

# Электрические станции и подстанции

Направление подготовки бакалавров  
13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника»  
2017 г.

# Лекция № 2

## Основные типы электрических станций

# Основные понятия и определения

**Электроустановка** - совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования вместе с помещениями и сооружениями, предназначенные для производства, преобразования, трансформации, передачи и распределения электроэнергии.

**Электрический приемник** - аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии (механическую, световую, тепловую).

**Потребитель** - электрический приемник или группа электрических приемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на общей территории.

**Электростанция** - электроустановка, предназначенная для производства электрической энергии или одновременно электрической и тепловой энергии.

**Электрическая подстанция** - электроустановка, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения (частоты) в электрическую энергию другого напряжения (частоты).

**Линия электропередачи (ЛЭП)** - система проводов или кабелей для передачи электрической энергии от источника к потребителю.

**Электрическая сеть** - совокупность ЛЭП и подстанций.

**Энергосистема** - совокупность электрических станций, электрических и тепловых сетей и потребителей электроэнергии и тепла.

**Электроэнергетическая система** (электрическая система) - часть энергосистемы за исключением тепловых сетей и потребителей.

В России для производства и распределения электроэнергии принят **переменный трехфазный ток частотой 50 Гц.**

*Постоянный ток применяется:*

- в химической промышленности, цветной металлургии (от преобразовательных подстанций с выпрямительными агрегатами);
- для передачи электрической энергии на большие расстояния.

Все электроустановки делят на 2 **категории:**

- до 1 кВ (низковольтные);
- выше 1 кВ (высоковольтные).

## В России приняты стандартные **междуфазные напряжения**

| Номинальное напряжение, кВ       |                 |                      |                      |
|----------------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| Сетей и<br>электроприемни<br>ков | Генератор<br>ов | Трансформаторов      |                      |
|                                  |                 | Первичной<br>обмотки | Вторичной<br>обмотки |
| 1                                | 2               | 3                    | 3                    |
| 0,38                             | 0,4             | 0,38                 | 0,4                  |
| 0,66                             | 0,69            | 0,66                 | 0,69                 |
| 6                                | 6,3             | 6 или 6,3            | 6,3                  |
| 10                               | 10,5            | 10 или 10,5          | 10,5                 |
| 35                               | -               | 35                   | 38,5                 |
| 110                              | -               | 110                  | 121                  |
| 220                              | -               | 220                  | 242                  |
| 1                                | 2               | 3                    | 4                    |
| 330                              | -               | 330                  | 347                  |
| 500                              | -               | 500                  | 525                  |
| 750                              | -               | 750                  | 787                  |

# Графики нагрузки электроустановок

Графиком нагрузки называют диаграмму изменения нагрузки электроустановки во времени ( $T$ ).

По виду **параметра**, характеризующего нагрузку, различают графики:

- активной мощности  $P=f(T)$ ;
- реактивной мощности  $Q=f(T)$ ;
- полной мощности  $S=f(T)$ ;
- тока  $I=f(T)$ .



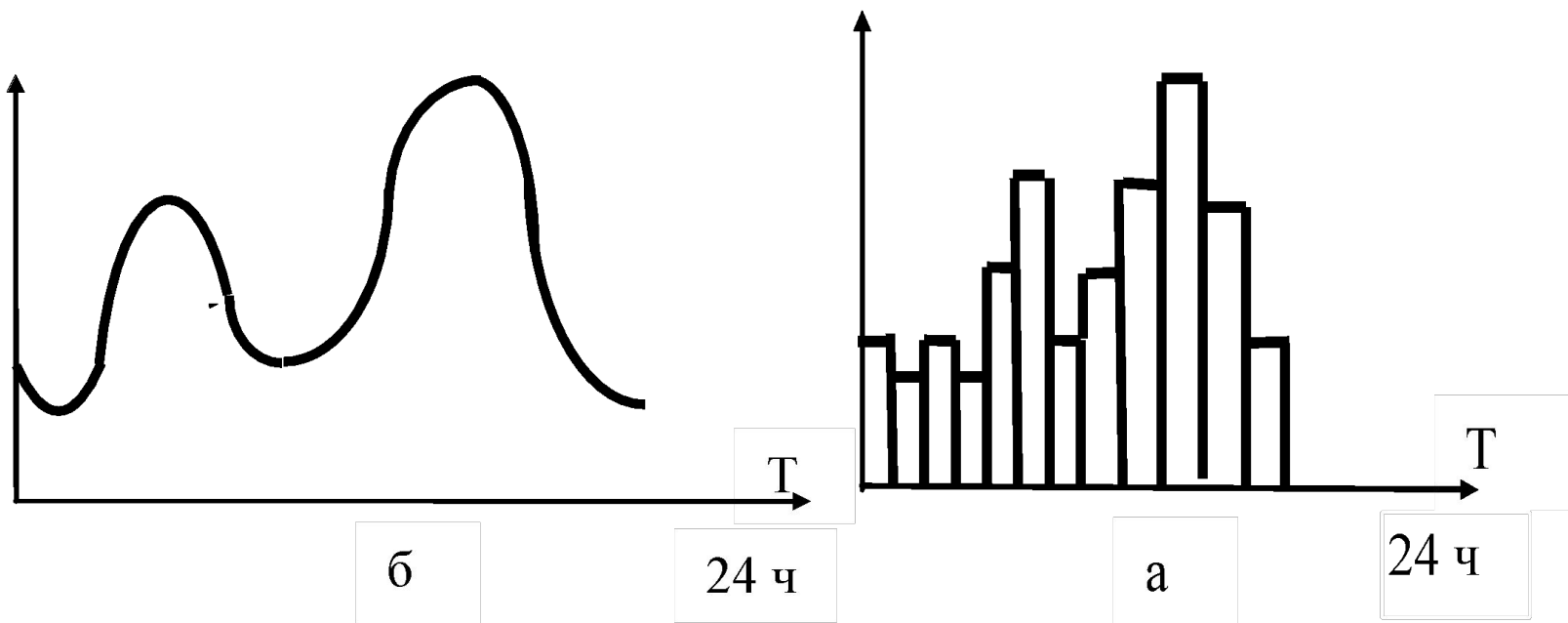
По **продолжительности** периода наблюдений:

- суточные ( $T=24\text{ч}$ );
- годовые ( $T=8760\text{ ч/год}$ ).

По **внешним** условиям:

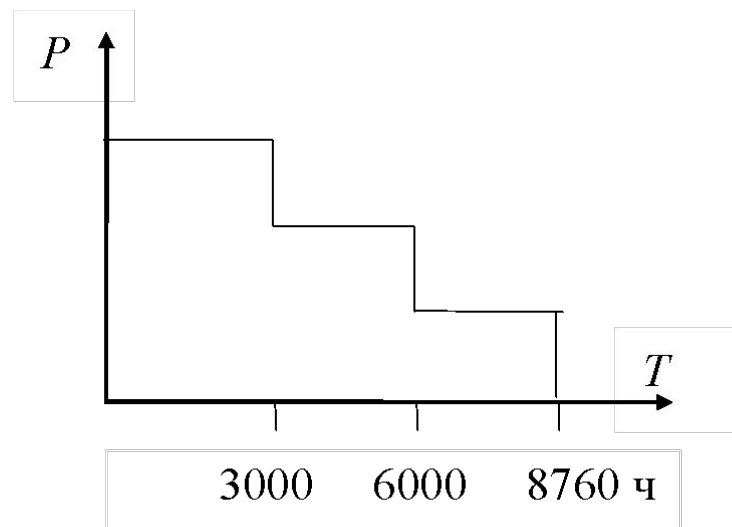
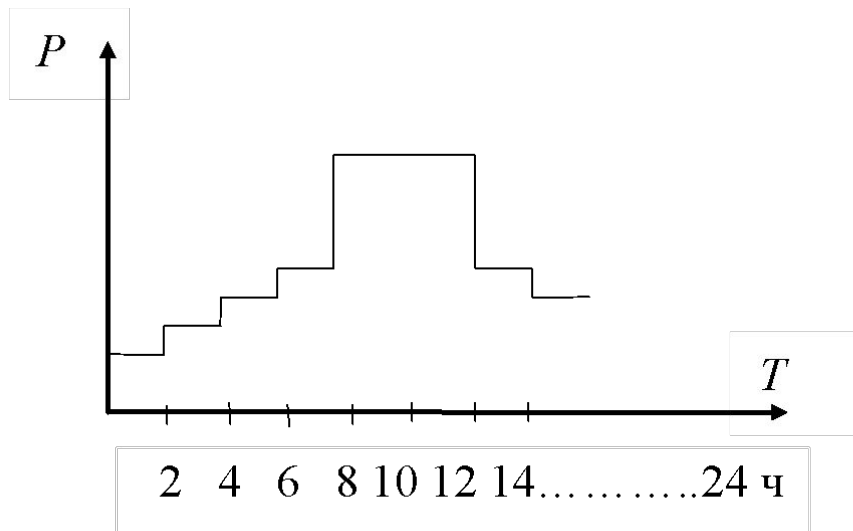
- зимние (за характерные сутки 22 декабря);
- летние (за характерные сутки 22 июня);
- графики рабочих дней;
  - графики выходных и праздничных дней.

По способу **построения** или по характеру регистрации параметра: ступенчатые (а);- плавные (б)



## По задачам использования:

- текущие (а): отражают изменение параметра в течении суток (года);
- по продолжительности (б): отражают длительность работы электроустановки в течение года с различными нагрузками;
- фактические, составляемые по данным регистрирующих приборов за определенный период времени;
- перспективные, составляемые при проектировании на основании данных о количестве и составе потребителей и их номинальной мощности.



По **иерархии** электроустановки в электроэнергетической системе:

- графики нагрузки потребителей (это могут быть графики нагрузки отдельных электроприемников или их групп, объединяемых центром питания от уровня шинных сборок 0,4 кВ цеховых подстанций до уровня сборных шин потребительских подстанций и даже по отрасли промышленности);
- сетевые графики на уровне сборных шин районных подстанций;
- графики нагрузки энергосистем, обслуживающих совокупность промышленных, городских и сельских потребителей целого региона;
- графики нагрузки электростанций.

# Параметры графиков нагрузки

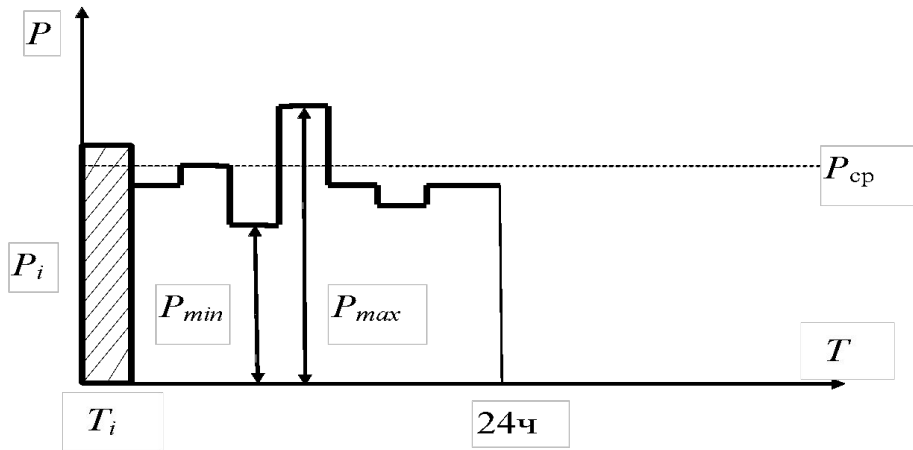
- **максимальное и минимальное** значение - наибольшая (наименьшая) нагрузка длительностью не менее получаса;
- **среднесуточное** (среднегодовое) значение:

$$P_{\text{срсут}} = \frac{W_{\text{сут(год)}}}{T} = \frac{\int_0^{24(8760)} P(t) dt}{T} = \frac{\sum P_i \cdot T_i}{\sum T_i}$$

где -  $W$  расход электроэнергии за сутки (год).

$P_i$  - мощность на  $i$  - ой ступени;

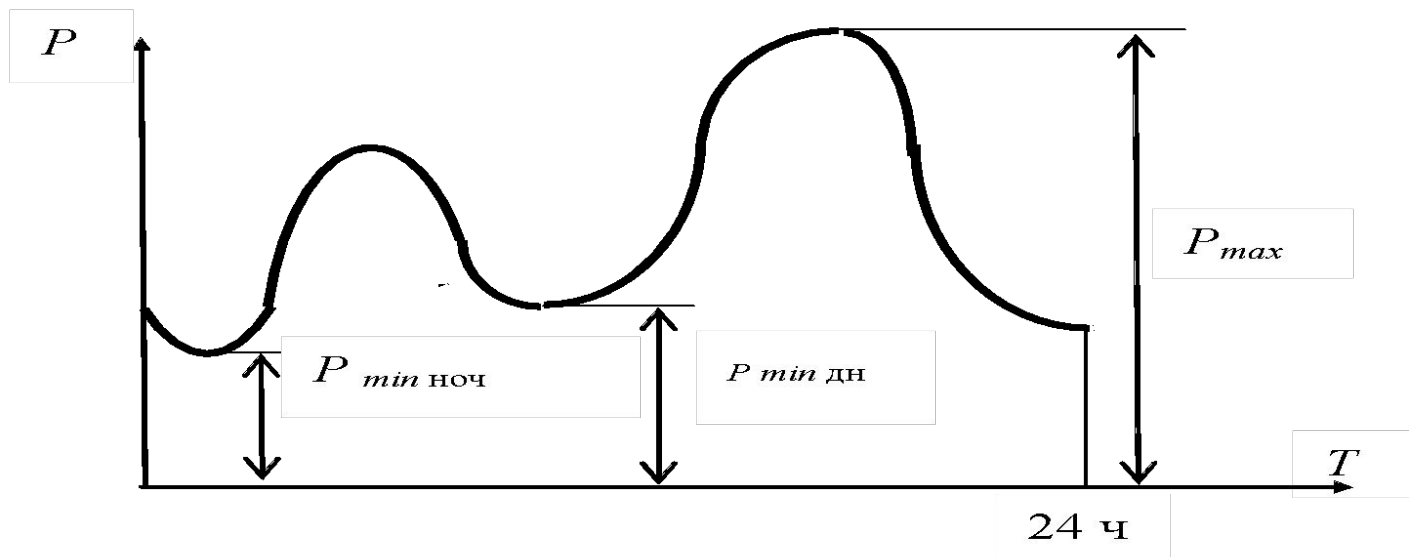
$T_i$  - продолжительность  $i$  - ой ступени графика.



На суточных графиках потребителей (рис. 1.3) выделяют **характерные зоны**:

$P < P_{min}$  - базовая;  $P_{min} \leq P \leq P_{ср}$  - полубазовая;

$P > P_{ср}$  - пиковая.



Для графиков нагрузки энергосистем используют другое деление на зоны:

$P < P_{min_{ноч}}$  - базисная;

$P_{min_{ноч}} < P < P_{min_{дн}}$  - полупиковая;

$P_{min_{дн}} < P < P_{max}$  - пиковая,

где  $P_{min_{ноч}}$  - ночной минимум нагрузки;

$P_{min_{дн}}$  - дневной минимум нагрузки.

Степень **неравномерности** графиков нагрузки можно характеризовать:

- коэффициентом нагрузки (или коэффициентом заполнения графика нагрузки)

$$k_n (k_{zn}) = \frac{W_{\text{сут(год)}}}{T \cdot P_{\text{max}}} = \frac{P_{\text{срсут(год)}}}{P_{\text{max}}}$$

- условной продолжительностью использования максимальной нагрузки

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{P_{\text{сргод}} \cdot T}{P_{\text{max}}} = k_n (k_{zn}) \cdot T$$

Коэффициент нагрузки показывает, какую часть составляет фактически выработанное (потребленное) количество энергии от максимально возможного  $T \cdot P_{\text{max}}$ .



# УЧАСТИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РАЗНЫХ ТИПОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тепловые электростанции (ТЭС) дают более 80% всей электроэнергии. К тепловым электростанциям относят:

1. Паротурбинные электростанции:
  - теплофикационные (ТЭЦ);
  - конденсационные (КЭС);
2. Газотурбинные установки (ГТУ);
3. Парогазовые установки (ПГУ).

КЭС снабжают потребителей электроэнергией, а ТЭЦ - электрической и тепловой энергией в виде горячей воды и (или) пара.

Атомные электростанции также являются тепловыми электростанциями, но в силу специфики производства их выделяют в отдельную группу.

Основными элементами **паротурбинной** электростанции являются:

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

# Паротурбинные конденсационные станции

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

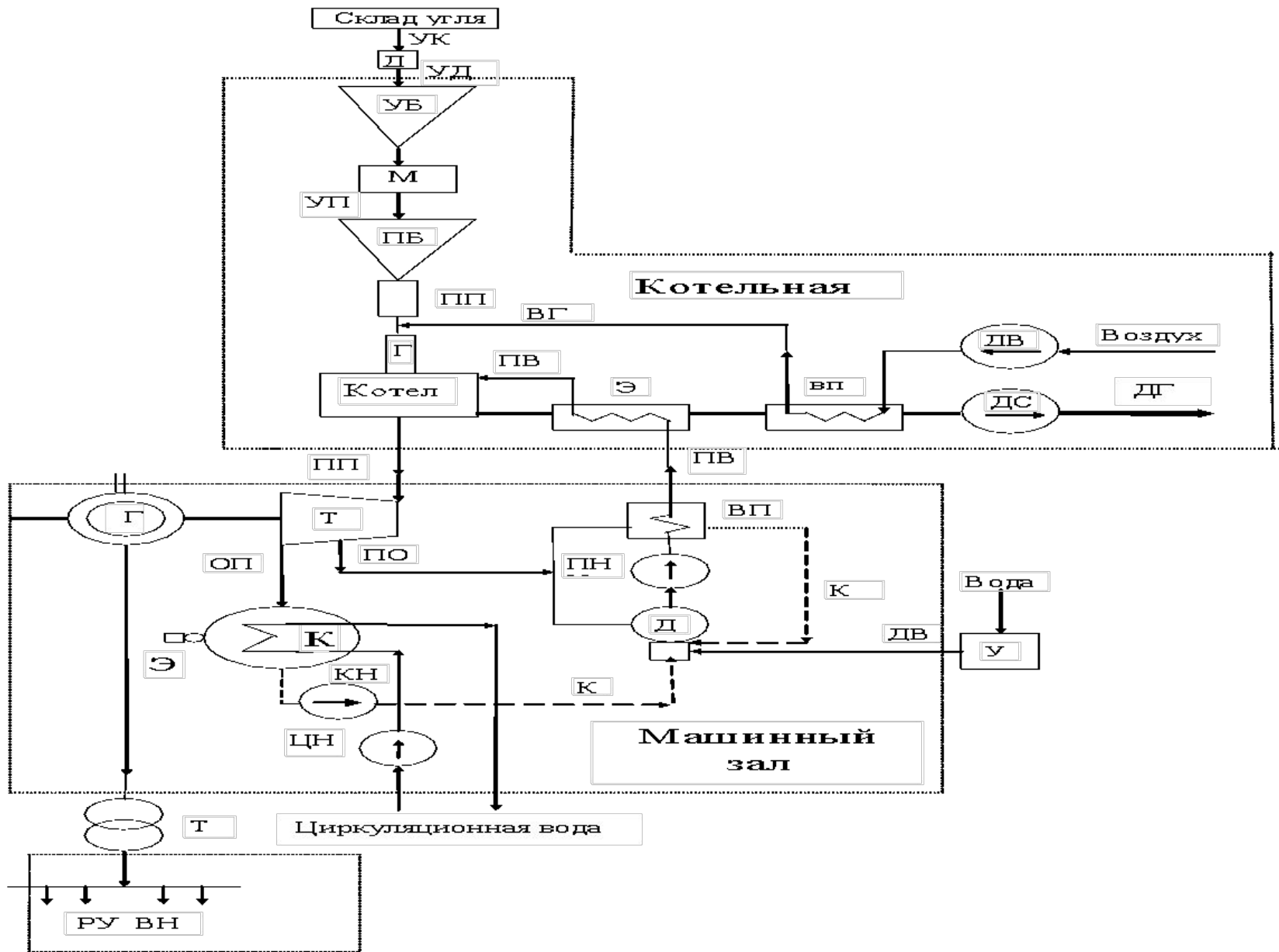
На долю КЭС приходится до 60% выработки электроэнергии. На станции может быть установлено до 12 агрегатов, которые, как правило, выполняются по **блочной** схеме (котел- турбогенератор- трансформатор) без поперечных связей.

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.



Общий КПД станций составляет 25 - 40%, поэтому они невыгодны на дальнепривозном сырье. 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 являются **основными** источниками электроэнергии, работающими в **базисном и полупиковом** режимах.

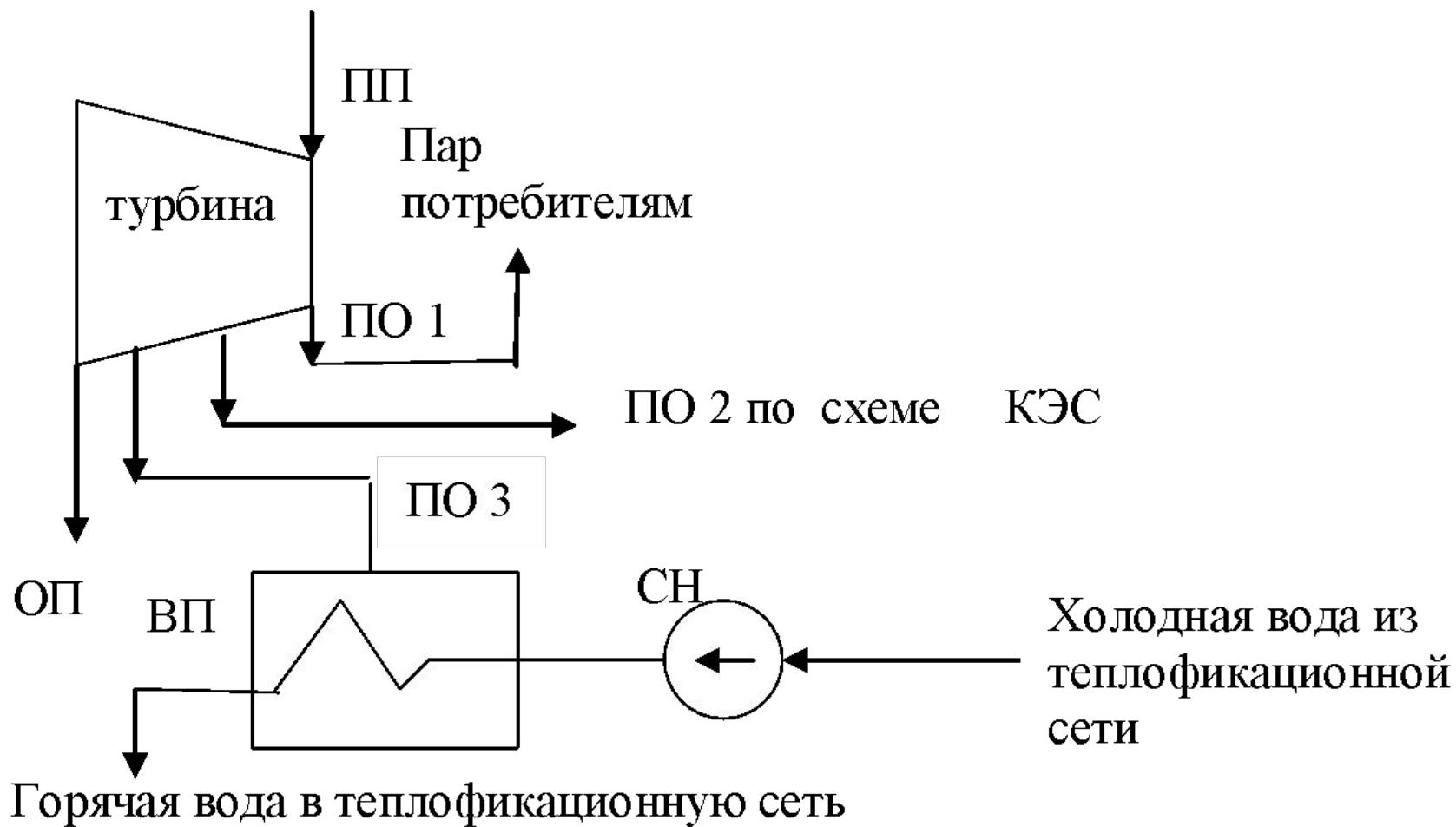
В состав энергоблоков входят трансформаторы Т, которые повышают генераторное напряжение (6, 10, 20 кВ) до 110 - 750 кВ. Отдельные энергоблоки связаны распределительным устройством высокого напряжения (РУ ВН), от которого отходят ЛЭП к потребителям. Для РУ ВН применяются достаточно сложные и дорогие схемы,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

# Паротурбинные теплофикационные электростанции (ТЭЦ)

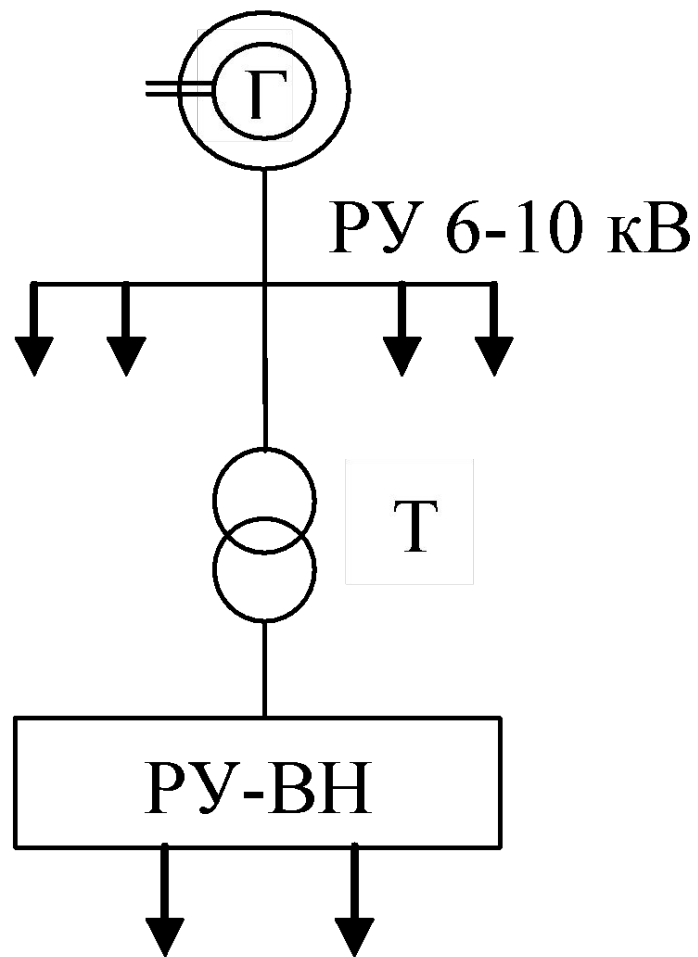
ТЭЦ оснащаются паротурбинными агрегатами средних и высоких параметров единичной мощностью до 250 МВт. В технологической части ТЭЦ выполняются как с поперечными связями, так и по блочной схеме.

ТЭЦ снабжают потребителей электроэнергией и паром, который отпускается непосредственно потребителям пара или в бойлерные на подогрев воды для потребителей. Тепло отбираемого пара считают полезно отпущенным, поэтому КПД теплофикационных электростанций достигает 60-70%. Наиболее экономичным является режим работы ТЭЦ по графику теплового потребления при минимальном пропуске пара в конденсаторы.



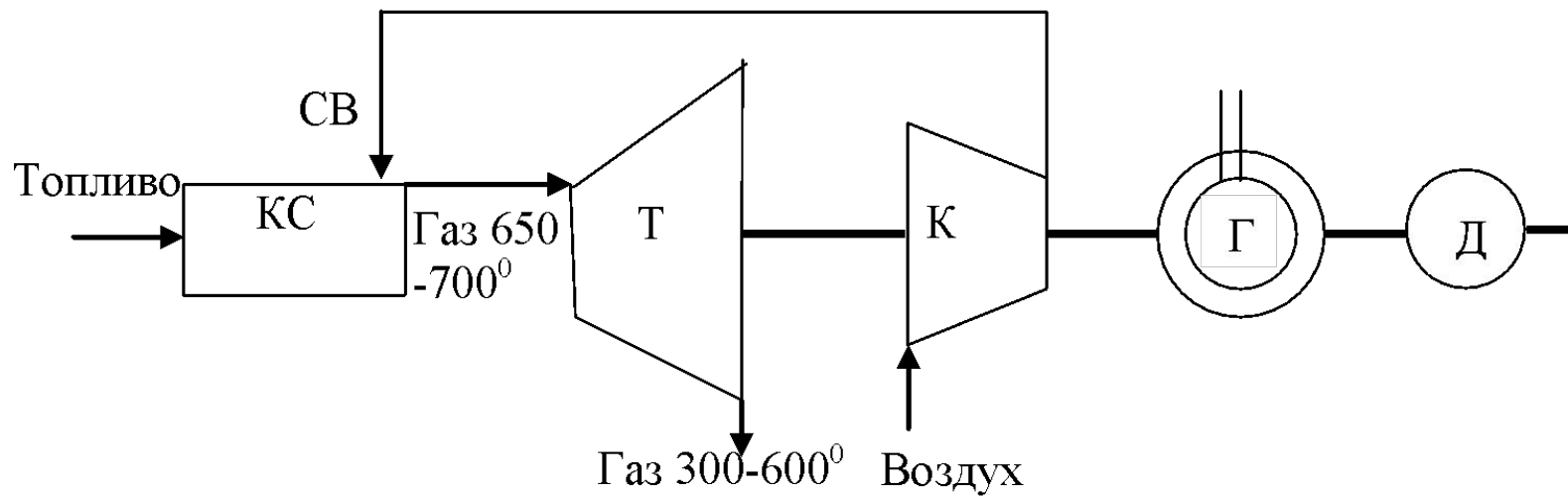


ТЭЦ стремятся приблизить к потребителям тепловой энергии на расстояние не более, чем 10 -20 км. Поэтому в **электрической части** ТЭЦ существенно отличается от КЭС. При небольших расстояниях до потребителей целесообразно электроэнергию распределять на генераторном напряжении 6-10 кВ. Через распределительное 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.



## Газотурбинные станции (ГТУ)

ГТУ оснащаются газотурбинными установками, работающими обычно на жидком топливе или газе единичной мощностью 50-100 МВт. Имеют блочную технологическую схему.



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.

# Атомные электростанции

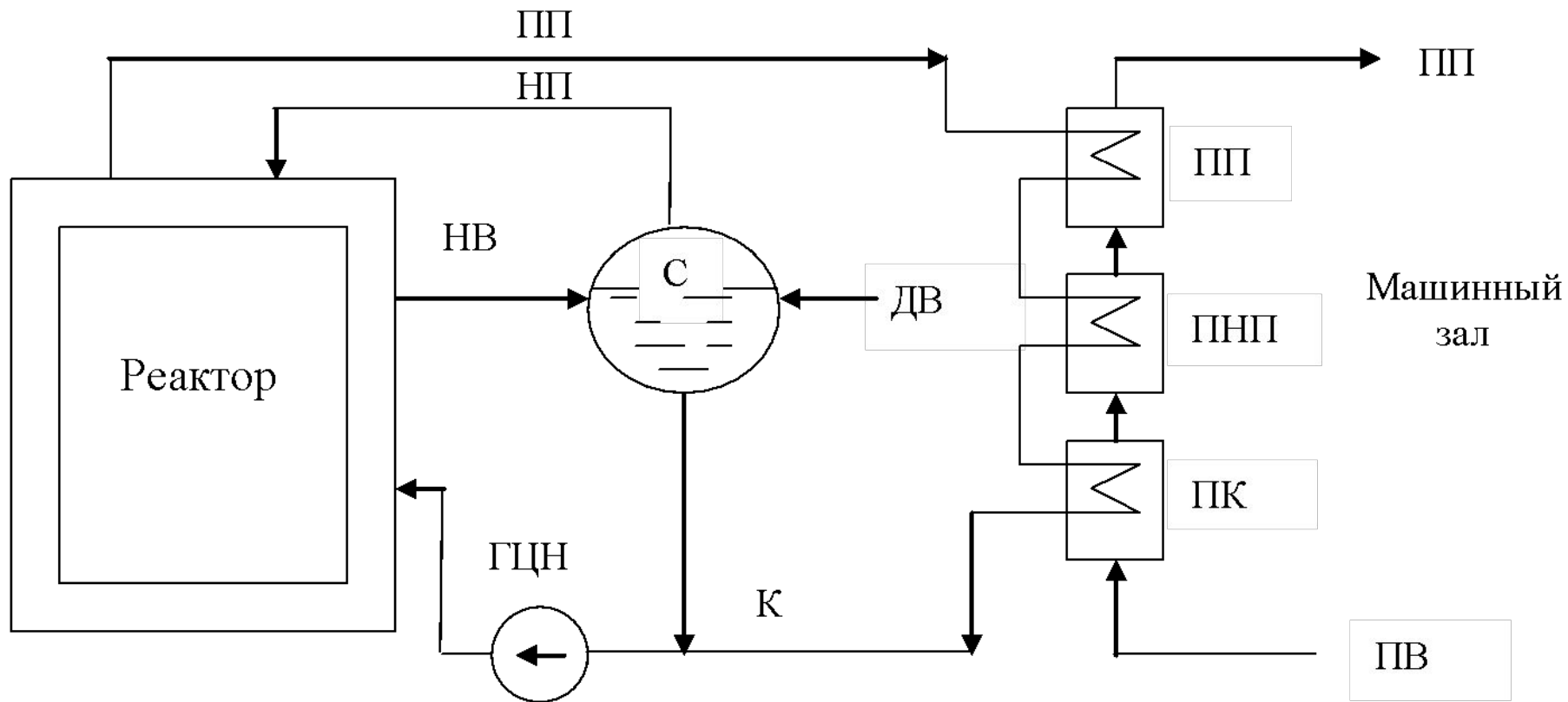
Атомные электростанции (АЭС) являются тепловыми паротурбинными станциями, использующими в качестве источника энергии процесс деления атомов урана U-235 под действием тепловых или быстрых нейтронов.

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. Выделяемое в реакторе тепло передается первичному теплоносителю, который с помощью насосов циркулирует через реактор. Так как реакторы являются источником опасных радиоактивных излучений, первичной теплоноситель не подают непосредственно в турбоагрегаты, а его энергия используется для получения пара (вторичного теплоносителя). Реактор и парогенератор располагают в отдельных изолированных помещениях.





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.

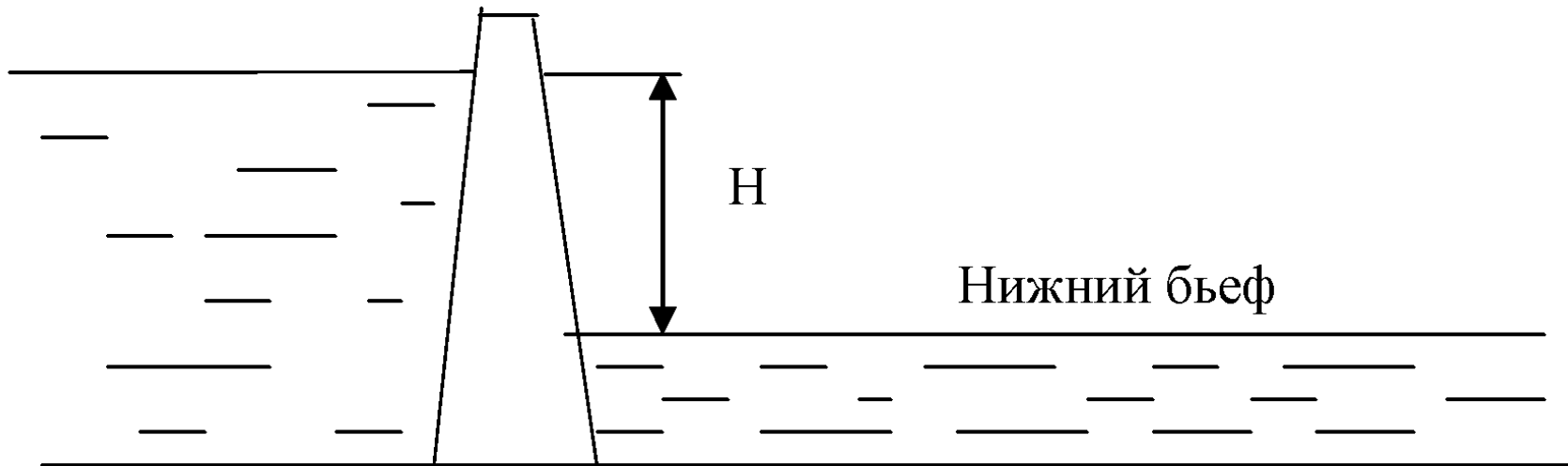
Преимуществами атомных электростанций являются:

- 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. Поэтому в электрической части атомные электростанции аналогичны КЭС.

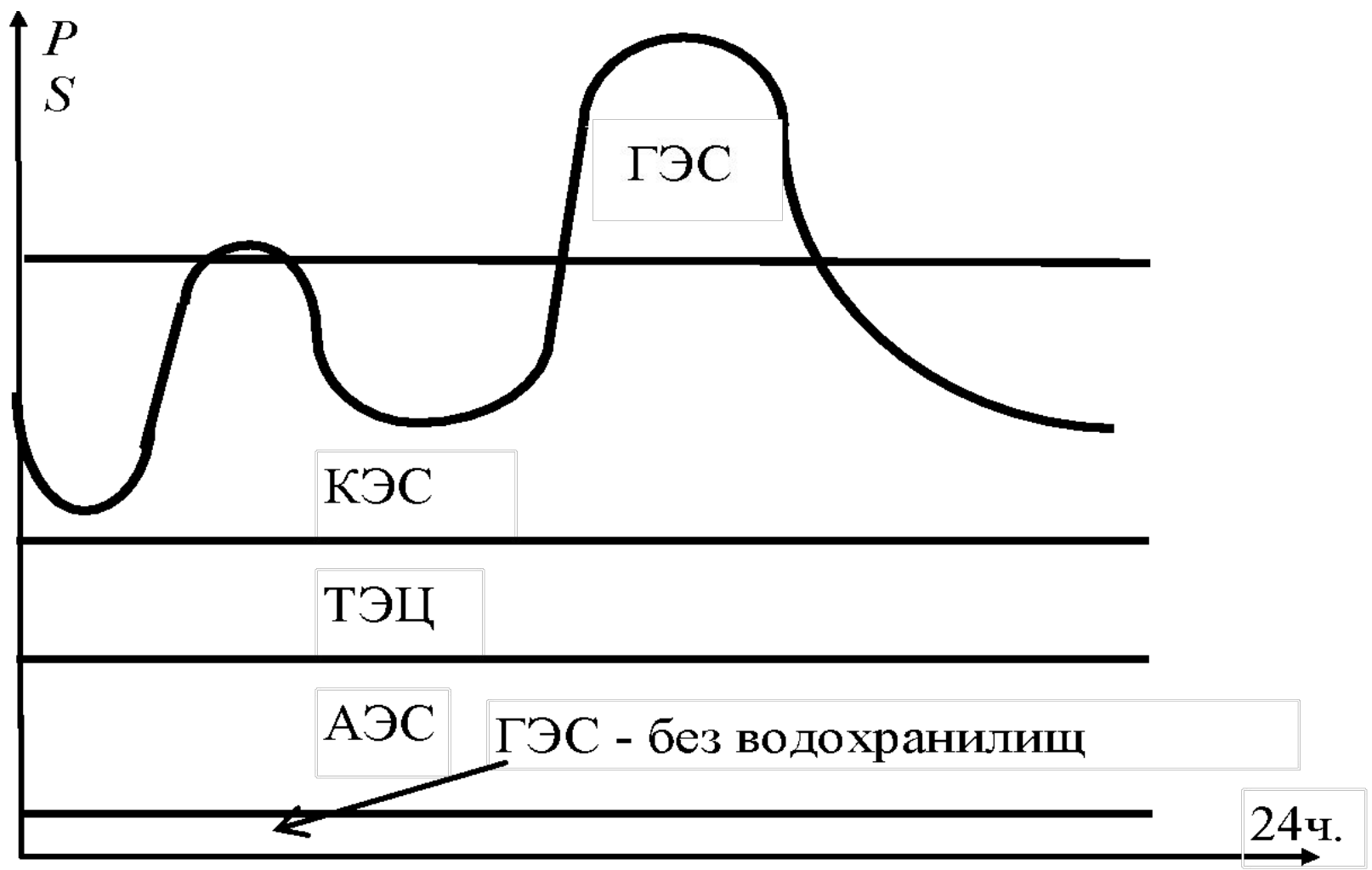
# Гидроэлектростанции

ГЭС используют энергию водных потоков (рек, водопадов) для выработки электроэнергии. ГЭС вырабатывают 15% от общего объема производства электроэнергии. Энергетический потенциал реки определяется ее уклоном и стоком - объемом воды, протекающий через створ за определенный отрезок времени.



Достоинствами гидроэлектростанций являются:

- низкая себестоимость электроэнергии (в 7-10 раз ниже, чем ТЭС), так как не требуется поставок и подготовки специального топлива, выработки теплоносителя и т.д.;
- небольшое потребление электроэнергии на собственные нужды (подготовку топлива, утилизацию тепла и т.д.);
- меньше численность персонала;
- меньше объем эксплуатационных и ремонтных работ;
- улучшение судоходства, орошения земель, водоснабжения городов за счет водохранилищ;
- возможность регулирования мощности в большом диапазоне и с минимальными затратами.





# Лекция № 2

## Основные типы электрических станций