

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

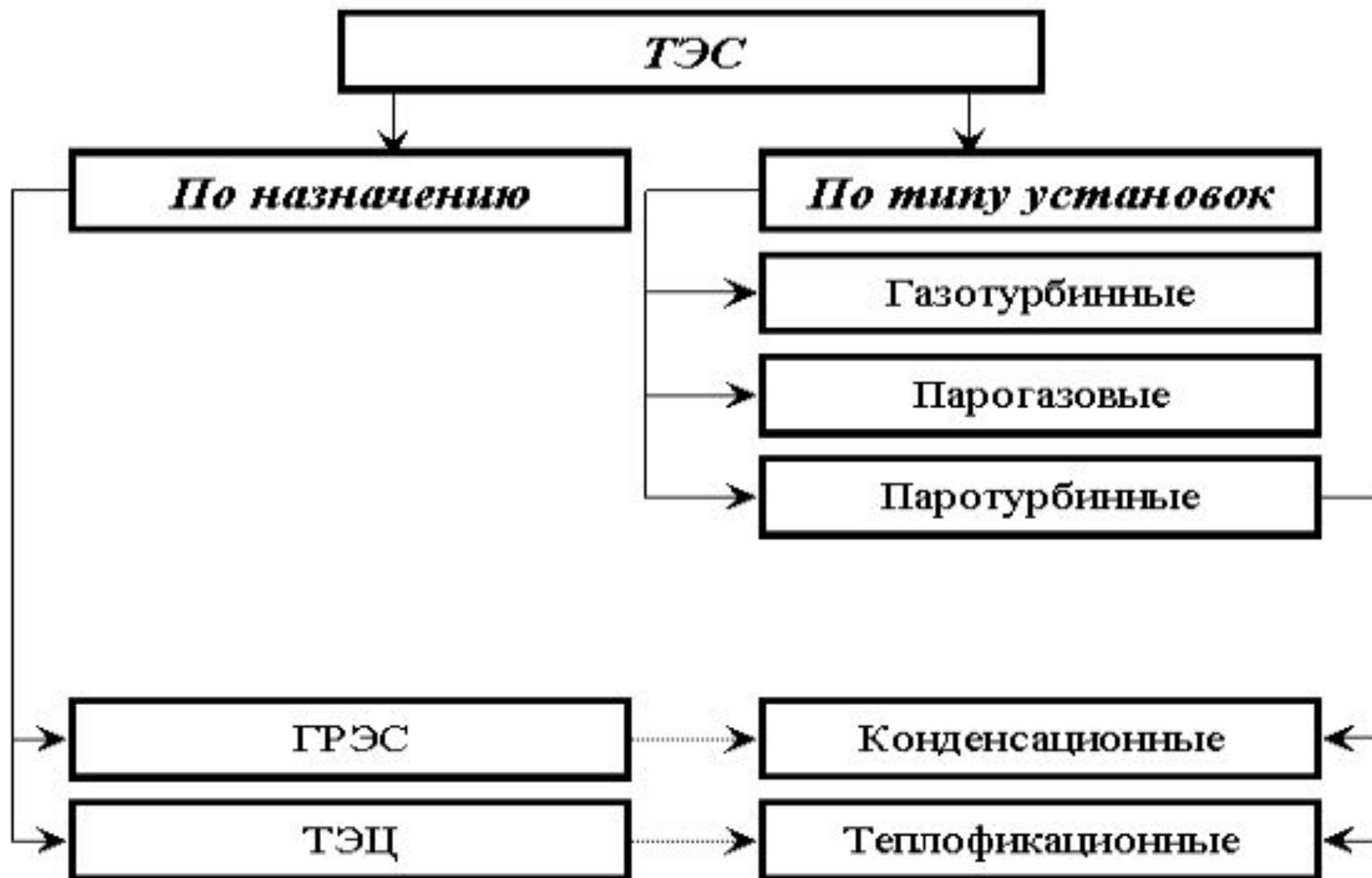
Лекция 2

**Лектор: д.т.н., проф.
Абросимов Леонид Иванович**

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- **Теплоэнергетика** — промышленное получение энергии в результате сжигания топлива (угля, торфа, мазута, газа). Тепловые электростанции дают 25% всех вредных выбросов в атмосферу. В настоящее время наиболее перспективным признано производство электроэнергии совместно с производством тепла. Такой единый цикл может быть в 4—10 раз эффективней, чем традиционные способы получения электроэнергии на ТЭЦ.
- Цель теплоэнергетики — обеспечение производства энергии путем преобразования первичной (природной) энергии (например, химической энергии, содержащейся в угле) во вторичную (например, электрическую или тепловую энергии). **Тепловой электрической станцией (ТЭС)** 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.

ТИПЫ ТЕПЛОВЫХ

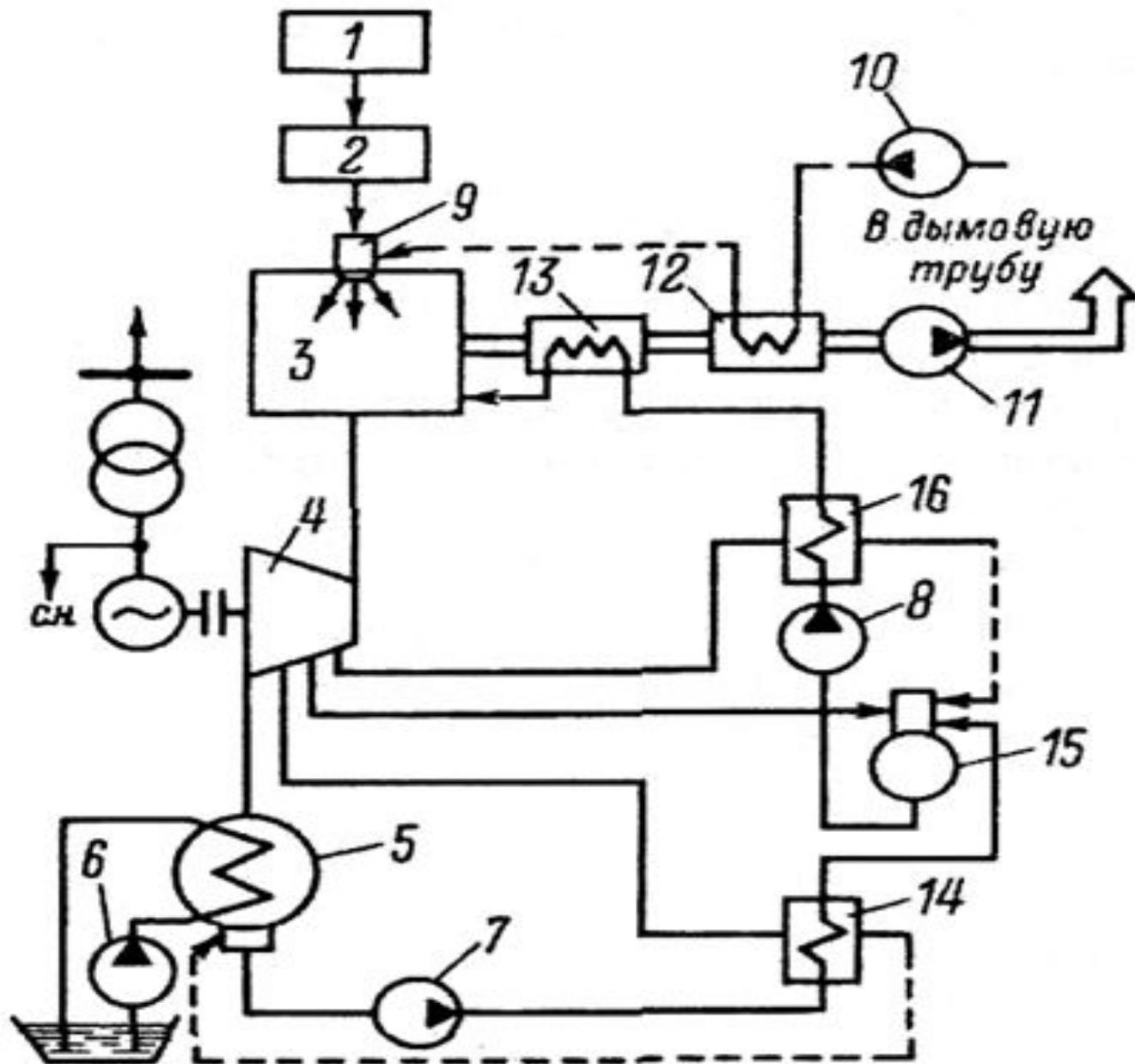


- **Районные электростанции** — это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т.д.). Районные конденсационные электростанции (КЭС), вырабатывающие в основном электроэнергию, часто сохраняют за 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. Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают. Их мощность определяется потребностями промышленных предприятий в тепловой и электрической энергии. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы.

- 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) ПТУ, имеющие в качестве привода электрогенераторов конденсационные турбины и не использующие тепло отработавшего пара для снабжения тепловой энергией внешних потребителей, называются конденсационными электростанциями (КЭС).
- ПТУ оснащённые теплофикационными турбинами и отдающие тепло отработавшего пара промышленным или коммунально-бытовым потребителям, называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).
- На тепловых *паротурбинных* электростанциях (ТПЭС) получаемый в парогенераторе (котлоагрегате) пар приводит во вращение паровую турбину, соединённую с электрическим генератором. На таких электростанциях вырабатывается почти вся электроэнергия, производимая ТЭС (99 %);

- *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.
- Традиционная современная газотурбинная установка (ГТУ) – это совокупность воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу. Объединение ГТУ и электрического генератора называют газотурбинным агрегатом.
- *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).

Схема работы тепловой электростанции



- 1 — склад топлива и система топливоподдачи;
- 2 — система топливоприготовления;
- 3 — котел; 4 — турбина;
- 5 — конденсатор; 6 — циркуляционный насос;
- 7 — конденсатный насос;
- 8 — питательный насос;
- 9 - горелки котла;
- 10 — вентилятор;
- 11 - дымосос; 12 - воздухоподогреватель;
- 13 — водяной экономайзер;
- 14 — подогреватель низкого давления;
- 15 — деаэратор;
- 16 — подогреватель высокого давления

- В котёл **3** с помощью питательного насоса **8** подводится питательная вода под большим давлением, топливо из системы **2** топливоприготовления и из воздухоподогревателя 12 атмосферный воздух для горения. В топке котла **3** идёт процесс горения — химическая энергия топлива превращается в тепловую и лучистую энергию. Питательная вода протекает по трубной системе, расположенной внутри котла **3**. (см.рис. 2.2)
- Сгорающее топливо является мощным источником теплоты, передающейся питательной воде, которая нагревается до температуры кипения и испаряется. Получаемый пар в этом же котле перегревается сверх температуры кипения, примерно до 540 С с давлением 13–24 МПа и по одному или нескольким трубопроводам подаётся в паровую турбину турбоагрегата **4**, в который также входят электрогенератор и возбуждатель
- В паровой турбине пар расширяется до очень низкого давления (примерно в 20 раз меньше атмосферного), и потенциальная энергия сжатого и нагретого до высокой температуры пара превращается в кинетическую энергию вращения ротора турбины.
- Турбина турбоагрегата **4**, приводит в движение электрогенератор, преобразующий кинетическую энергию

- Конденсатор **5** служит для конденсации пара, поступающего из турбины, и создания глубокого разрежения, благодаря которому и происходит расширение пара в турбине. Он создаёт вакуум на выходе из турбины, поэтому пар, поступив в турбину с высоким давлением, движется к конденсатору и расширяется, что обеспечивает превращение его потенциальной энергии в механическую работу.
- Циркуляционный насос **6** подает воду, охлаждающую конденсатор **5**.
- Конденсатный насос **7** обеспечивает возврат сконденсированной воды в котел **3** через подогреватель **14** низкого давления, деаэратор **15** и питательный насос **8**. Подогрев воды перед подачей в котел **3** осуществляют подогреватель **16** высокого давления и экономайзер **13**.
- Экономайзер **13** (англ. Economizer, от английского слова economize — «сберегать») это элемент котлоагрегата, теплообменник, в котором питательная вода перед подачей в котёл подогревается уходящими из котла газами при давлении до 22 кгс/см^2 (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. Устройство повышает КПД установки.

Технологии преобразования энергии ТЭС

- **Технология ω_{12}^4 - подготовка топлива**
- *Материальным носителем технологии является органическое топливо.*
- Класс $k=4$ соответствует преобразованию $U_1 \Rightarrow U_2$, при котором U_1 – исходная внутренняя энергия добытого органического топлива в единице объема, U_2 - внутренняя энергия преобразованного органического топлива в единице объема: $U_2 = U_T$
$$U_2 = a_{12} U_1 \quad (2.1)$$
- где a_{12} – коэффициент преобразования качества органического топлива в единице объема, например за счет удаления примесей и повышения чистоты материального носителя. Соответственно $a_{12} > 1,0$

- **Технологии ω_{23}^3 - горение топлива**

- *Материальными носителями технологии являются:* органическое топливо и котельные газы, полученные в процессе горения топлива в топочной камере котла. (см. рис 2.3)
- Класс $k=3$ соответствует преобразованию $U_2 \Rightarrow W_3$, при котором U_2 - внутренняя энергия преобразованного органического топлива в единице объема, W_3 - тепловая энергия котельных газов, полученная в процессе горения топлива в топочной камере котла.
- В процессе горения топлива в топке котла происходят химические реакции окисления. Самой распространенной и широко используемой, с древних времен и до наших дней, является реакция окисления углерода:
 - $C + O_2 \Rightarrow CO_2 + U_T$ (2.2)
 - Углерод в ходящий в состав любого органического топлива (уголь, дерево, нефть, газ), взаимодействуя с кислородом атмосферы образует углекислый газ и выделяется тепловая энергия U_T .
 - $U_T = q m_T$ (2.3)
 - где q – удельная теплота сгорания [калория / кг] или [дж/ кг]
 - m_T – масса топлива [кг]
- В процессе сгорания топлива происходит потеря части энергии ΔU_T – диссипативной энергии рассеяния.

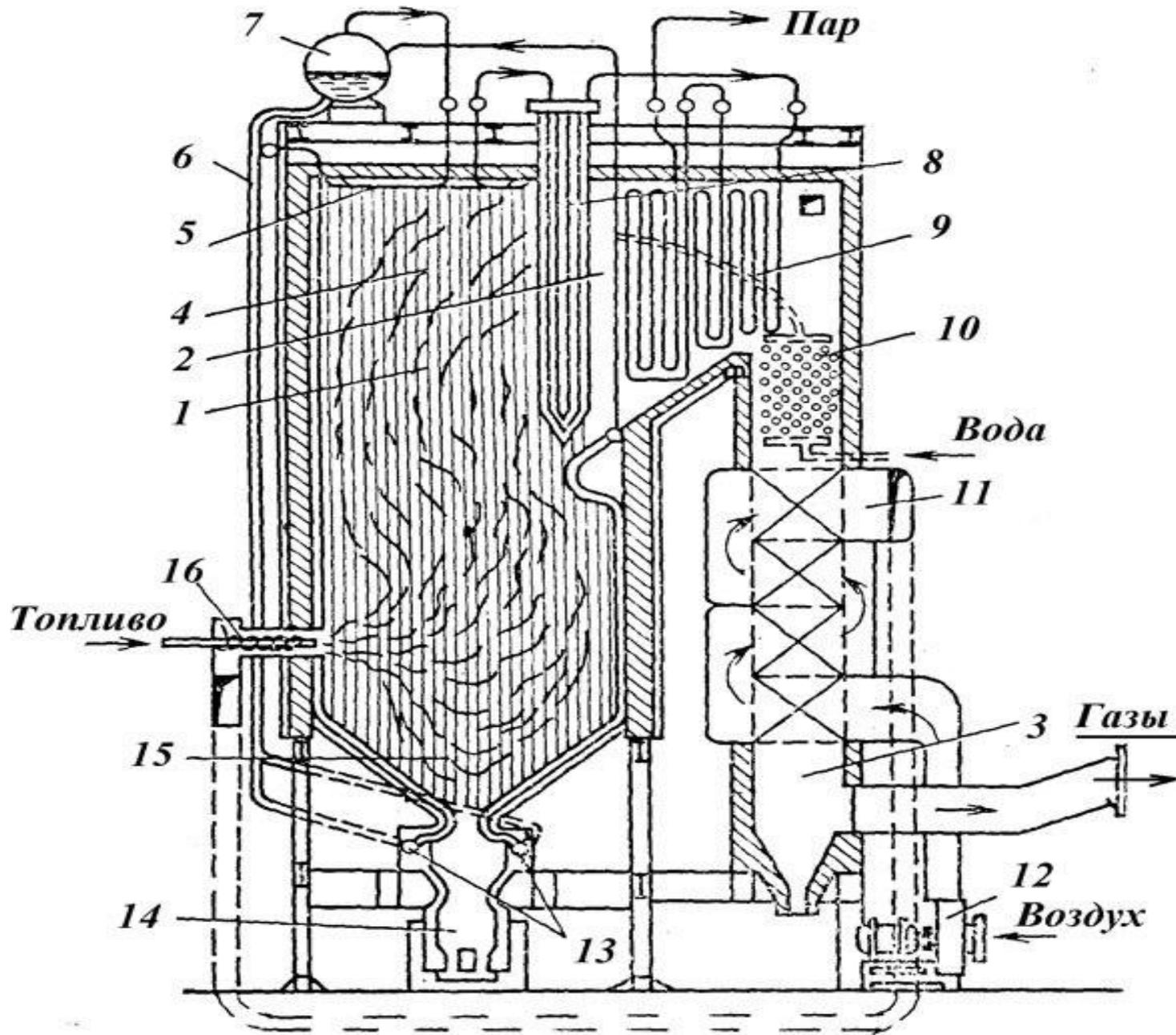


Рис. 2.3 Схема топочной камеры котла.

- 1 — топочная камера (топка); 2 — горизонтальный газоход; 3 — конвективная шахта; 4 — топочные экраны; 5 — потолочные экраны; 6 — спускные трубы; 7 — барабан; 8 — радиационно-конвективный пароперегреватель; 9 — конвективный пароперегреватель; 10 — водяной экономайзер; 11 — воздухоподогреватель; 12 — дутьевой вентилятор; 13 — нижние коллекторы экранов; 14 — шлаковый комод; 15 — холодная коронка; 16 — горелки. На схеме не показаны золоуловитель и дымосос.
- Таким образом, коэффициент η_{2-3} полезного действия при $\eta_{2-3} = (U_3 - \Delta U_{2-3}) / U_3$ определяется как
- (2.4)
- Исторически сохранилось измерение тепла и тепловой энергии в калориях и джоулях. Для проведения эквивалентных пересчетов используются следующие нормативные соотношения:

- **1 калория = 4,184 джоуля = 4,184 ватт секунды**

- **Технология ω_{34}^1** – **теплопередача в топке котла**
- Материальными носителями технологии теплопередачи являются: факел (пламя), осуществляющий излучение (радиацию) тепловой энергии и масса металла парообразующих труб, расположенных по боковым стенкам топки и воспринимающим лучистую теплоту.
- Класс $k=1$ соответствует преобразованию $W_3 \Rightarrow W_4$; при котором W_3 – тепловая энергия факела, состоящего из горячих продуктов сгорания и мельчайших частичек сажи и золы, W_4 – тепловая энергия массы металла m_M парообразующих труб топки.
- Количество энергии, полученное массой m_M , определяется удельной теплоемкостью c_T парообразующей системы и изменением её температуры Δt :
- $W_4 = c_T m_M \Delta t$ (2.5)
- Передача теплоты в топке осуществляется излучением (радиацией). Телом, излучающим теплоту, является факел (пламя), а телом, воспринимающим лучистую теплоту, – парообразующие трубы, расположенные по боковым стенкам топки (Рис. 2.4). коэффициент η_{3-4} полезного действия процесса передается как
- $\eta_{3-4} = (W_4 - \Delta W_{3-4}) / W_4$ (2.6)

- **Технология ω_{45}^1 – передача энергии при нагреве воды и пара**
- *Материальным носителем технологии* являются: масса металла парообразующих труб и перегретый пар высокого давления.
- Класс $k=1$ соответствует преобразованию $W_4 \Rightarrow W_5$; при котором W_4 – тепловая энергия массы металла парообразующих труб топки., W_5 - потенциальная энергия давления перегретого пара
- Таким образом, за счет высокой температуры в котле происходит нагрев и испарение воды в теплообменных трубах, а затем перегрев образовавшегося пара; при этом *тепловая энергия W_4 котельных газов преобразуется в потенциальную механическую энергию W_5 сжатого пара.*
- Количество энергии, полученное массой пара m_p , находящегося в котле объемом V под давлением P_5 определяется по соотношению:
- $W_\varepsilon = P_\varepsilon V$ (2.7)
- $T\eta_{4-5} = (W_5 - \Delta W_{4-5}) / W_5 \eta_{4-5}$ полезного действия процесса Нагрева воды и пара определяется как
- (2.8)

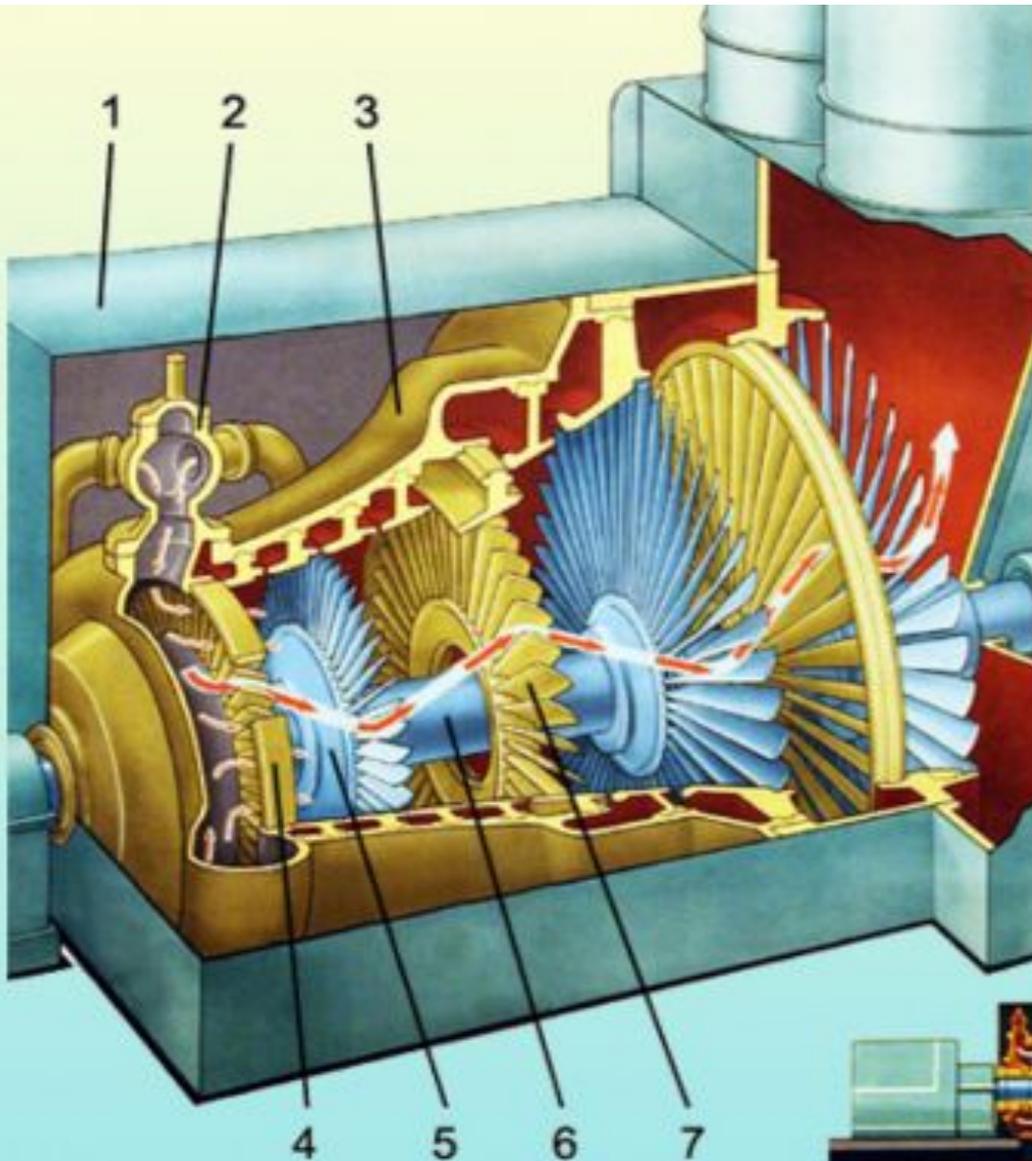
- *Давление и механическое напряжение* (возникающее в теле под воздействием приложенных к нему сил) в системе СИ измеряются в *паскалях* ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Паскаль — это очень малая величина, поэтому используют кратные величины: *килопаскаль* (кПа) и *мегапаскаль* (МПа). Иногда используют бары: **1 бар = 10^5 Па = 100 кПа** что примерно соответствует атмосферному давлению. Эксплуатационный персонал ТЭС обычно пользуется *техническими атмосферами* (ат): **1 ат = $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па} = 98 \text{ кПа} = 0,098 \text{ МПа}$**

- **Технология ω_{56}^1 – преобразование потенциальной энергии перегретого пара в кинетическую энергию движущегося пара**
- Материальным носителем технологии является пар, перегретый и остывающий.
- Класс $k=1$ соответствует преобразованию $W_5 \Rightarrow W_6$; при котором U_5 - потенциальная энергия давления перегретого пара, W_6 - кинетическая энергия пара, движущегося на выходе из сопла турбины
- В турбине пар расширяется, и *потенциальная механическая энергия* сжатого пара превращается в *кинетическую механическую энергию* движущегося пара.
- Давление движущегося пара на лопатки турбины приводит во вращение ротор турбины и электрогенератора и кинетическая механическая энергия движения пара преобразуется в кинетическую механическую энергию вращения ротора.
- В лопаточном аппарате паровой турбины потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь преобразуется в механическую работу — вращение вала турбины.
- Пар от парокотельного агрегата поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и воздействуя на них, приводит ротор во вращение.
- В процессе преобразования потенциальной энергии перегретого пара в кинетическую энергию движущегося пара перегретый пар обладает как потенциальной, так и кинетической энергией, т. е. *полной энергией системы*:

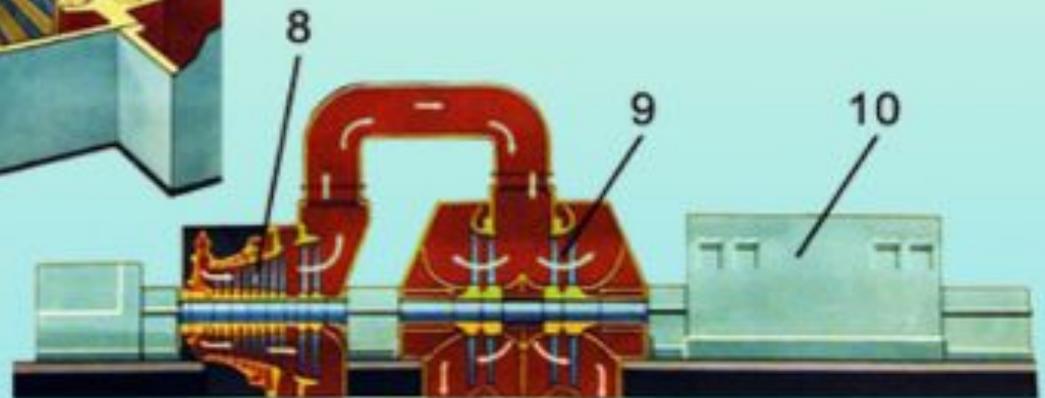
$$W_{5-6} = PV + \frac{mv^2}{2} \quad (2.9)$$

- Таким образом, коэффициент η_{56} полезного действия процесса преобразования потенциальной энергии перегретого пара в кинетическую энергию движущегося пара определяется, $\eta_{4-5} = (W_5 - \Delta W_{4-5}) / W_5$ (2.10)

Паровая турбина



1. Кожух
2. Парораспределительное устройство
3. Корпус турбины
4. Сопловый аппарат
5. Диск ротора
6. Вал турбины
7. Диск статора (направляющего аппарата)
8. Цилиндр высокого давления
9. Цилиндр низкого давления
10. Генератор



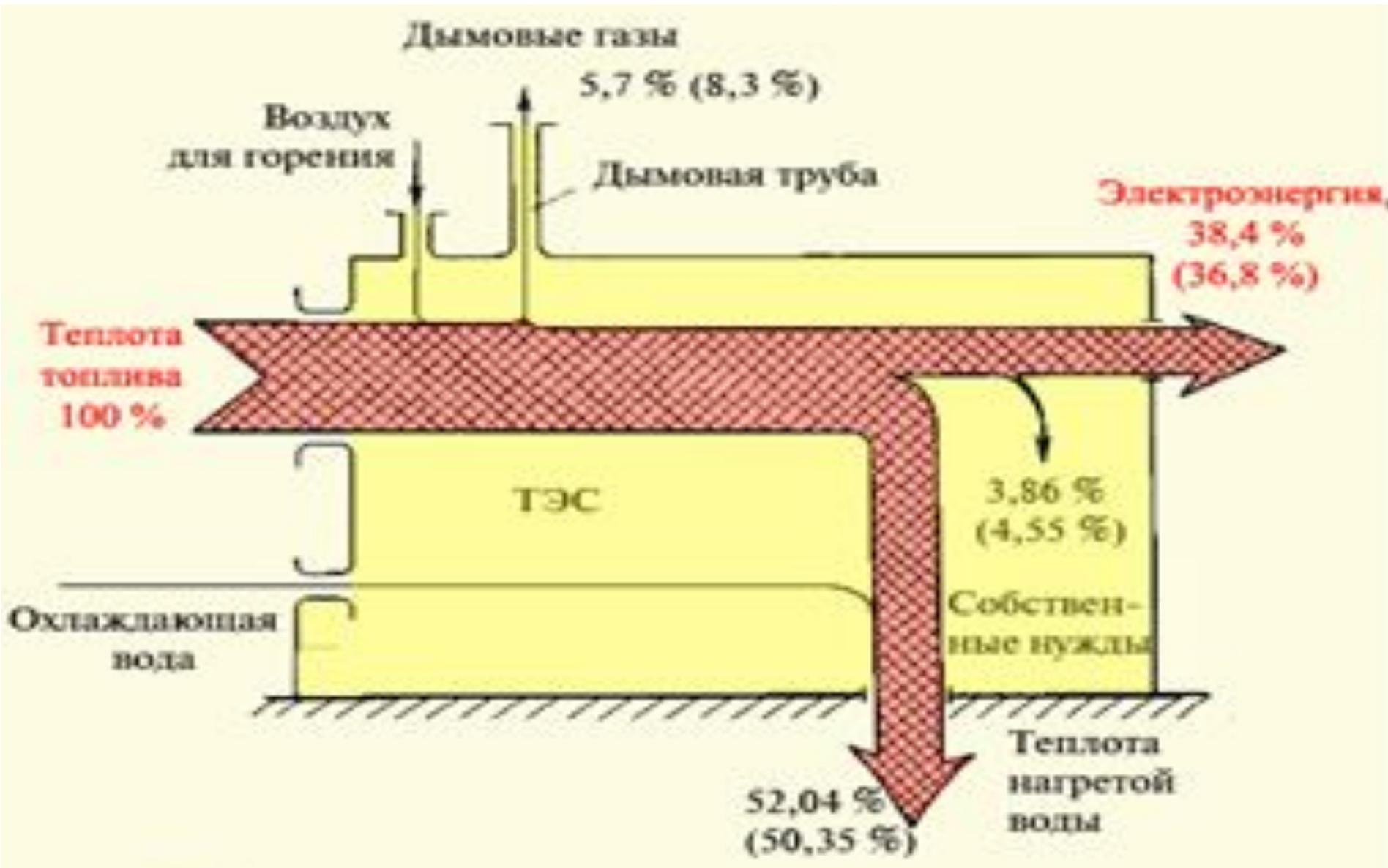
- **Технология ω_{67}^1 – преобразования кинетической механической энергии движения пара в кинетическую механическую энергию вращения вала турбины и ротора генератора электрической энергии**
- Материальными носителями технологии является движущийся пар и лопасти вращающейся турбины.
- Класс $k=1$ соответствует преобразованию $W_6 \Rightarrow W_7$; при котором W_6 - кинетическая механическая энергия движения пара, W_7 кинетическая механическая энергия вращения вала турбины и ротора генератора электрической энергии.
- Энергия Тела вращения рассматривается как совокупность точек массой m_k , которые вращаются вокруг некоторой оси. Каждая точка движется с угловой скоростью ω по окружности с радиусом r_k . Полная кинетическая энергия W_7 вращения тела равна сумме кинетической энергии его частиц:

$$W_7 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n m_k v_k^2 : \quad (2.11)$$

- где $v_k = \omega r_k$, скалярная физическая величина, мера инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой его инертности в поступательном движении. Характеризуется распределением масс в теле: момент инерции равен сумме произведений элементарных масс на квадрат их расстояний до базового множества (точки, прямой или плоскости).
- Единица измерения момента инерции в Международной системе единиц (СИ): [кг·м².]
- коэффициент η_7 полезного действия процесса преобразования кинетической механической энергии движения пара в кинетическую механическую энергию вращения вала турбины и ротора генератора электрической энергии определяется как

$$\eta_{6-7} = (W_6 - \Delta W_{6-7}) / W_6 \quad (2.12)$$

Коэффициент полезного действия ТЭС (тепловой баланс газомазутной (пылеугольной) ТЭС)



Соотношения между единицами энергии

Таблица 1.2 Единицы	Дж	кал	кВтч
1 Дж	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-6}$
1 кал	4,1868	1	$1,163 \cdot 10^{-6}$
1 кВт ч	$3,6 \cdot 10^6$	$0,86 \cdot 10^6$	1

Соотношения между единицами мощности

Таблица 1.3 Единицы	кВт	ккал/ч
1 кВт	1	860
1 ккал/ч	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1

Соотношения между единицами давления

Таблица 1.1 Единицы	Па	бар	ат	мм рт. ст.	атм
1 Па	1	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$0,987 \cdot 10^{-5}$
1 бар	10^5	1	1,02	750	0,987
1 ат	$9,81 \cdot 10^4$	0,981	1	736	0,968
1 мм рт. ст.	133,3	$1,33 \cdot 10^{-2}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1	$1,32 \cdot 10^{-3}$
1 атм	1,013	$1,013 \cdot 10^5$	1,033	760	1

СОВРЕМЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- **Основные сокращения**
- АЭС — атомная электрическая станция
- ГРЭС — государственная районная электрическая станция
- ГТУ — газотурбинная установка
- ГТЭС — газотурбинная электрическая станция
- КЭС — конденсационная электрическая станция
- ПГУ — парогазовая установка
- ПГЭС — парогазовая электрическая станция
- ТЭС — тепловая электрическая станция
- ТЭЦ — теплоэлектроцентраль

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СТАНЦИИ

- 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 (например, для приготовления пищи с помощью электроплит).
- Под *электроэнергетикой* обычно понимают подсистему энергетики, охватывающую производство электроэнергии на электростанциях и ее доставку потребителям по линиям

ТИПЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

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

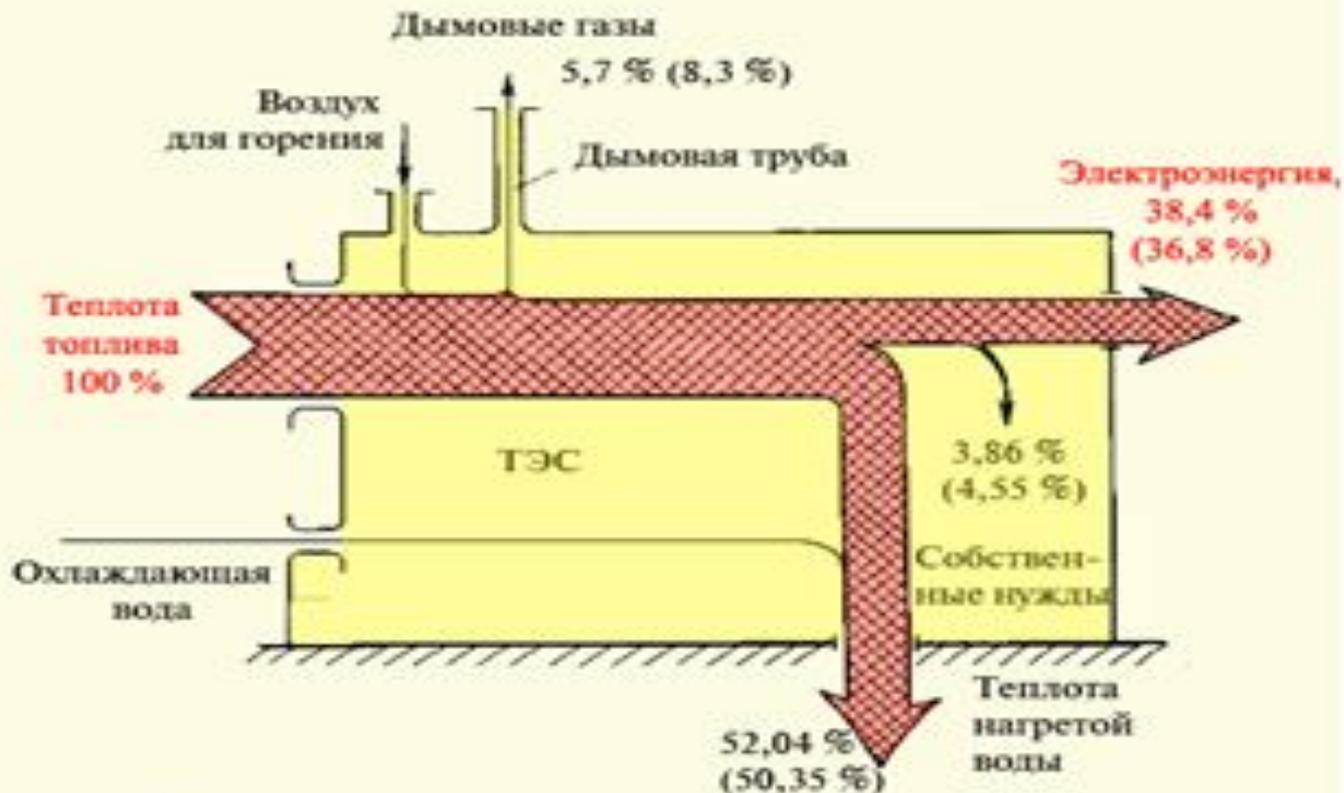
Тепловые электростанции характеризуются большим разнообразием и их можно классифицировать по различным признакам.

- 1. По назначению и виду отпускаемой энергии электростанции разделяются на районные и промышленные
- 2. По виду используемого топлива тепловые электростанции разделяются на электростанции, работающие на органическом топливе и ядерном горючем.
- 3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции.
- 4. По технологической схеме паропроводов ТЭС делятся на блочные ТЭС и на ТЭС с поперечными связями.
- 5. По уровню начального давления различают ТЭС

- **1.1 Районные электростанции** — это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т. д.). Районные конденсационные электростанции (КЭС), 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.
- **1.2 Промышленные электростанции** — это электростанции, обслуживающие тепловой и электрической энергией конкретные производственные предприятия или их комплекс. Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают. Их мощность определяется потребностями промышленных предприятий в тепловой и электрической энергии. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы.

СХЕМА КОНДЕНСАЦИОННОЙ ТЭС, РАБОТАЮЩЕЙ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ

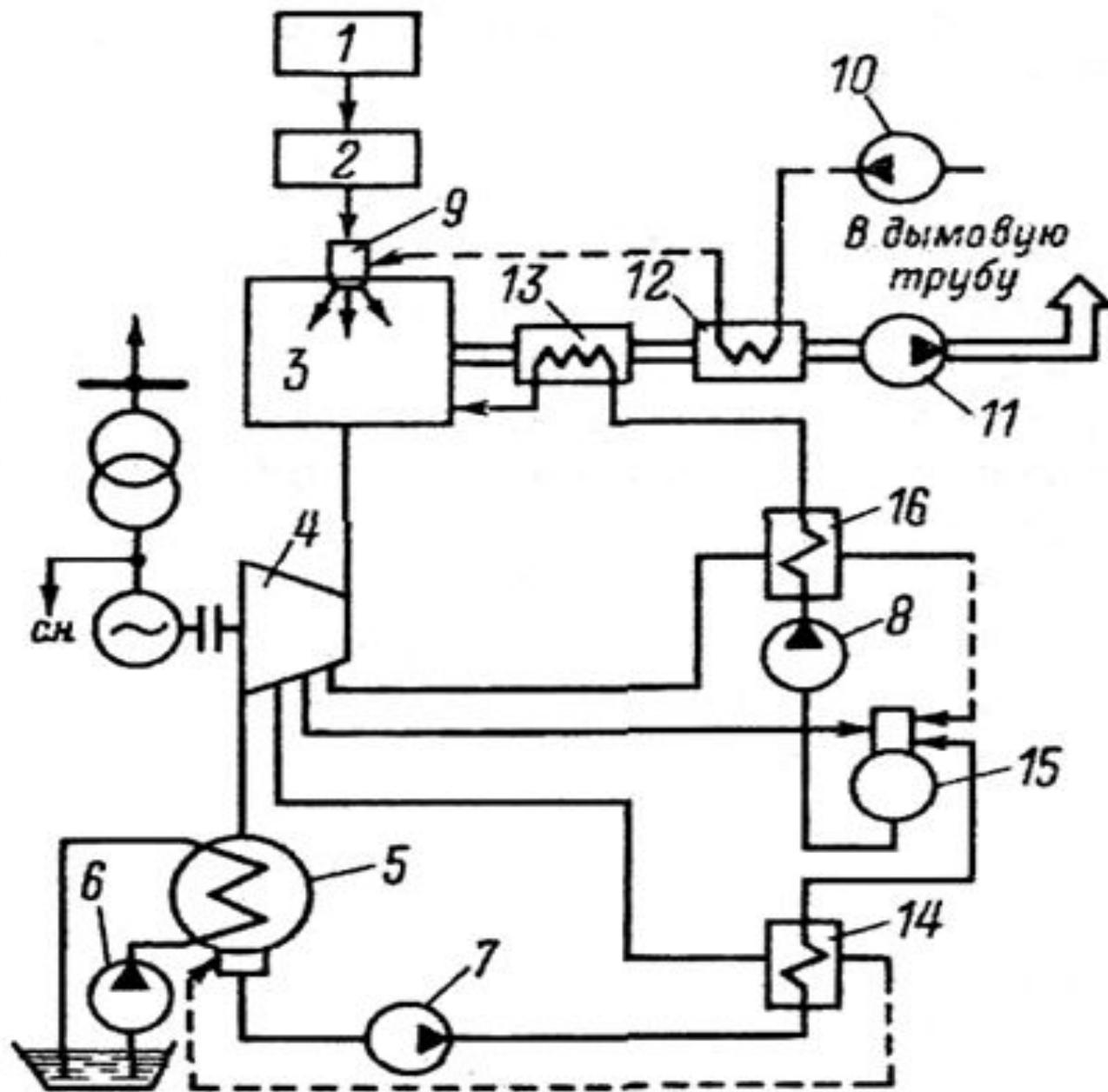
ТЭС — это огромное промышленное предприятие по производству электроэнергии. Основным «сырьем» для работы ТЭС является органическое топливо, содержащее запас химической энергии, измеряемый *теплотой*



Тепловой баланс газомазутной и пылеугольной (цифры в скобках) ТЭС

Технологические процессы производства электроэнергии на тепловых электростанциях

- **Процесс сжигания топлива, обеспечивающий**
- подготовку;
- горение
- удаление отходов
- **Цикл вода-пар – вода**
- **Преобразование полезной энергии**
- электрическая энергия
- тепловая энергия
- **Охлаждение неиспользованной энергии**



- 1 — склад топлива и система топливоподдачи;
- 2 — система топливоприготовления;
- 3 — котел; 4 — турбина;
- 5 — конденсатор; 6 — циркуляционный насос;
- 7 — конденсатный насос;
- 8 — питательный насос;
- 9 - горелки котла;
- 10 — вентилятор;
- 11 - дымосос;
- 12 - воздухоподогреватель;
- 13 — водяной экономайзер;
- 14 — подогреватель низкого давления;
- 15 — деаэратор;
- 16 — подогреватель высокого давления

ПОЯСНЕНИЕ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ КЭС

- В котёл с помощью питательного насоса подводится питательная вода под большим давлением, топливо и атмосферный воздух для горения. В топке котла идёт 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, передающейся питательной воде, которая нагревается до температуры кипения и испаряется. Получаемый пар в этом же котле перегревается сверх температуры кипения, примерно до 540 С с давлением 13–24 МПа и по одному или нескольким трубопроводам подаётся в паровую турбину.
- Паровая турбина, электрогенератор и возбуждатель составляют в целом турбоагрегат. В паровой турбине пар расширяется до очень низкого давления (примерно в 20 раз меньше атмосферного), и потенциальная энергия сжатого и нагретого до высокой температуры пара превращается в кинетическую энергию вращения ротора турбины. Турбина приводит в движение 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 возбуждателя.
- Конденсатор служит для конденсации пара, поступающего из турбины, и создания глубокого разрежения, благодаря которому и происходит расширение пара в турбине. Он создаёт вакуум на выходе из турбины, поэтому пар, поступив в турбину с высоким давлением, движется к конденсатору и расширяется, что обеспечивает превращение его потенциальной энергии в механическую работу.

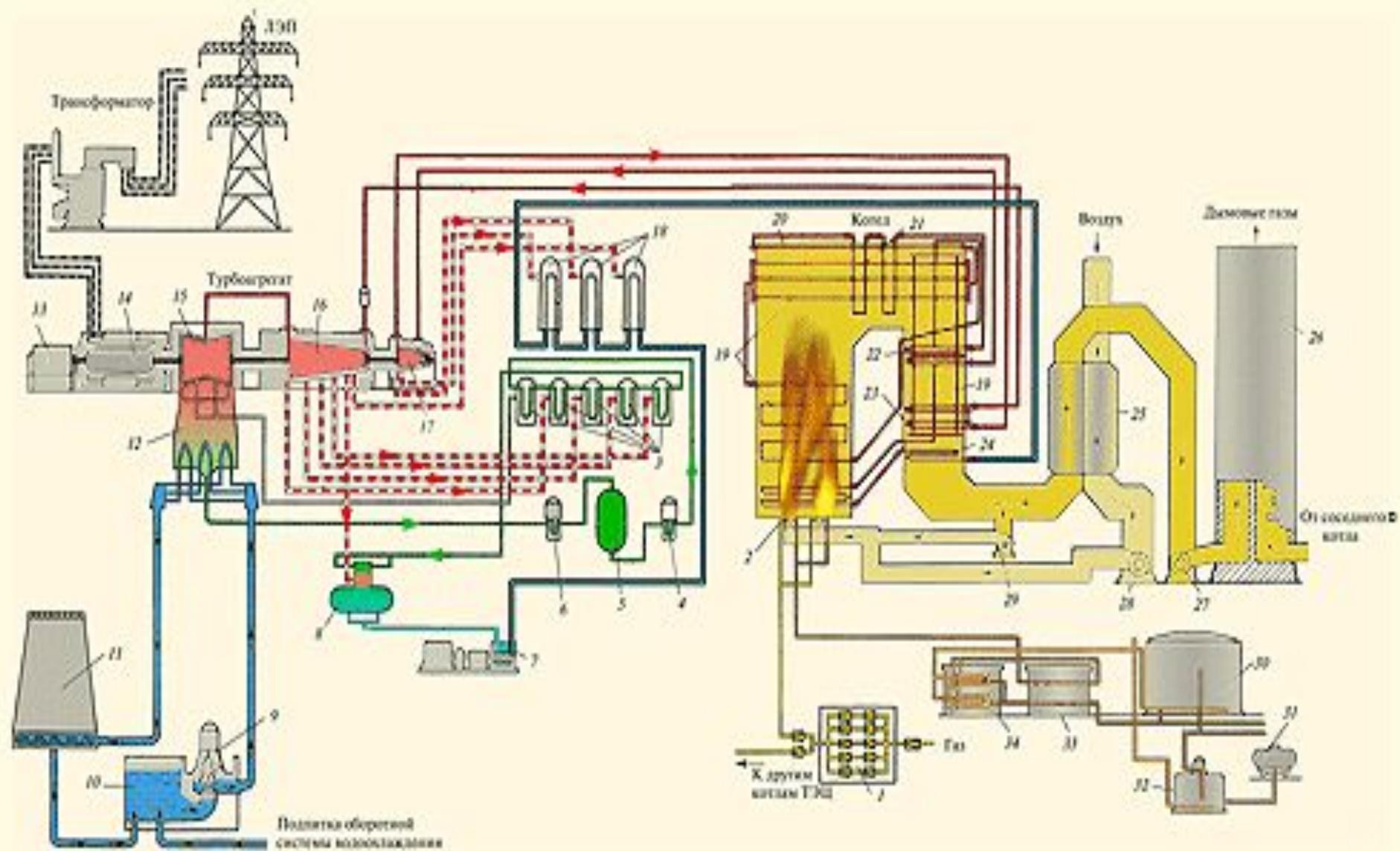


СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕАЛИЗУЮТСЯ НА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- В процессе горения происходит химическое преобразование внутренней энергии в тепловую энергию
- В котле тепловой электростанции преобразуется внутренняя энергия рабочего тела (вода - пар) потенциальная энергия
- В паровой турбине кинетическая энергия пара преобразуется в механическую энергию вала генератора электроэнергии
- В процессе охлаждения осуществляется обмен тепловой энергией

- **Физические величины, используемые в практике производства и потребления электрической и тепловой энергии**
- Единицей измерения длины в системе СИ является *метр*. Очень малые линейные величины измеряют в *микрометрах* (микронах): $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$
- Для измерения массы и в системе СИ, и на практике, чаще всего используют *килограмм* и кратные ему величины: грамм и тонну
- Единицей времени в системе СИ является *секунда*. В часах обычно измеряется наработка турбины и ресурсы различного типа. Днями или *сутками* измеряются продолжительность ремонтов. ($1 \text{ год} = 8760 \text{ ч.}$)
- *Температура* в системе СИ измеряется в Кельвинах (К) (но не в градусах Кельвина!). Численно $1 \text{ }^\circ\text{C} = 1 \text{ К}$, а температуры в Кельвинах T и градусах Цельсия t связаны соотношением: $T = t + 273,15$

-

- **Физические величины (продолжение 1)**
- *Скорость* среды (пара, воды) и линейная скорость перемещения деталей турбины измеряется в м/с, но никогда в км/ч.
- *Частота вращения* измеряется числом оборотов в секунду или минуту. Поскольку частота сети в нашей стране равна 50 Гц, то частота вращения турбоагрегатов, включенных в электрическую сеть составляет 50 или 25 об/с (соответственно 3000 и 1500 об/мин)
- *Сила* и вес тел в системе СИ измеряется в *ньютон*ах (Н). Однако на практике часто пользуются внесистемной единицей — *килограмм-силой* (кгс). (1 кгс = 9,8 Н » 10 Н).
- *Давление* и *механическое напряжение* (возникающее в теле под воздействием приложенных к нему сил) в системе СИ измеряются в *паскалях* (1 Па = 1 Н/м²). Паскаль — это очень малая величина, поэтому используют кратные величины: *килопаскаль* (кПа) и *мегапаскаль* (МПа). Иногда используют бары: **1 бар = 10⁵ Па = 100 кПа** что примерно соответствует атмосферному давлению. Эксплуатационный персонал ТЭС обычно пользуется *техническими атмосферами* (ат): **1 ат = 1 кгс/см² = 9,8 · 10⁴ Па = 98 кПа = 0,098 МПа**

- **Физические величины (продолжение 2)**
- **Оборудование тепловых электростанций работает при давлении p меньшем, чем атмосферное давление B . Их разность $H = B - p$ называется *разрежением*.**
- **Отношение $V = (H/B) 100\%$ называется *вакуумом*, и этот термин чаще всего используется на ТЭС, когда речь идет о разрежении. Если вакуум в конденсаторе составляет 95 %, а атмосферное давление 100 кПа, то значит, разрежение в конденсаторе составляет 95 кПа, а давление — 5 кПа.**
- **Электрическая и тепловая энергия в системе СИ измеряется в *джоулях* (Дж), а мощность — в *ваттах* (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$.**
- ***Электрическую мощность* турбоагрегатов и электростанций обычно представляют в *мегаваттах* ($1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$) или миллионах киловатт ($1 \text{ МВт} = 10^3 \text{ кВт}$). Реже, когда речь идет о мощности энергосистем, используют *гигаватты* ($1 \text{ ГВт} = 10^3 \text{ МВт}$).**
- ***Электрическую энергию в практике теплоэнергетики обычно измеряют в киловатт-часах* (кВт·ч). $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600 \text{ кДж}$**
- **Мощность на электростанциях никогда не измеряют в лошадиных силах.**
- **Количество *тепловой энергии* измеряется либо в джоулях, либо в *калориях* (кал): $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$. Чаще используются величины, кратные калории — *килокалория* (ккал), *мегакалория* (Мкал) и, особенно, *гигакалория* (Гкал):**
- **$1 \text{ Гкал} = 10^3 \text{ Мкал} = 10^6 \text{ кал}$**
- ***Тепловая мощность (теплопроизводительность)* обычно измеряется в *Гкал/ч*, но иногда и в менее привычных единицах — мегаваттах. ($1 \text{ Гкал/ч} = 1,16 \text{ МВт}$.)**

Соотношения между единицами давления

Таблица 1.1 Единицы	Па	бар	ат	мм рт. ст.	атм
1 Па	1	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$0,987 \cdot 10^{-5}$
1 бар	10^2	1	1,02	750	0,987
1 ат	$9,81 \cdot 10^4$	0,981	1	736	0,968
1 мм рт. ст.	133,3	$1,33 \cdot 10^{-2}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1	$1,32 \cdot 10^{-3}$
1 атм	1,013	$1,013 \cdot 10^5$	1,033	760	1

Соотношения между единицами энергии

Таблица 1.2 Единицы	Дж	кал	кВтч
1 Дж	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-6}$
1 кал	4,1868	1	$1,163 \cdot 10^{-6}$
1 кВт ч	$3,6 \cdot 10^6$	$0,86 \cdot 10^6$	1

Соотношения между единицами мощности

Таблица 1.3 Единицы	кВт	ккал/ч
1 кВт	1	860
1 ккал/ч	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1

Производные единицы, имеющие специальные наименования и обозначения

Величина	Единица, Обозначение			Выражение через основные единицы
	русское наименование	русское	международное	
Удельная теплота сгорания q	Удельная теплота сгорания	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг
Количество теплоты Q	(калория) джоуль	Дж	Дж	1 калория = 4,184 Джоуля
Удельная теплоемкость c	Удельная теплоемкость	кДж/кг·°С	кДж/кг·°С	кДж/кг·°С
Температура Цельсия t_{C}	градус Цельсия	°С	°С	К
Частота	герц	Гц	Гц	с ⁻¹
Сила	ньютон	Н	Н	кг·м·с ⁻²
Энергия	джоуль	Дж	Дж	Н·м = кг·м ² ·с ⁻²
Мощность	ватт	Вт	Вт	Дж/с = кг·м ² ·с ⁻³
Давление	паскаль	Па	Па	Н/м ² = кг·м ⁻¹ ·с ⁻²

$$Q = cm \Delta t$$

$$Q = q m$$

1 килокалория = 4184,00 Джоуля = 4184,0 ватт-секунды

1 килокалория равна количеству тепла, которое необходимо для нагревания 1 килограмма воды на один кельвин при стандартном атмосферном давлении

Килокалория – наиболее популярная единица измерения энергетической ценности вещества. Как показала практика, именно в килокалориях гораздо проще и удобнее

- **Пример**
- **На сколько градусов изменится температура воды, масса которой 22 кг, если ей передать всю энергию, выделившуюся при сгорании керосина, масса которого равна 10 г?**

- $c=4200 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$
- $q= 46 * 10^6 \text{ Дж /кг}$