

An aerial photograph of a nuclear power plant. In the foreground, there are several large, white, cylindrical cooling towers with dark-colored tops. To the left, there are tall, red-and-white striped smokestacks. The plant itself is a complex of various structures, including buildings and piping, situated in a green, landscaped area. In the background, a city or town is visible, followed by a body of water and distant hills under a clear sky.

**ЛЕКЦИЯ 5.  
СПОСОБЫ  
ПРОИЗВОДСТВА  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.  
ТИПЫ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Электростанциями** называются предприятия или установки, предназначенные для производства электроэнергии.

В настоящее время для получения электрической энергии используют следующие типы электростанций:

- **тепловые электростанции (ТЭС)**, которые подразделяются на конденсационные (КЭС), теплофикационные (теплоэлектроцентрали – ТЭЦ) и газотурбинные (ГТУЭС);
- **гидроэлектростанции (ГЭС) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);**
- **атомные электростанции (АЭС);**
- **гелиоэлектростанции, или солнечные, электростанции (СЭС);**

- геотермальные электростанции (ГТЭС);
- дизельные электростанции (ДЭС);
- приливные электростанции (ПЭС);
- ветроэлектростанции (ВЭС);
- когенерационные (КГЭС).

Большую часть электроэнергии вырабатывают тепловые, атомные и гидравлические электростанции.

Состав электростанций различного типа по установленной мощности зависит от наличия и размещения по территории страны гидроэнергетических и теплоэнергетических ресурсов, их технико-экономических характеристик, включая затраты на транспортирование топлива, а также от технико-экономических показателей электростанций.



# Тепловые электрические станции (ТЭС)

***Тепловой электрической станцией*** называется комплекс оборудования и устройств, преобразующих энергию топлива в электрическую и (в общем случае) тепловую энергию.

Тепловые электростанции характеризуются большим разнообразием и их можно классифицировать по различным признакам.

# Классификация ТЭС

1. По назначению и виду отпускаемой энергии электростанции разделяются на районные и промышленные.

Районные электростанции — это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т.д.). Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ).

# Классификация ТЭС

Промышленные электростанции — это электростанции, обслуживающие тепловой и электрической энергией конкретные производственные предприятия или их комплекс, например, завод по производству химической продукции. Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают. Их мощность определяется потребностями промышленных предприятий в тепловой и электрической энергии и, как правило, она существенно меньше, чем районных ТЭС.

# Классификация ТЭС

2. По виду используемого топлива тепловые электростанции разделяются на электростанции, работающие на органическом топливе и ядерном горючем.

За *конденсационными электростанциями*, работающими на органическом топливе, во времена, когда еще не было атомных электростанций (АЭС), исторически сложилось название тепловых (ТЭС — *тепловая электрическая станция*).



## Классификация ТЭС

В качестве органического топлива для ТЭС используют газообразное, жидкое и твердое топливо. ТЭС, использующие в качестве основного топлива природный газ, а в качестве резервного топлива — мазут, используя последний ввиду его дороговизны только в крайних случаях, называют *газوماзутными*. ТЭС, для которых основным топливом является энергетический уголь, называют *пылеугольными* (перед сжиганием уголь размалывается в специальных мельницах до пылевидного состояния).

# Классификация ТЭС

3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции.

Основой *паротурбинных электростанций* являются *паротурбинные установки (ПТУ)*, которые для преобразования тепловой энергии в механическую используют самую сложную, самую мощную и чрезвычайно совершенную энергетическую машину — *паровую турбину*. ПТУ - основной элемент ТЭС, ТЭЦ и АЭС.

# Классификация ТЭС

*Газотурбинные тепловые электростанции* (ГТЭС) оснащаются *газотурбинными установками* (ГТУ), работающими на газообразном или, в крайнем случае, жидком (дизельном) топливе. Поскольку температура газов ГТУ достаточно высока, то их можно использовать для отпуска тепловой энергии внешнему потребителю. Такие электростанции называют ГТУ-ТЭЦ.

# Классификация ТЭС

*Парогазовые тепловые электростанции* комплектуются *парогазовыми установками (ПГУ)*, представляющими комбинацию ГТУ и ПТУ, что позволяет обеспечить высокую экономичность. ПГУ-ТЭС могут выполняться конденсационными (ПГУ-КЭС) и с отпуском тепловой энергии (ПГУ-ТЭЦ).

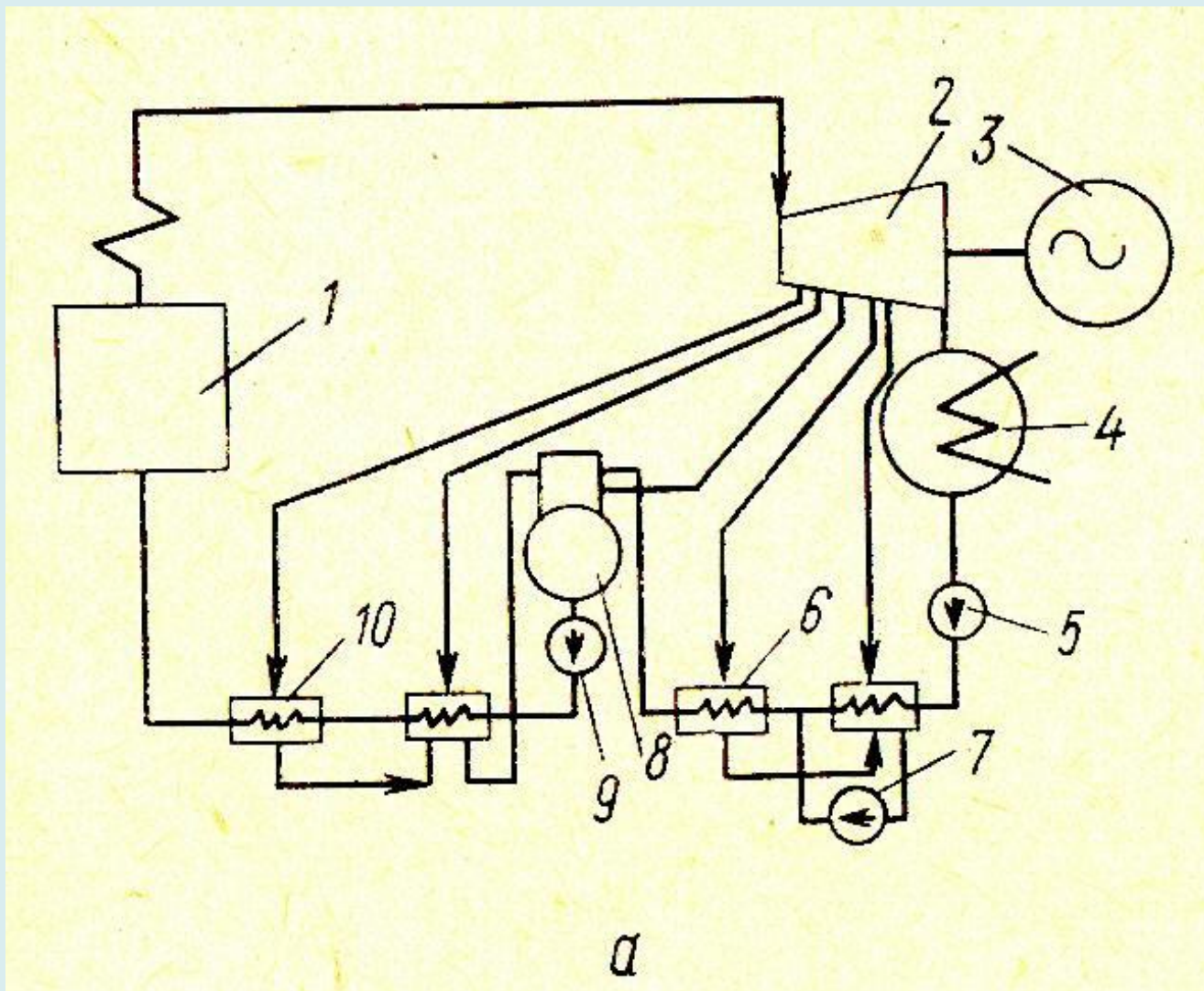
## Классификация ТЭС

4. По технологической схеме паропроводов ТЭС делятся на блочные ТЭС и на ТЭС с поперечными связями.

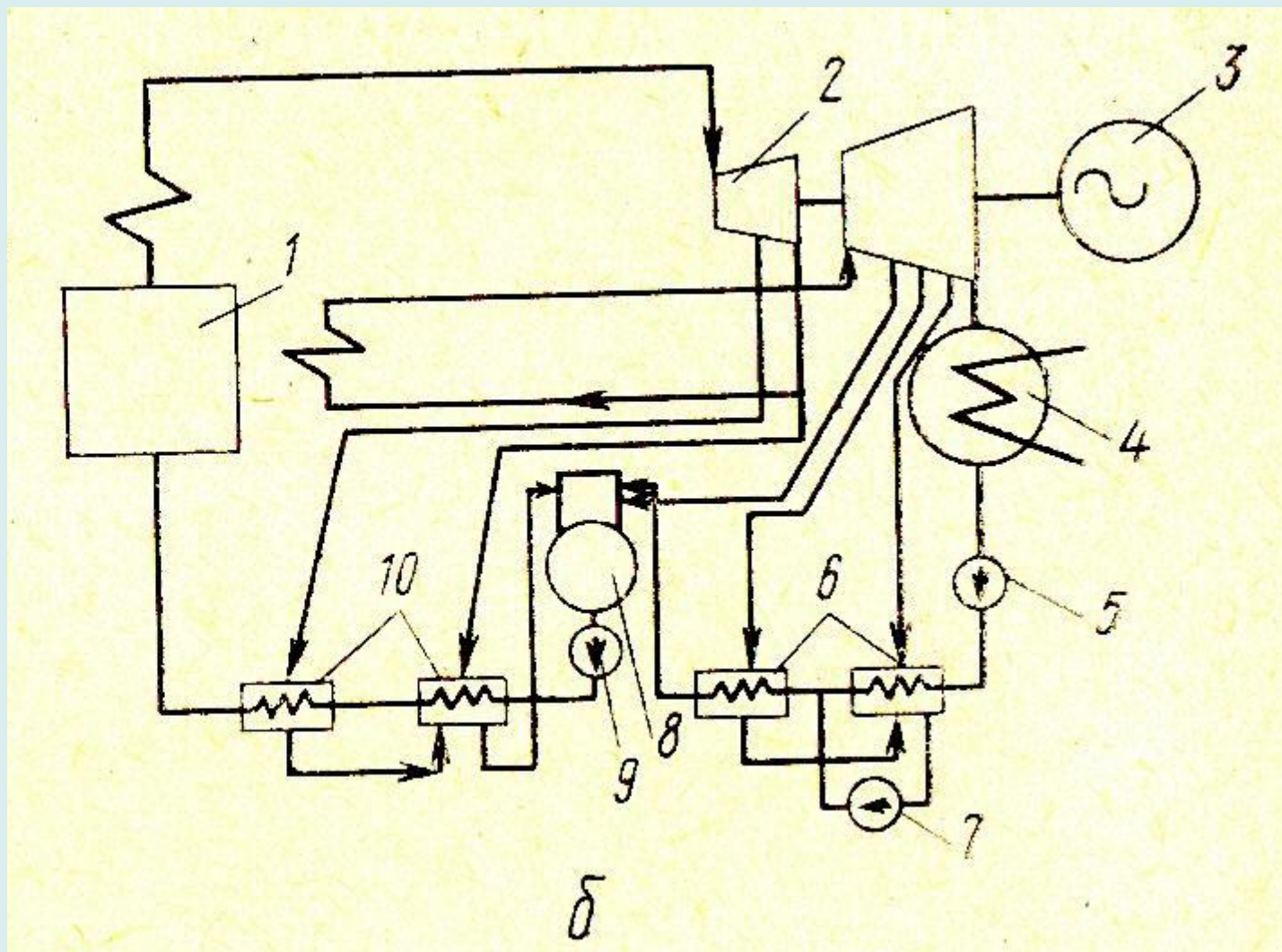
5. По уровню начального давления различают ТЭС докритического давления и сверхкритического давления (СКД).

Критическое давление — это 22,1 МПа (225,6 ат). В российской теплоэнергетике начальные параметры стандартизованы: ТЭС и ТЭЦ строятся на докритическое давление 8,8 и 12,8 МПа (90 и 130 ат), и на СКД — 23,5 МПа (240 ат). ТЭС на сверхкритические параметры по техническим причинам выполняются с промежуточным перегревом и по блочной схеме.

# Типичная тепловая схема паротурбинных конденсационных установок на органическом топливе без промежуточного перегрева пара



# Типичная тепловая схема паротурбинных конденсационных установок на органическом топливе с промежуточным перегревом пара



- 1 - парогенератор;**
- 2 - турбина;**
- 3 - электрогенератор;**
- 4 - конденсатор;**
- 5 - конденсатный насос;**
- 6 - регенеративные подогреватели низкого давления;**
- 7 - дренажный насос;**
- 8 - деаэратор;**
- 9 - питательный насос;**
- 10 - регенеративные подогреватели высокого давления**



На рисунках, приведенных на предыдущих слайдах, представлены типичные тепловые схемы конденсационных установок на органическом топливе. По схеме рис. а подвод тепла к циклу происходит только при генерации пара и подогреве его до выбранной температуры перегрева  $t_{по}$ ; по схеме рис. б наряду с передачей тепла при этих условиях тепло подводится к пару и после того, как он отработал в части высокого давления (ЧВД) турбины.

Первая схема называется схемой без промежуточного перегрева пара, вторая – с промежуточным перегревом пара. Тепловая экономичность второй схемы при одних и тех же начальных и конечных параметрах и правильном выборе параметров промежуточного перегрева (промперегрева) выше.

По обеим схемам отработавший пар конденсируется в конденсаторе 4, охлаждаемом циркулирующей в трубках технической водой. Конденсат турбины конденсатным насосом 5 (к.н.) через регенеративные подогреватели 6 подается в деаэратор 8. Деаэратор служит для удаления из воды растворенных в ней газов, однако одновременно в нем, так же как в регенеративных подогревателях, питательная вода парогенераторов подогревается паром, отбираемым для этого из отбора турбины. Деаэрированная вода питательным насосом 9 (п.н.) через подогреватели 10 подается в экономайзер парогенератора.

Экономайзер (англ. *Economizer*, от английского слова *economize* — «сберегать») — элемент котлоагрегата, теплообменник, в котором питательная вода перед подачей в котёл подогревается уходящими из котла газами. При давлении до 22 кгс/см<sup>2</sup> (2,2 МПа) и температуре питательной воды ниже точки росы дымовых газов или недеаэрированной воде экономайзер изготавливают из гладких или ребристых чугунных труб, на более высокие давление и температуру — из стальных, преимущественно гладких, труб.

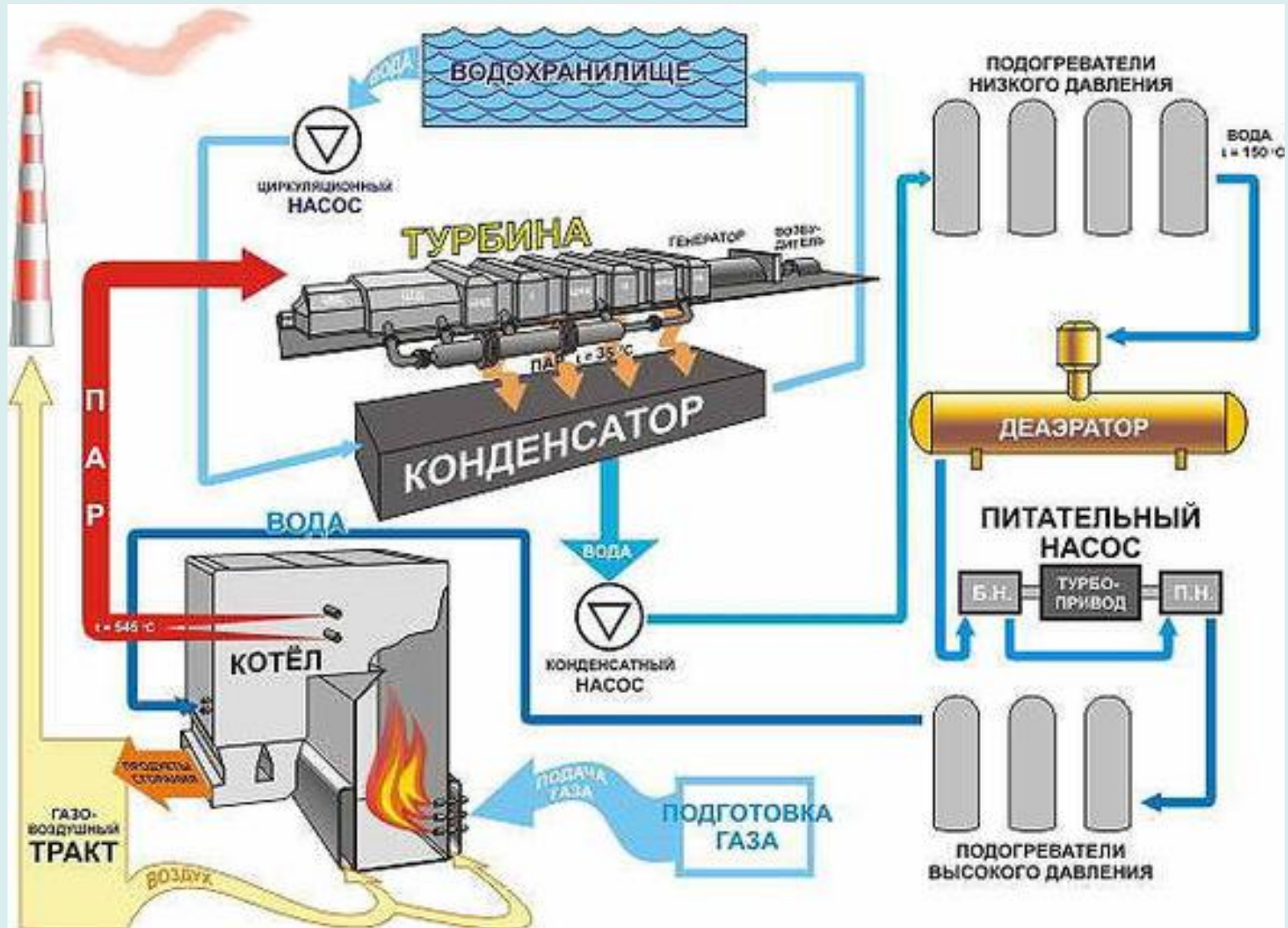
# Турбина ТЭС



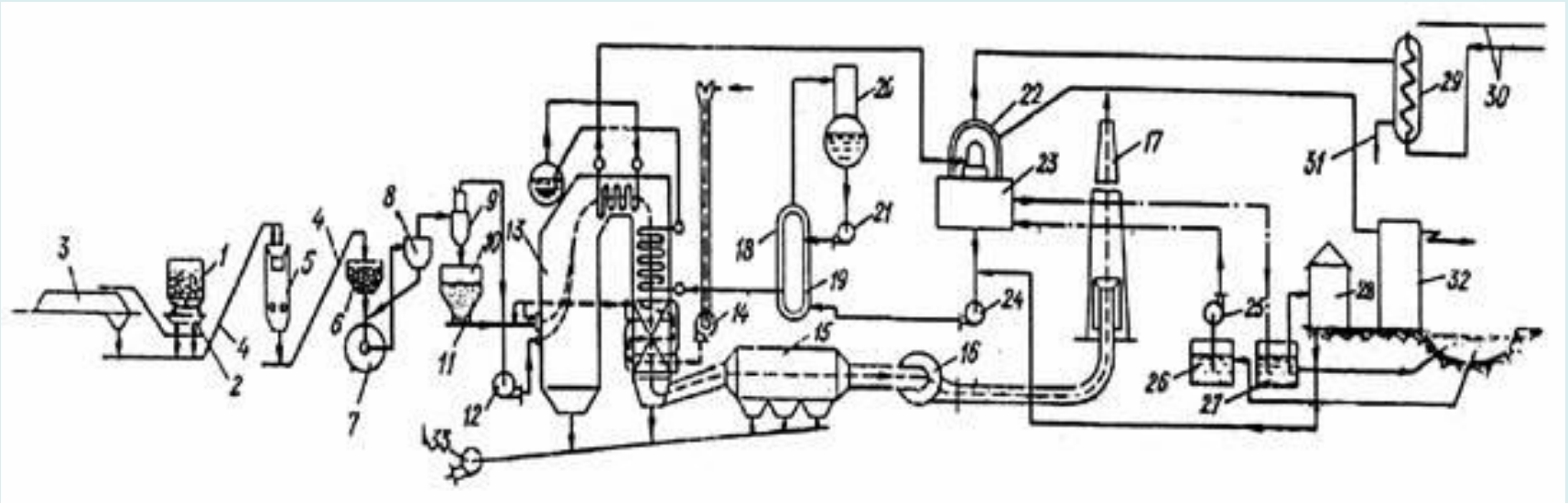
# Турбина ТЭС



# Типичная тепловая схема газомазутной ТЭС



# Технологическая схема пылеугольной электростанции



1- вагон с топливом; 2 - разгрузочное устройство; 3 – угольный склад; 4 - ленточный транспортер; 5 – дробильная установка; 6 – бункер сырого угля; 7 - пылеугольная мельница; 8 - сепаратор; 9 - циклон; 10 - бункер угольной пыли; 11 - питатели пыли; 12 – мельничный вентилятор; 13 – парогенератор; 14 - дутьевой вентилятор; 15 - электрофильтр; 16 - дымосос; 17 - дымовая труба; 18 и 19 – регенеративные подогреватели низкого и высокого давления; 20 - деаэратор; 21 - питательный насос; 22 - турбина и электрический генератор; 23 - конденсатор; 24 – конденсатный насос; 25 – циркуляционный насос; 26 и 27 – приемный и сбросной колодцы; 28 – устройства для химической обработки добавочной воды (в химцехе); 29 - сетевой подогреватель; 30 – подающая и обратная линии сетевой воды; 31 - отвод конденсата греющего пара; 32 - главное электрическое распределительное устройство станции; 33 - багерный насос

Технологическая схема электростанции, работающей на угольной пыли, показана на рис. предыдущего слайда. Топливо в железнодорожных составах поступает к разгрузочным устройствам 2, откуда с помощью ленточных транспортеров 4 - на склад 3, со склада топливо подается в дробильную установку 5. Имеется возможность подавать топливо в дробильную установку и непосредственно от разгрузочных устройств. Из дробильной установки топливо поступает в бункера сырого угля 6, а оттуда через питатели - в пылеугольные мельницы 7. Угольная пыль пневматически транспортируется через сепаратор и циклон в бункер угольной пыли 10, а оттуда питателями 11 подается к горелкам.

Газы, образующиеся при горении в топочной камере, проходят последовательно газоходы парогенератора (котлоагрегата), где отдают тепло пароперегревателю (первичному и вторичному, если осуществляется цикл с промежуточным перегревом), водяному экономайзеру и воздухоподогревателю, очищаются от летучей золы в золоуловителях (электрофильтрах) 15 и через дымовую трубу дымососами 16 выбрасываются в атмосферу.

Шлак и зола, выпадающие под топочной камерой, воздухоподогревателем и золоуловителями, смываются водой и по каналам поступают к багерным насосам 33, которые перекачивают их на золоотвалы.

Багерный насос (б.н.) — это гидравлическая машина лопастного типа для перемещения воды с взвешенными частицами золы, шлака, песка, измельченной руды и др. Конструктивные особенности багерного насоса обуславливаются необходимостью пропускания крупных твердых включений с высокой абразивностью. Багерные насосы имеют большие проходные сечения каналов проточной части, изготавливаются из износоустойчивых материалов (между рабочим колесом и корпусом устанавливаются бронедиски), наиболее изнашиваемые детали легко заменяются. Давление, создаваемое багерными насосами, не превышает 0,4 МПа (4 атм.). Багерный насос служит на тепловых электростанциях для удаления золы из котельной. В связи с большим износом отдельных элементов насоса обычно устанавливают 3 б.н., каждый на полную производительность.

Воздух, необходимый для горения, подается в воздухоподогреватели парогенератора дутьевым вентилятором 14. Забирается воздух обычно наверху котельной или (при парогенераторах большой производительности) снаружи котельного отделения.

Перегретый пар из топки котла 13 поступает к турбине 22. Конденсат из конденсатора турбины подается конденсатными насосами через регенеративные подогреватели низкого давления 18 в деаэратор 20, а оттуда питательными насосами 21 через подогреватели высокого давления 19 в экономайзер парогенератора.

Потери пара и конденсата восполняются в данной схеме химически обессоленной водой, которая подается в линию конденсата за конденсатором турбины.

Охлаждающая вода подается в конденсатор из источника водоснабжения циркуляционными насосами 25 (ц.н.). Подогретая вода сбрасывается в тот же источник на расстоянии от места забора, достаточном для того, чтобы подогретая вода не подмешивалась к забираемой.

В схемах может быть предусмотрена небольшая сетевая подогревательная установка для теплофикации электростанции и прилегающего поселка. К сетевым подогревателям 29 этой установки пар поступает от отборов турбины.

Выработанная электрическая энергия отводится от электрического генератора к внешним потребителям через повышающие электрические трансформаторы.

Для снабжения электроэнергией электродвигателей, осветительных устройств и приборов электростанции имеется электрическое распределительное устройство собственных нужд (РУСН).

**Tuoketuo, Китай** – является самой крупной тепловой электростанцией в мире. Ее установленная мощность составляет 6,6 ГВт (введена в эксплуатацию в 1995 г.).

Станция состоит из 5 энергоблоков, каждый из которых включает в себя 2 блока единичной мощностью 600 МВт. Помимо основного оборудования на станции установлено 2 блока суммарной мощностью 600 МВт для собственных нужд.

Этой станции принадлежит рекорд по строительству энергоисточников. Интервал между строительством двух блоков составил 50 дней.

Электростанция в качестве топлива использует уголь, который добывают примерно в 50 км от нее. Потребность в воде удовлетворяется путем откачки воды с Желтой реки, расположенной в 12 км.

Ежегодно станция производит 33,317 млрд кВт\*ч электрической энергии. Tuoketuo занимает свыше 2,5 км<sup>2</sup>.



# Крупнейшая ТЭС в мире



A photograph of a nuclear power plant. In the center, a tall, slender cooling tower with red and white horizontal stripes rises against a blue sky with scattered white clouds. The main building of the plant is a large, multi-story structure with a light-colored facade. In the foreground, several high-voltage power line towers are visible, along with some green trees and a grassy area. The overall scene is bright and clear.

# **Атомные электрические станции (АЭС)**

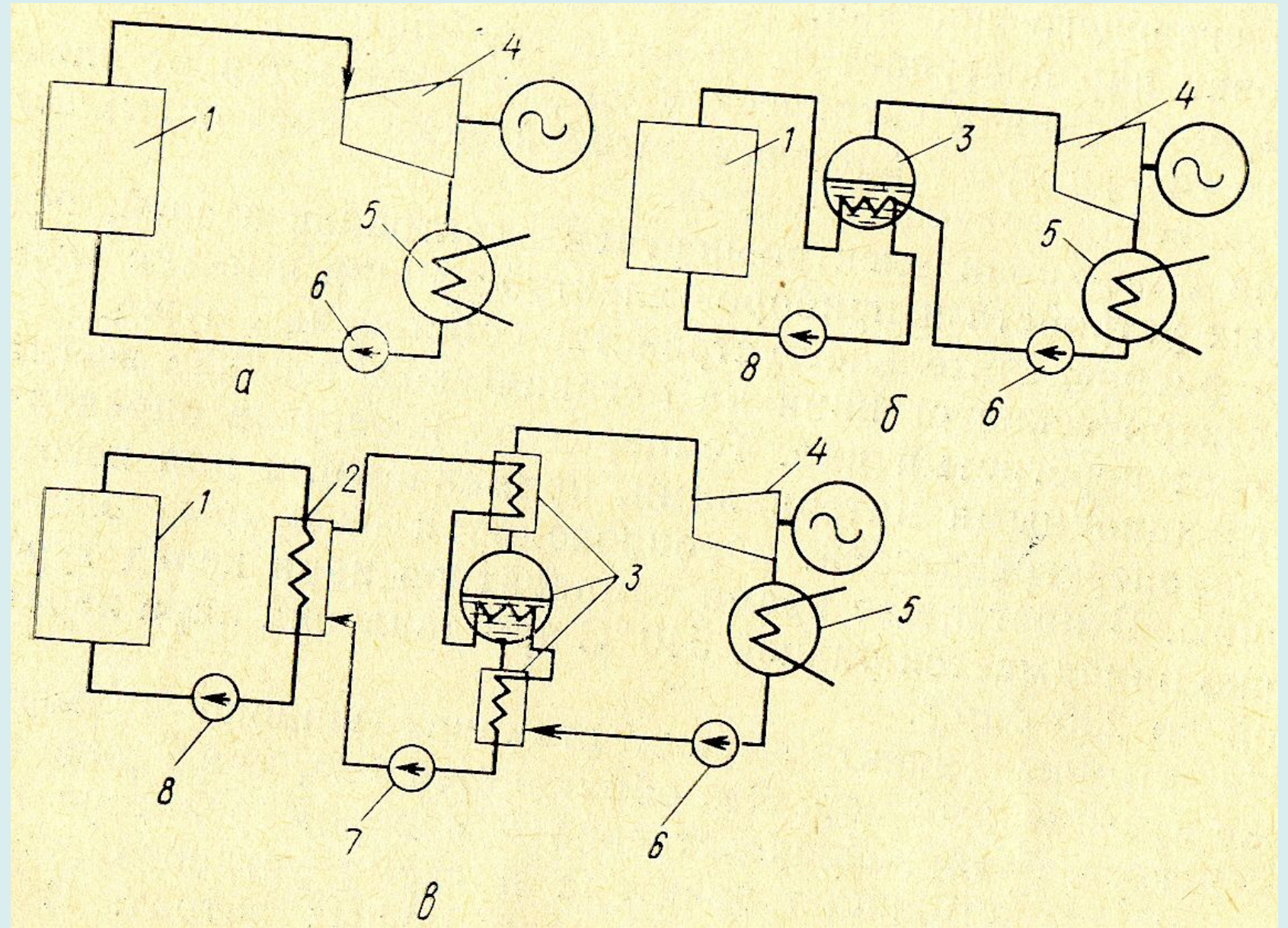
На **атомных электрических станциях** (АЭС) широко применяется насыщенный пар. Это объясняется тем, что в ряде случаев перегрев пара непосредственно в ядерном реакторе весьма усложняет конструкцию реактора и схему установки, требует существенных дополнительных капитальных затрат. В то же время ядерное горючее значительно дешевле органического, вследствие чего выработка электроэнергии на установках меньшей стоимости даже при более низких значениях КПД экономически оправдывается.

Схема атомной электрической станции может быть одноконтурной, двухконтурной и трехконтурной (рис. следующего слайда).

На электростанции, работающей по одноконтурной схеме (рис. а), пар образуется в активной зоне реактора и оттуда направляется в турбину. В некоторых случаях до поступления в турбину пар перегревается в перегревательных каналах реактора или отдельном ядерном пароперегревателе.

Одноконтурная схема наиболее проста. Однако образующийся в реакторе пар в этом случае становится радиоактивным. Поэтому большая часть оборудования контура должна иметь защиту от излучений. В процессе работы электростанции в паропроводах, турбине и других элементах оборудования могут скапливаться выносимые из реактора с паром твердые вещества (содержащиеся в воде электролиты, продукты коррозии), обладающие наведенной активностью, что затрудняет контроль за оборудованием и его ремонт.

# Одноконтурная (а), двухконтурная (б) и трехконтурная (в) схемы АЭС



**1 – реактор;**

**2 – промежуточный теплообменник;**

**3 – парогенератор;**

**4 – турбогенератор;**

**5 – конденсатор;**

**6 – насос;**

**7 – циркуляционный насос II контура;**

**8 - циркуляционный насос I контура**

По двухконтурной и трехконтурной схемам (рис. б и в предыдущего слайда) отвод тепла из реактора осуществляется теплоносителем, который затем передает это тепло рабочей среде непосредственно или через теплоноситель промежуточного контура.

На электростанциях, работающих по двухконтурной или трехконтурной схеме, рабочая среда и теплоноситель второго контура в нормальных условиях неактивны, поэтому эксплуатация электростанции существенно облегчается. Кроме того, продукты коррозии паропроводов, конденсатопроводов и турбинного тракта не попадают в реактор. Однако капитальные затраты в этом случае значительно выше, особенно при трехконтурной схеме. Такие схемы следует применять, когда вероятность контакта активного теплоносителя с водой должна быть полностью исключена, например, при использовании в качестве теплоносителя жидкого натрия, так как контакт его с водой может привести к крупной аварии. В двухконтурной схеме электростанции даже при небольших нарушениях плотности произойдет контакт активного натрия с водой, и аварию ликвидировать будет довольно трудно. При трехконтурной схеме контакт активного натрия с водой исключен.

# Технологическая схема двухконтурной АЭС



Технологическая схема двухконтурной АЭС показана на рис. предыдущего слайда.

Ядерное горючее, находящееся в тепловыделяющих элементах (ТВЭЛ) определенной формы, доставляется в контейнерах на электростанцию и с помощью перегрузочной машины загружается в активную зону реактора (см. рис. следующего слайда). Кассеты с выгоревшими тепловыделяющими элементами помещаются в бассейн выдержки, где выдерживаются в течение определенного времени. Когда радиоактивность горючего и материала кассет заметно уменьшается, кассеты в контейнерах вывозятся на перерабатывающие заводы. Тепло, выделяющееся в реакторе и воспринятое теплоносителем, передается рабочей среде в парогенераторе. При трехконтурной схеме между теплоносителем I контура и рабочей средой имеется еще промежуточный контур.

Пар, образовавшийся в парогенераторе (при двухконтурных и трехконтурных схемах) или в реакторе (при одноконтурной схеме), направляется по паропроводу к турбине.

Дальнейшая часть схемы в основном не отличается от схемы обычной ТЭС с органическим топливом.