

# Энергетика и электростанции



Под **энергетикой** понимают совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов.

**Цель энергетики** — обеспечение производства энергии путем преобразования первичной (природной) энергии (например, химической энергии, содержащейся в угле) во вторичную (например, электрическую или тепловую энергии). Производство энергии обычно проходит несколько стадий:

- получение и концентрация энергетических ресурсов (например, добыча, переработка и обогащение ядерного топлива);
- передача энергетических ресурсов к преобразующим установкам (например, доставка угля на ТЭС);
- преобразование с помощью электростанций первичной энергии во вторичную (например, химической энергии органического топлива в электрическую и тепловую энергию);
- передача вторичной энергии потребителям (например, по линиям электропередачи);
- потребление доставленной энергии в полученном или преобразованном виде



## *Традиционная электроэнергетика*

основана на использовании энергии:

органических топлив;

энергии воды (гидроэнергетика);

ядерного горючего (атомная энергетика).

Характерные черты традиционной электроэнергетики — хорошая освоенность на основе длительной проверки в условиях эксплуатации. Основную долю электроэнергии в мире и России получают на базе традиционных электростанций, единичная мощность установок которых, часто превышает 1000 МВт. Самыми «молодыми» в традиционной энергетике являются парогазовые установки (ПГУ).

**Рис. 1.7. Виды энергетики**

## Типы тепловых электростанций

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

Тепловые электростанции можно классифицировать:

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 конденсационные электростанции, вырабатывающие в основном электроэнергию, часто сохраняют за собой историческое название — *ГРЭС (государственные районные электростанции)*.

Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются *теплоэлектроцентралями (ТЭЦ)*.

Как правило, ГРЭС и районные ТЭЦ имеют мощность более 1 млн кВт.

## Типы тепловых электростанций

*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. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы.

2. По виду используемого топлива тепловые электростанции разделяются на электростанции, работающие на

- органическом топливе;
- 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*).

В качестве органического топлива для ТЭС используют газообразное, жидкое и твердое топливо. Большинство ТЭС России, особенно в европейской части, в качестве основного топлива потребляют природный газ, а в качестве резервного топлива — мазут, используя последний ввиду его дороговизны только в крайних случаях; такие ТЭС называют *газوماзутными*. Во многих регионах, в основном в азиатской части России, основным топливом является энергетический уголь .

3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают:

- паротурбинные;
- газотурбинные;
- 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.

*Газотурбинные тепловые электростанции (ГТЭС)* оснащаются *газотурбинными установками* (ГТУ), работающими на газообразном или, в крайнем случае, жидком (дизельном) топливе.

*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).

Современный электроэнергетический комплекс России включает около 600 электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт.

Общая установленная мощность электростанций России составляет 218 145,8 МВт.

Установленная мощность парка действующих электростанций по типам генерации имеет следующую структуру:

- тепловые электростанции 68,4%,
- гидравлические – 20,3%,
- атомные – около 11,1 %.



Наибольшее развитие и распространение в России получили тепловые электростанции общего пользования, работающие на органическом топливе (газ, уголь), преимущественно паротурбинные.

Самой большой ТЭС на территории России является крупнейшая на Евразийском континенте Сургутская ГРЭС-2 (5600 МВт), работающая на природном газе (ГРЭС - аббревиатура, сохранившаяся с советских времен, означает государственную районную электростанцию).

Из электростанций, работающих на угле, наибольшая установленная мощность у Рефтинской ГРЭС (3800 МВт).

# Сургутская ГРЭС-1



- Установленная электрическая мощность
    - 3 268 МВт
  - Установленная тепловая мощность
    - 903 Гкал/ч
  - Численность сотрудников 1 035 человек
  - Используемое топливо Газ
- Сургутская ГРЭС-1 расположена в г. Сургуте Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, Тюменской области. Электростанция является одним из основных источников электроэнергии районов Западной Сибири и Урала и теплоснабжения г. Сургута.

Наименование	Установл. мощность, МВт	Котел		Турбина		Генератор	
		Тип	Кол-во	Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
Энергоблоки № 1-11,13, 16	2730	ТГ-104	13	К-210-130 ЛМЗ	13	ТВВ-200-2А	13
Энергоблоки № 14-15	360	ТГ-104	2	Т-180/210-130 ЛМЗ	2	ТВВ-200-2А	2
Энергоблок № 12	178	ТГ-104	1	Т-178/210-130 ЛМЗ	1	ТВВ-200-2А	1

# Сургутская ГРЭС-2



Электрическая мощность	5 597,1 МВт
Тепловая мощность	840 Гкал/ч
Характеристики оборудования	
Основное топливо	<a href="#">попутный газ</a> — 70 %, <a href="#">природный газ</a> — 30 %
Котельные агрегаты	6хТГМП-204ХЛ 2 котла-утилизатора СМІ
Количество энергоблоков	8
Количество и марка турбин	6хК-800-240-5 2хПГУ-400 (ГТ PG9351FA + ПТ D10)
Количество и марка генераторов	6хТВВ-800-ЕУЗ 2х390Н
Электрическая мощность	5 597 1 МВт

- Атомная энергетика

На сегодняшний день в нашей стране эксплуатируется 10 атомных электростанций (АЭС) – в общей сложности 33 энергоблока установленной мощностью 23,2 ГВт, которые вырабатывают около 17% всего производимого электричества.

В стадии строительства – еще 5 АЭС.

Широкое развитие атомная энергетика получила в европейской части России (30%) и на Северо-Западе (37% от общего объема выработки электроэнергии).

В 2011 году атомными электростанциями выработано рекордное за всю историю отрасли количество электроэнергии — 172,5 млрд кВт/ч, что составило около 1,5% прироста по сравнению с 2010 годом.

# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В РОССИИ

**ВЗГЛЯД**  
ДЕЛОБАЯ ТАБЛИЦА

© Все права защищены



## Гидроэнергетика

России большой гидроэнергетический потенциал, что подразумевает значительные возможности развития отечественной гидроэнергетики. На территории Российской Федерации сосредоточено около 9% мировых запасов гидроресурсов.

По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами Россия занимает второе место в мире, опережая США, Бразилию, Канаду. На сегодняшний день общий теоретический гидроэнергетический потенциал России определен в 2900 млрд кВт-ч годовой выработки электроэнергии или 170 тыс. кВт/ч на 1 кв. км территории. Однако сейчас освоено лишь 20% этого потенциала. Одним из препятствий развития гидроэнергетики является удаленность основной части потенциала, сконцентрированной в центральной и восточной Сибири и на Дальнем Востоке, от основных потребителей электроэнергии.

## Гидроэнергетика

### Выработка электроэнергии российскими ГЭС

- обеспечивает ежегодную экономию 50 млн тонн условного топлива, потенциал экономии составляет 250 млн тонн;
- позволяет снижать выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу на величину до 60 млн тонн в год, что обеспечивает России практически неограниченный потенциал прироста мощностей энергетики в условиях жестких требований по ограничению выбросов парниковых газов.

Кроме своего прямого назначения – производства электроэнергии с использованием возобновляемых ресурсов – гидроэнергетика дополнительно решает ряд важнейших для общества и государства задач: создание систем питьевого и промышленного водоснабжения, развитие судоходства, создание ирригационных систем в интересах сельского хозяйства, рыбозаводство, регулирование стока рек, позволяющее осуществлять борьбу с паводками и наводнениями, обеспечивая безопасность населения.

## Гидроэнергетика

В настоящее время на территории России работают 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт.

Общая установленная мощность гидроагрегатов на ГЭС в России составляет примерно 46 000 МВт (5 место в мире).

В 2011 году российскими гидроэлектростанциями выработано 153,3 млрд кВт/ч электроэнергии.

В общем объеме производства электроэнергии в России доля ГЭС в 2011 году составила 15,2%.



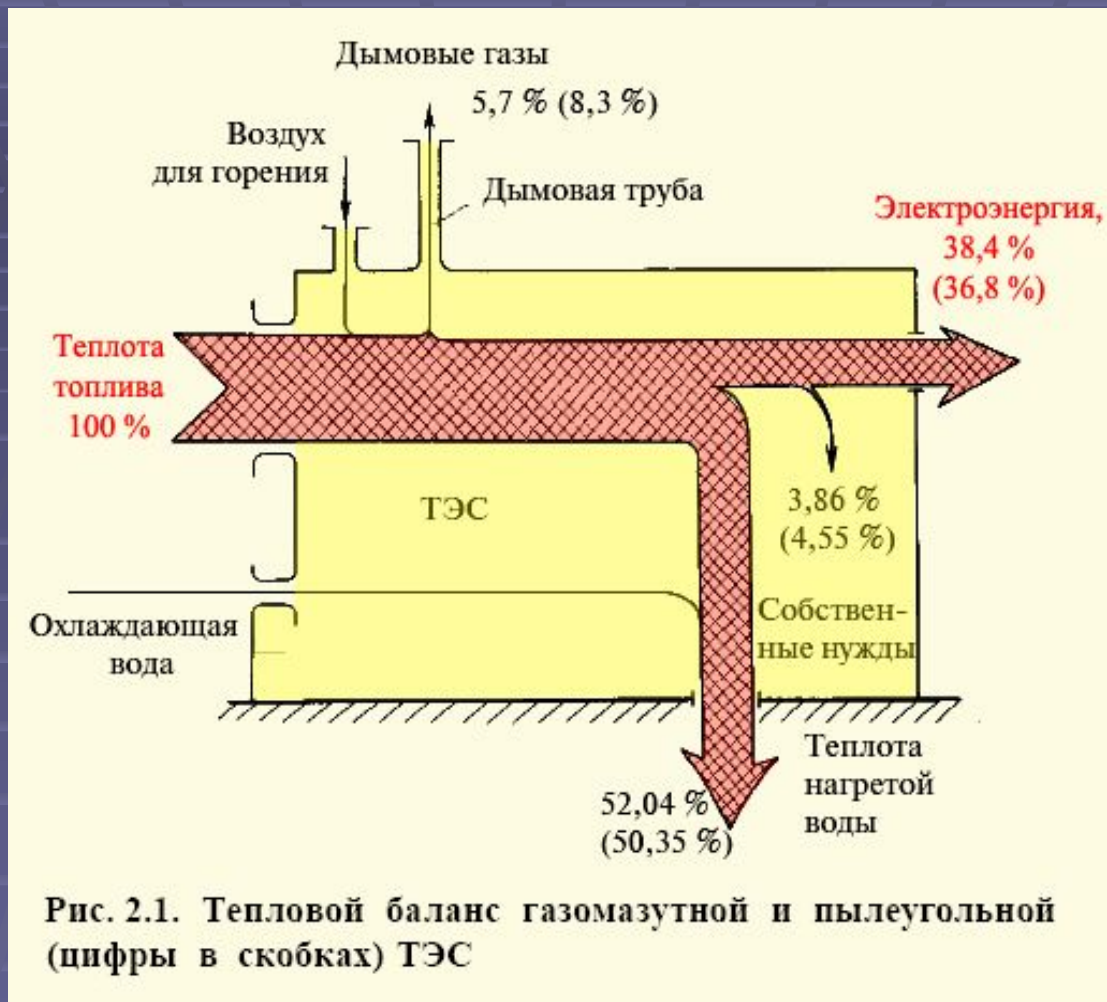
## Гидроэнергетика

До недавнего времени крупнейшей российской гидроэлектростанцией считалась Саяно-Шушенская ГЭС им. П. С. Непорожного мощностью 6721 МВт (Хакасия). Однако после трагической аварии 17 августа 2009 года ее мощности частично выбыли из строя.

Вторая по установленной мощности гидроэлектростанция России – Красноярская.



## Общее представление о тепловой электростанции



Типичная конденсационная ТЭС, работающая на органическом топливе

Отношение количества энергии, отпущенной ТЭС за некоторый промежуток времени, к затраченной за это время теплоте, содержащейся в сожженном топливе, называется **коэффициентом полезного действия нетто ТЭС по выработке электроэнергии**. Для ТЭС, рассмотренной на рис. 2.1, он составляет 38,4 %.

Понятие КПД нетто ТЭС обычно используется как универсальная оценка для сравнения ТЭС в различных странах, при научном анализе и в некоторых других случаях.

В повседневной практике на ТЭС используют другой показатель — **удельный расход условного топлива  $b_y$** , измеряемый в г/(кВт·ч). (**условное топливо** — это топливо, имеющее теплоту сгорания  $Q_{сг} = 7000$  ккал/кг = 29,33 МДж/кг).

Если, например, на ТЭС сожгли 100 т угля с теплотой сгорания  $Q_{сг} = 3500$  ккал/кг, т.е. использовали  $B_y = 50$  т у.т., и при этом отпущено в сеть  $\mathcal{E} = 160\,000$  кВт·ч электроэнергии, то удельный расход условного топлива составит

$$b_y = 50 \cdot 10^6 / 160\,000 = 312,5 \text{ г/(кВт·ч)}.$$

Между КПД ТЭС нетто и удельным расходом условного топлива существует элементарная связь:

$$b_y = 123 / \eta_{ТЭС}; \quad \eta_{ТЭС} = 123 / b_y.$$

## Типы тепловых электростанций

- **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.
- 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 конденсационные электростанции, вырабатывающие в основном электроэнергию, часто сохраняют за собой историческое название — *ГРЭС (государственные районные электростанции)*. Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются *теплоэлектроцентралями (ТЭЦ)*. Как правило, ГРЭС и районные ТЭЦ имеют мощность более 1 млн кВт.

- **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. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы. Ниже рассматриваются только районные электростанции.

- **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*). Именно в таком смысле ниже будет употребляться этот термин, хотя и ТЭЦ, и АЭС, и газотурбинные электростанции (ГТЭС), и парогазовые электростанции (ПГЭС) также являются тепловыми электростанциями, работающими на принципе преобразования тепловой энергии в электрическую.
- В качестве органического топлива для ТЭС используют газообразное, жидкое и твердое топливо. Большинство ТЭС России, особенно в европейской части, в качестве основного топлива потребляют природный газ, а в качестве резервного топлива — мазут, используя последний ввиду его дороговизны только в крайних случаях; такие ТЭС называют *газوماзутными*. Во многих регионах, в основном в азиатской части России, основным топливом является энергетический уголь — низкокалорийный уголь или отходы высококалорийного каменного угля (антрацитовый штыб — АШ). Поскольку перед сжиганием такие угли размалываются в специальных мельницах до пылевидного состояния, то такие ТЭС называют *пылеугольными*.

- **3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции.**
- Основной 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.
- **Газотурбинные тепловые электростанции (ГТЭС)** оснащаются газотурбинными установками (ГТУ), работающими на газообразном или, в крайнем случае, жидком (дизельном) топливе. Поскольку температура газов за ГТУ достаточно высока, то их можно использовать для отпуска тепловой энергии внешнему потребителю. Такие электростанции называют ГТУ-ТЭЦ. В настоящее время в России функционирует одна ГТЭС (ГРЭС-3 им. Классона, г. Электрогорск Московской обл.) мощностью 600 МВт и одна ГТУ-ТЭЦ (в г. Электросталь Московской обл.).

- **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). В России имеется только одна работающая ПГУ-ТЭЦ (ПГУ-450Т) мощностью 450 МВт. На Невинномысской ГРЭС работает энергоблок (см. лекцию 7) ПГУ-170 мощностью 170 МВт, а на Южной ТЭЦ Санкт-Петербурга — энергоблок ПГУ-300 мощностью 300 МВт.



- 4. По технологической схеме паропроводов ТЭС делятся на блочные ТЭС и на ТЭС с поперечными связями.
- **Блочные ТЭС** состоят из отдельных, как правило, однотипных энергетических установок — энергоблоков. *В энергоблоке каждый котел подает пар только для своей турбины, из которой он возвращается после конденсации только в свой котел.* По блочной схеме строят все мощные ГРЭС и ТЭЦ, которые имеют так называемый *промежуточный перегрев пара*. Работа котлов и турбин на **ТЭС с поперечными связями** обеспечивается по-другому: все котлы ТЭС подают пар в один общий паропровод (коллектор) и от него питаются все паровые турбины ТЭС. По такой схеме строятся КЭС без промежуточного перегрева и почти все ТЭЦ на докритические начальные параметры пара.
- 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. Часто ТЭС или ТЭЦ строят в несколько этапов — очередями, параметры которых улучшаются с вводом каждой новой очереди.

## Технологический процесс преобразования химической энергии топлива в электроэнергию на ТЭС

Любая конденсационная паротурбинная электростанция включает в себя четыре обязательных элемента:

- **энергетический котел**, или просто **котел**, в который подводится питательная вода под большим давлением, топливо и атмосферный воздух для горения. В топке котла идет процесс горения — химическая энергия топлива превращается в тепловую и лучистую энергию. **Питательная вода** протекает по трубной системе, расположенной внутри котла. Сгорающее топливо является мощным источником теплоты, которая передается питательной воде. Последняя нагревается до температуры кипения и испаряется. Получаемый пар в этом же котле перегревается сверх температуры кипения. Этот по одному или нескольким трубопроводам подается в паровую турбину;

- **турбоагрегат**, состоящий из паровой турбины, электрогенератора и возбуждителя. Паровая турбина, в которой пар расширяется до очень низкого давления (примерно в 20 раз меньше атмосферного), преобразует потенциальную энергию сжатого и нагретого до высокой температуры пара в кинетическую энергию вращения ротора турбины. Турбина приводит электрогенератор, преобразующий кинетическую энергию вращения ротора генератора в электрический ток. Электрогенератор состоит из статора, в электрических обмотках которого генерируется ток, и ротора, представляющего собой вращающийся электромагнит, питание которого осуществляется от возбуждителя;
- **конденсатор служит** для конденсации пара, поступающего из турбины, и создания глубокого разрежения. Это позволяет очень существенно сократить затрату энергии на последующее сжатие образовавшейся воды и одновременно увеличить работоспособность пара, т.е. получить большую мощность от пара, выработанного котлом;
- **питательный насос** для подачи питательной воды в котел и создания высокого давления перед турбиной.

Кроме перечисленных элементов, реальная ПТУ дополнительно содержит большое число насосов, теплообменников и других аппаратов, необходимых для повышения ее эффективности.

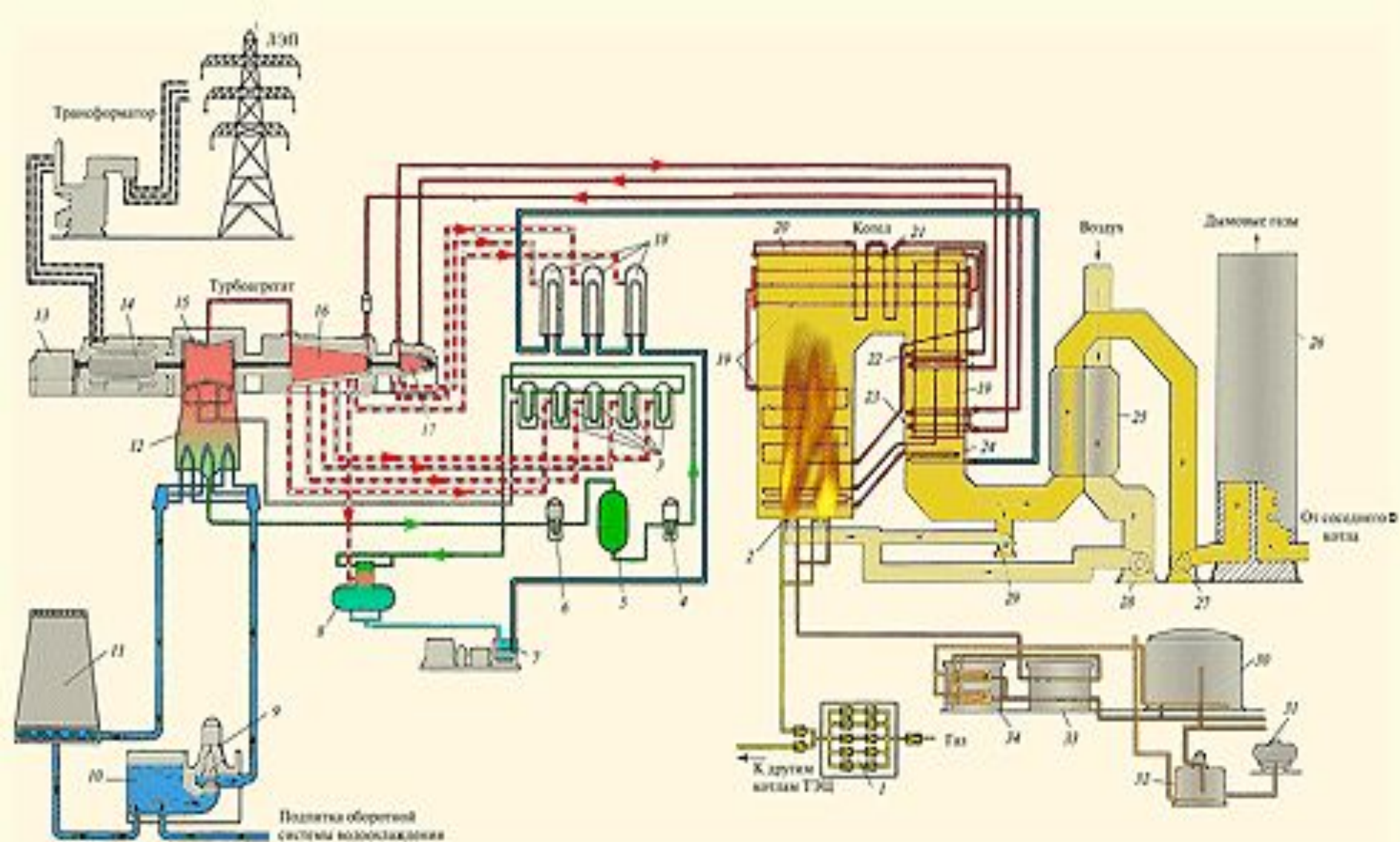


Рис. 2.2. Технологическая схема ТЭС, работающей на газе

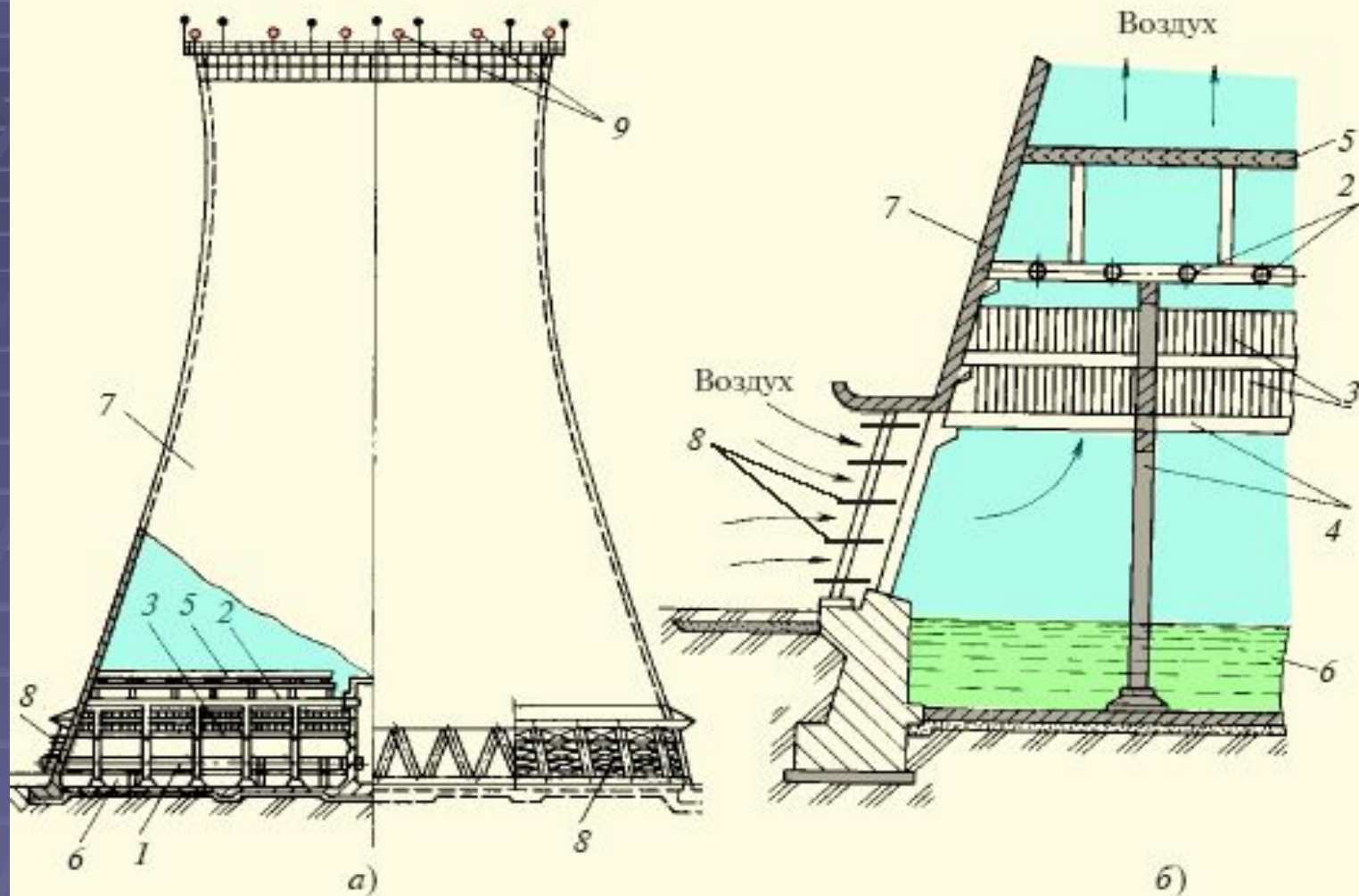


Рис. 2.3. Устройство градирни с естественной тягой



**Рис. 2.4. Внешний вид башенной градирни**

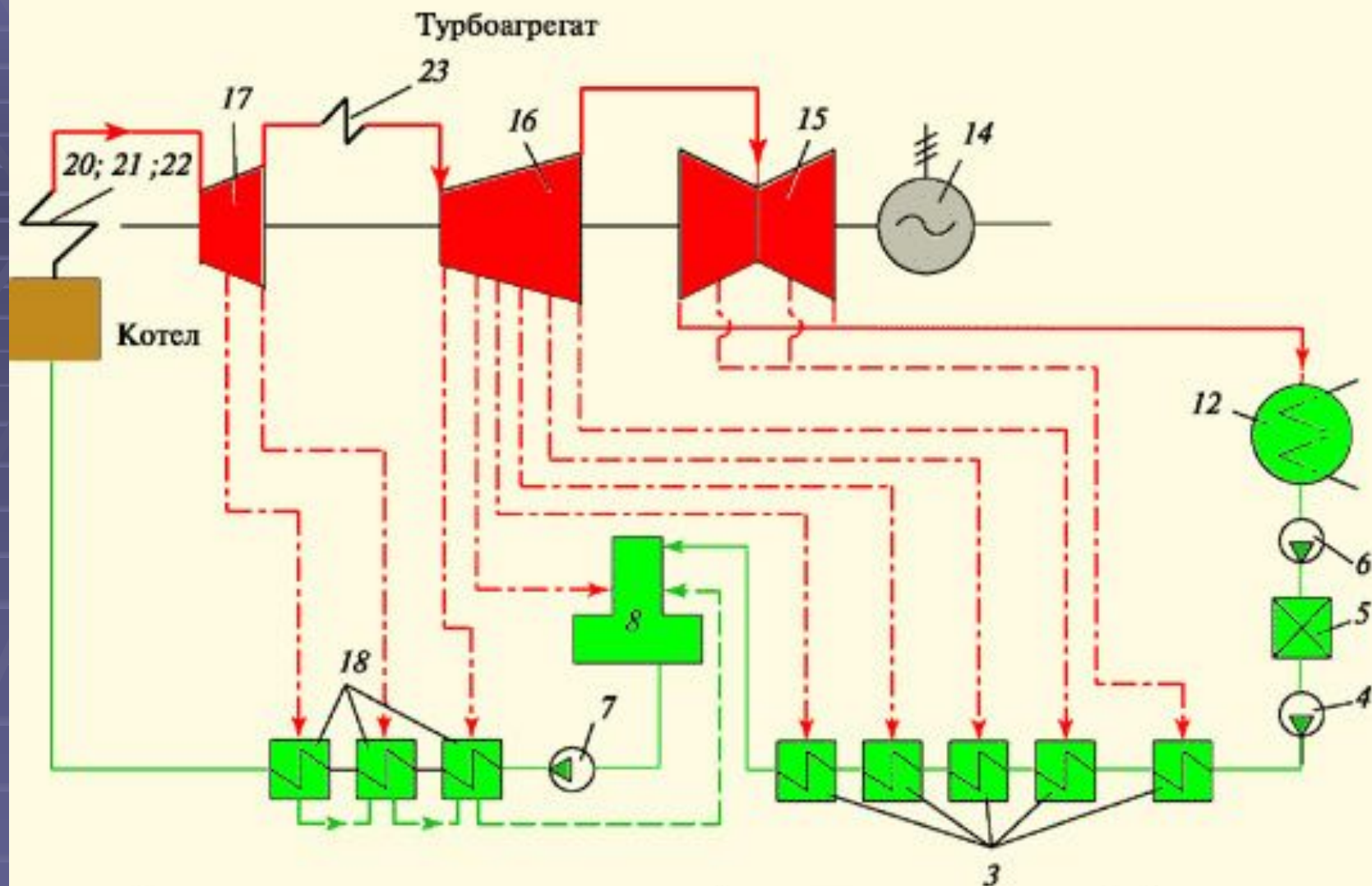


Рис. 2.5. Тепловая схема паротурбинной установки ТЭС, приведенной на рис. 2.2

## Преимущества и недостатки ТЭС в сравнении с другими источниками электроэнергии.

1. В отличие от ГЭС, тепловые электростанции можно размещать относительно свободно с учетом используемого топлива. Газомазутные ТЭС могут быть построены в любом месте, так как транспорт газа и мазута относительно дешев (по сравнению с углем). Пылеугольные ТЭС желательно размещать вблизи источников добычи угля. К настоящему времени «угольная» теплоэнергетика сложилась и имеет выраженный региональный характер.

2. Удельная стоимость установленной мощности (стоимость 1 кВт установленной мощности) и срок строительства ТЭС значительно меньше, чем АЭС и ГЭС.

3. Производство электроэнергии на ТЭС, в отличие от ГЭС, не зависит от сезона и определяется только доставкой топлива.

4. Площади отчуждения хозяйственных земель для ТЭС существенно меньше, чем для АЭС, и, конечно, не идут ни в какое сравнение с ГЭС, влияние которых на экологию может иметь далеко не региональный характер.



5. На ТЭС можно сжигать практически любое топливо, в том числе самые низкосортные угли, забалластированные золой, водой, породой.

6. В отличие от АЭС, нет никаких проблем с утилизацией ТЭС по завершении срока службы. Как правило, инфраструктура ТЭС существенно «переживает» основное оборудование (котлы и турбины), установленное на ней, здания, машзал, системы водоснабжения и топливоснабжения и т.д., которые составляют основную часть фондов, еще долго служат. Большинство ТЭС, построенных более 80 лет по плану ГОЭЛРО, до сих пор работают, и будут работать дальше после установки на них новых, более совершенных турбин и котлов.

### Недостатки ТЭС .

1. ТЭС — самые экологически «грязные» источники электроэнергии, особенно те, которые работают на высокозольных сернистых топливах. Правда, сказать, что АЭС, не имеющие постоянных выбросов в атмосферу, но создающие постоянную угрозу радиоактивного загрязнения и имеющие проблемы хранения и переработки отработавшего ядерного топлива, а также утилизации самой АЭС после окончания срока службы, или ГЭС, затопляющие огромные площади хозяйственных земель и изменяющие региональный климат, являются экологически более «чистыми» можно лишь со значительной долей условности.

2. Традиционные ТЭС имеют сравнительно низкую экономичность (лучшую, чем у АЭС, но значительно худшую, чем у ПГУ).

3. В отличие от ГЭС, ТЭС с трудом участвуют в покрытии переменной части суточного графика электрической нагрузки.

4. ТЭС существенно зависят от поставки топлива, часто привозного.

Несмотря на все эти недостатки, ТЭС являются основными производителями электроэнергии в большинстве стран мира и останутся таковыми, по крайней мере на ближайшие 50 лет.

Перспективы строительства мощных конденсационных ТЭС тесно связаны с видом используемых органических топлив. Несмотря на большие преимущества жидких топлив (нефти, мазута) как энергоносителей (высокая калорийность, легкость транспортировки) их использование на ТЭС будет все более и более сокращаться не только в связи с ограниченностью запасов, но и в связи с их большой ценностью как сырья для нефтехимической промышленности. Для России немалое значение имеет и экспортная ценность жидких топлив нефти. Поэтому жидкое топливо (мазут) на ТЭС будет

## Ближайшие и отдаленные перспективы строительства ТЭС

Несмотря на все эти недостатки, ТЭС являются основными производителями электроэнергии в большинстве стран мира и останутся таковыми.

Перспективы строительства мощных конденсационных ТЭС тесно связаны с видом используемых органических топлив. Несмотря на большие преимущества жидких топлив (нефти, мазута) как энергоносителей (высокая калорийность, легкость транспортировки) их использование на ТЭС будет существенно сокращаться не только в связи с ограниченностью запасов, но и в связи с их большой ценностью как сырья для нефтехимической промышленности. Для России немалое значение имеет и экспортная ценность жидких топлив нефти. Поэтому жидкое топливо на ТЭС будет использоваться либо как резервное топливо на газомазутных ТЭС, либо как вспомогательное топливо на пылеугольных ТЭС.

Использование природного газа на конденсационных паротурбинных ТЭС нерационально: для этого следует использовать парогазовые установки утилизационного типа, основой которых являются высокотемпературные ГТУ.

Таким образом, далекая перспектива использования классических паротурбинных ТЭС и в России, и за рубежом, прежде всего, связана с использованием углей, особенно низкосортных. Это, конечно, не означает прекращения эксплуатации газомазутных ТЭС, которые будут постепенно заменяться ПГУ.