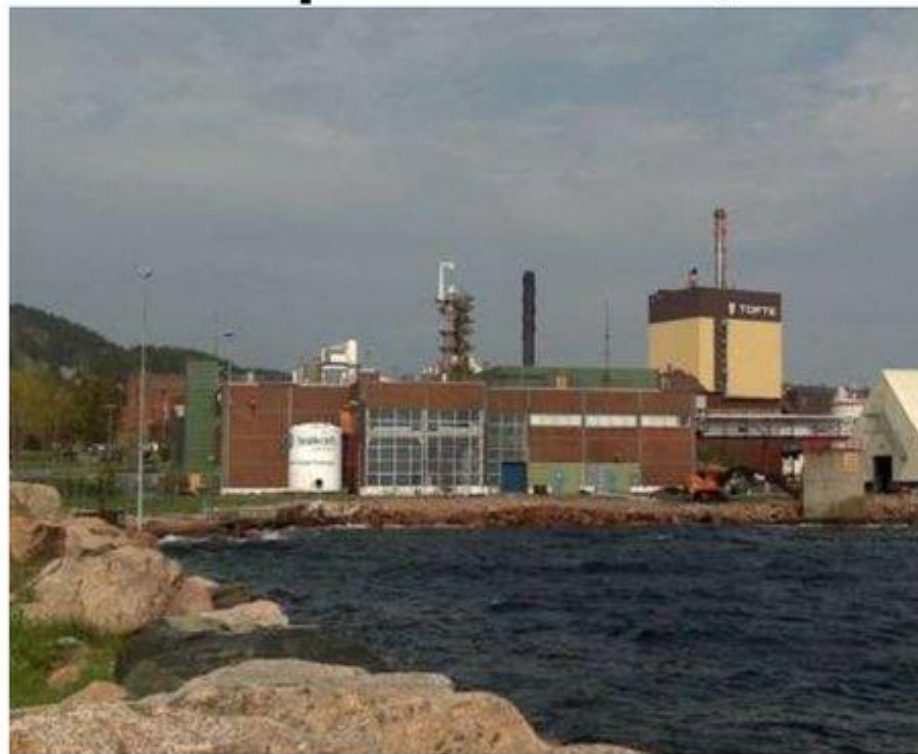
- Технология преобразования геотермальной энергии в электроэнергию **зависит в основном от параметров теплоносителя.**
- Высокопотенциальные геотермальные воды, обеспечивающие поступление в геотермальную электростанцию (ГеоЭС) пара высокого давления, позволяют направлять такой теплоноситель непосредственно на лопатки турбин.  
В этом случае генераторная часть ГеоТЭС принципиально не отличается от традиционной тепловой электростанции, использующей углеводородное топливо.
- Механические примеси и газы, содержащиеся в геотермальной воде или паре, очищаются с помощью сепараторов и фильтров.
- При значительном количестве примесей, которые часто бывают агрессивными, применяется двухконтурная система с теплообменником.

# Гидротермальная электростанция

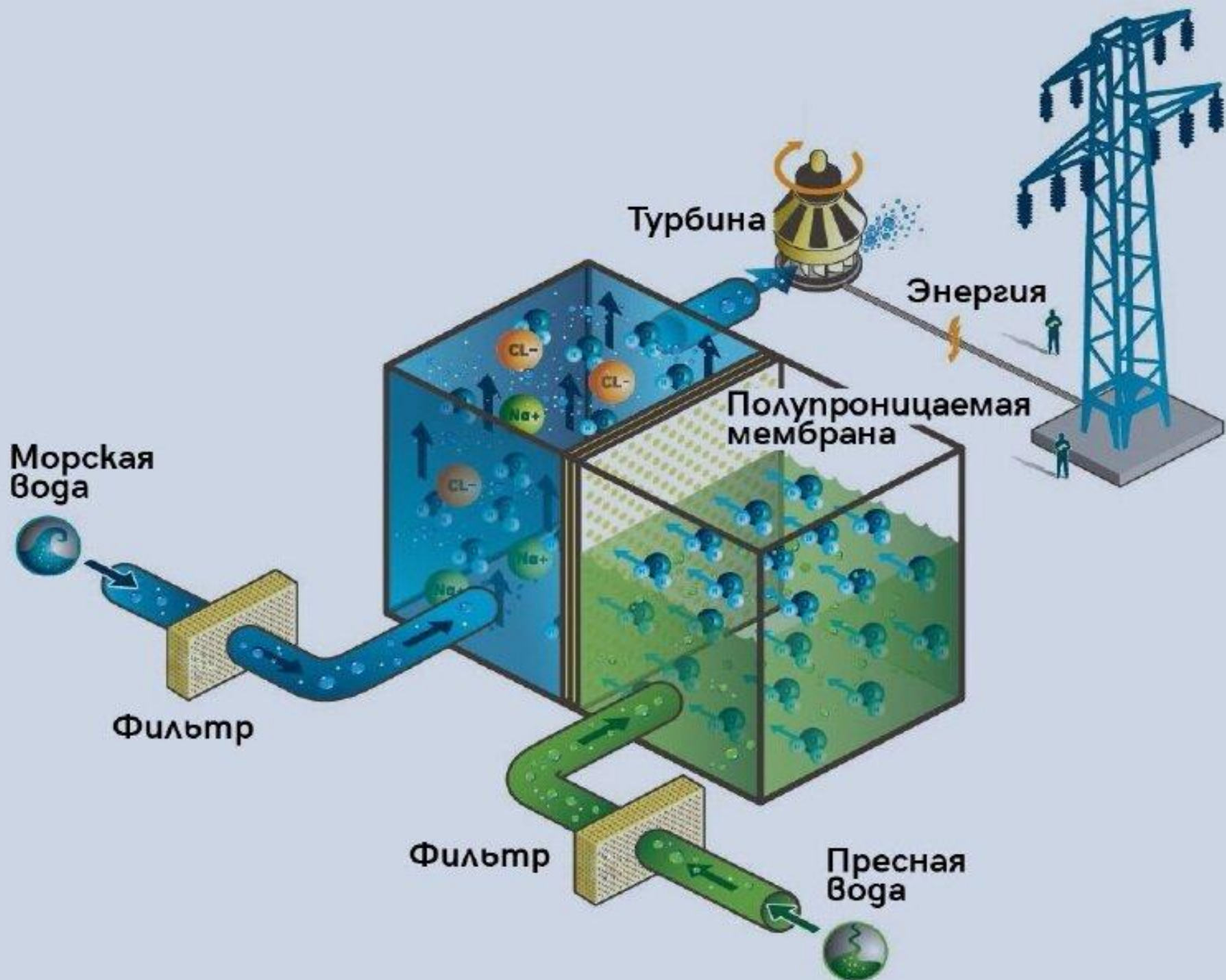


# Осмотические электростанции.

- Получают энергию от перемещения частиц при смешении пресной и солёной воды. Находиться могут исключительно только в месте впадения реки в море.



- На данный момент такая электростанция всего одна в мире и находится в Норвегии. Она построена в качестве экспериментальной лаборатории, в которой пытаются сделать этот вид производства энергии рентабельным. Но пока до показателей хотя бы самоокупаемости ему далеко.



# Солнечные электростанции (СЭС)



## Солнечные электростанции (СЭС)

— инженерные сооружения, служащее преобразованию солнечной радиации в электрическую энергию.



# Классификация солнечных электростанций

Солнечные электростанции могут быть использованы как для решения локальных энергетических задач, так и глобальных проблем **энергетики**

Принципиально солнечные электростанции (СЭС) могут быть двух типов: *термодинамические и фотоэлектрические.*

Термодинамические СЭС основаны на нагревании теплоносителя солнечным излучением с помощью специальных оптических систем с дальнейшим преобразованием тепловой энергии в механическую и далее в электрическую.

Фотоэлектрические станции используют эффект прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию.

Преобразование солнечного излучения в тепловую энергию теплоносителя может быть осуществлено по **трём принципам**:

- **применение *рассредоточенных коллекторов***;
- **использование системы с *центральной солнечной башней***;
- **построение солнечного коллектора с *центральной трубой***.



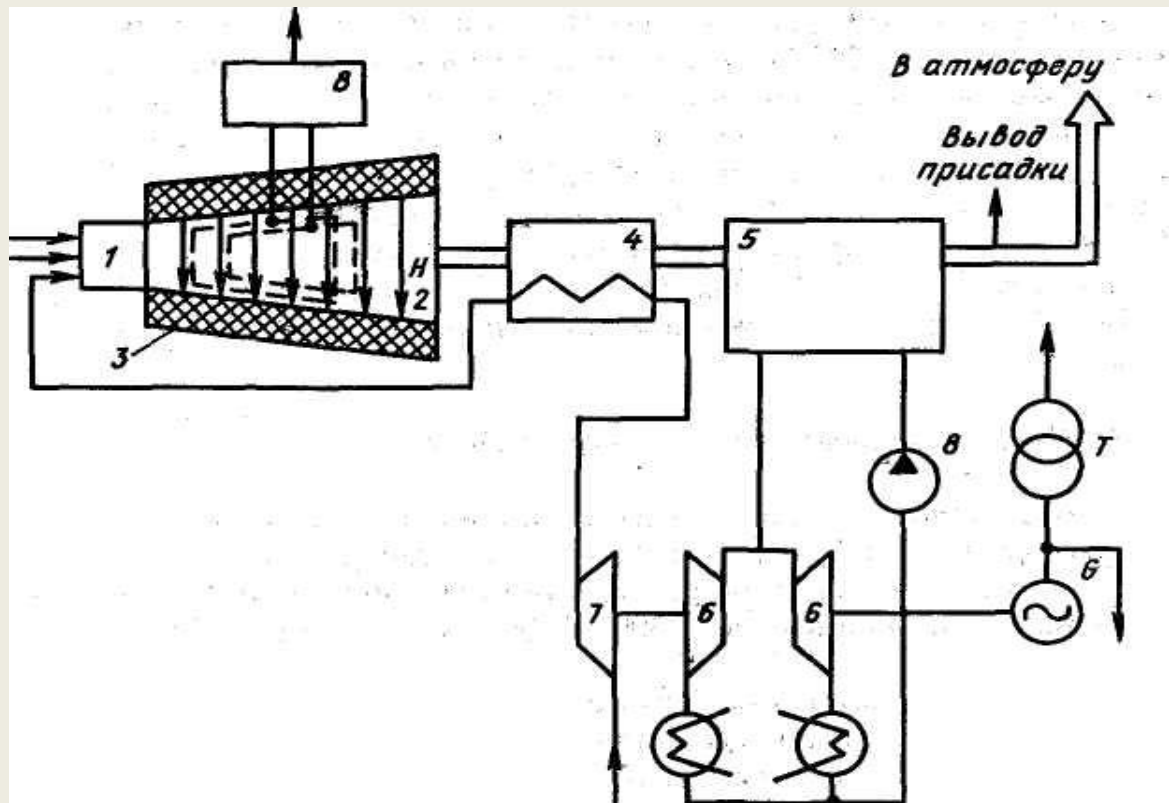
Испанская компания TorresolEnergy построила самую большую солнечную электростанцию Gemasolar **мощностью в 19,9 МВт**. Её строительство было начато в мае 2011 года, а сейчас электростанция уже вырабатывает электроэнергию. Новая электростанция расположена в Испании, в провинции Андалусия.



# Электростанции с МГД генератором

- **Электростанции с магнитогидродинамическим генератором.**
- **МГД-генератор** — энергетическая установка, в которой энергия рабочего тела (жидкой или газообразной электропроводящей среды), движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию.

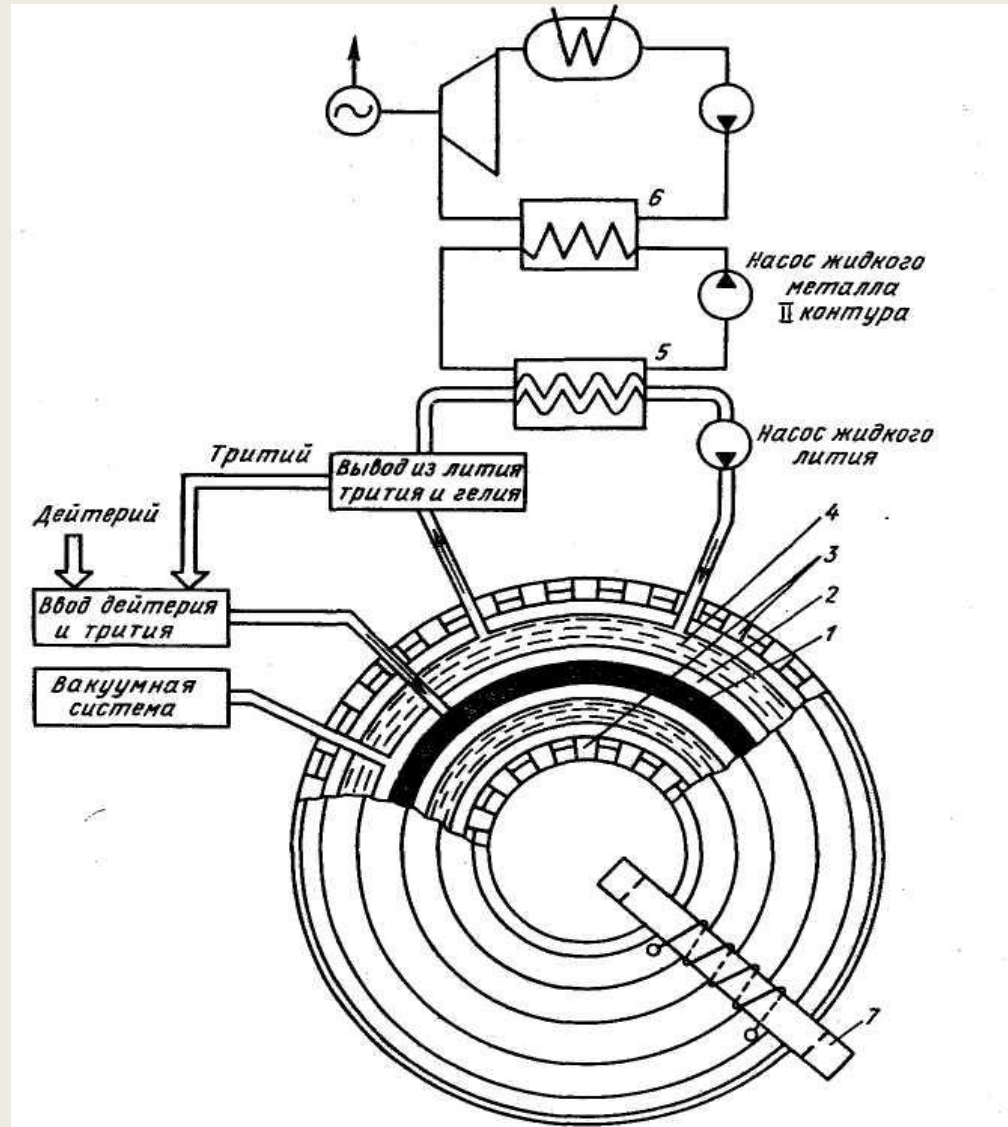
# Принципиальная схема КЭС с МГД-генератором



- 1 — камера сгорания; 2 — МГД - канал; 3 — магнитная система;  
4 — воздухоподогреватель; 5 — парогенератор (котел);  
6 - паровые турбины;  
7 — компрессор; 8 — конденсатный (питательный) насос.

# Принципиальная схема термоядерной электростанции на базе реактора типа «Токамак»

- 1 — дейтерий-тритиевая плазма;
- 2 — вакуумное пространство;
- 3 — сверхпроводящий магнит;
- 4 — бланкет;
- 5 — теплообменник первого контура;
- 6 — теплообменник второго контура;
- 7 — трансформатор разогрева плазмы



# Электростанции, генерирующие электричество из энергии волн







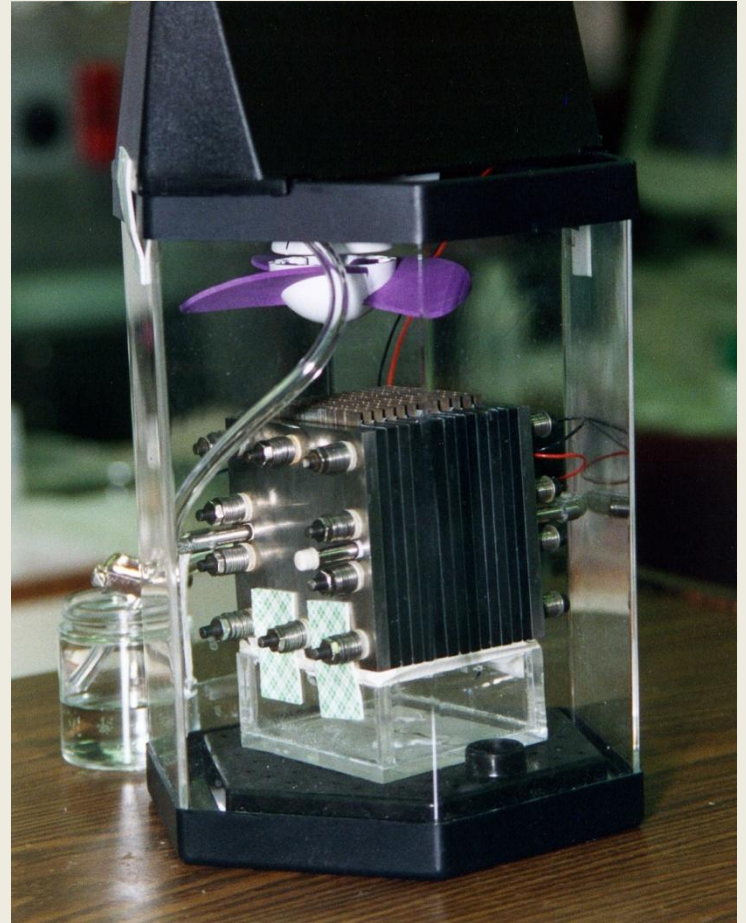
**Новейшая приливная электростанция, способна производить 254 мегаватта электроэнергии в сутки.**

**По заявлениям официальных источников в Южной Корее, это сооружение оставит позади французскую электростанцию Rance, которая производит порядка 240 мегаватт в сутки. Сеульская электростанция способна обеспечить энергией все нужды города с населением в полмиллиона человек.**

# Электрохимические электростанции

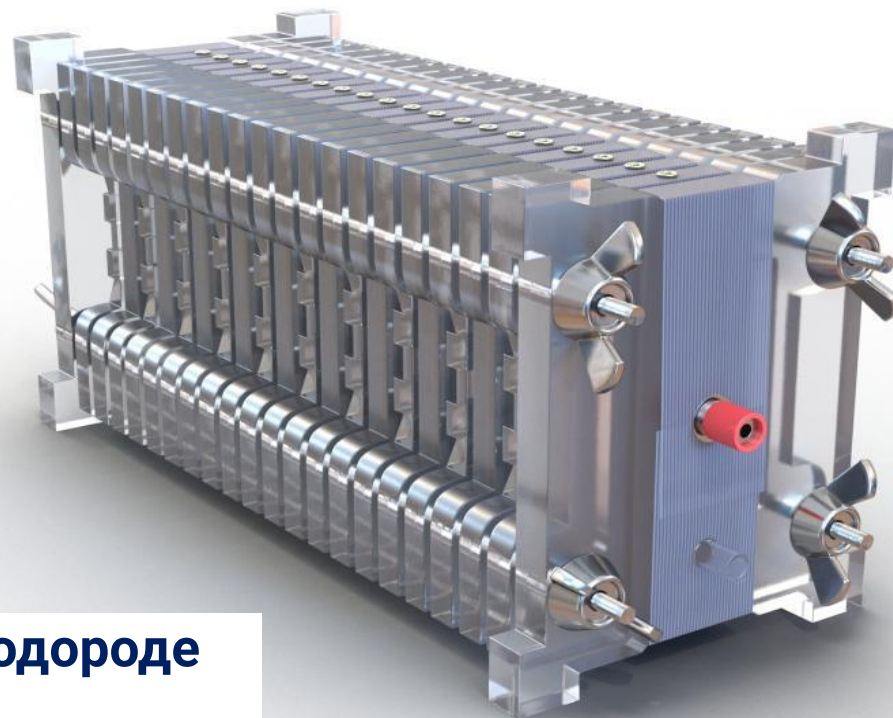
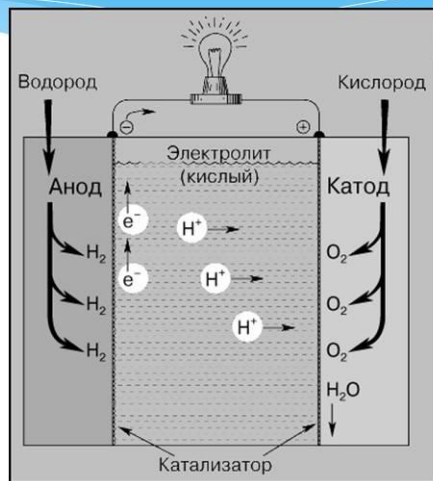
## Электрохимические электростанции (ЭЭС):

- на гальваническом элементе;
- на аккумуляторе;
- на основе ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.



# Общая схема топливного элемента

**Топливный элемент (ТЭ)** – электрохимический генератор, напрямую преобразующий химическую энергию в электрическую.



**Топливный Элемент На Водороде**