

# Глава 1

## Электроэнергетическая система

§1 Основные понятия. термины и определения

§2 Электрические станции

§3 Электрические сети

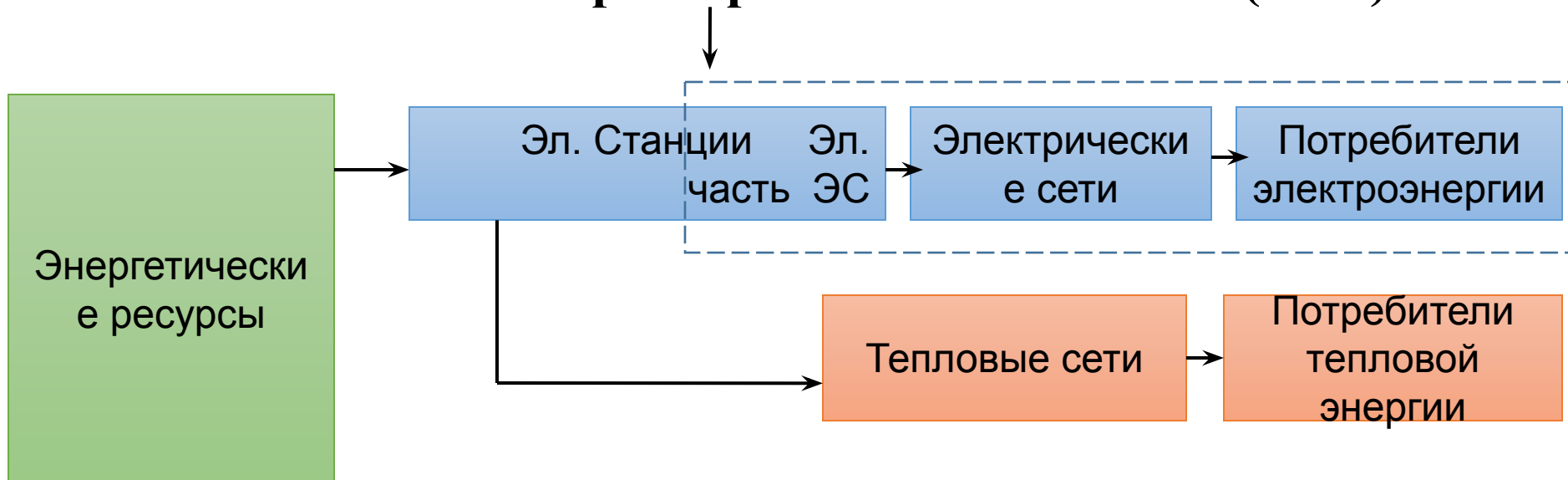
§4 Приемники и потребители электроэнергии

§5 Единая национальная энергетическая система

# §1 Основные понятия, термины и определения

**Энергетической системой** называется совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей **и центров потребления электрической энергии и теплоты**, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

## Электроэнергетическая система (ЭЭС)



**Энергетические ресурсы** - это материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для практического использования человеком энергия.

Энергоресурсы подразделяются на:

- возобновляемые и невозобновляемые;
- топливные и нетопливные;
- природные (первичные) и искусственные (вторичные);
- традиционные и нетрадиционные.

**Электроэнергетическая система (ЭЭС)** – это совокупность электрических частей электростанций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, связанных общностью режимов и непрерывностью процесса производства, распределения и потребления электрической энергии.

## **Особенности электроэнергетической системы:**

- Производство электроэнергии, ее передача, распределение и преобразование в другие виды энергии осуществляются практически в один и тот же момент времени.
- Относительная быстрота протекания переходных процессов.
- Она тесно связана со всеми отраслями промышленности, транспортом, связью и т.д.
- Отдельные составляющие ЭЭС могут быть географически удалены на многие сотни и тысячи километров друг от друга и распределены на огромной территории. Следовательно, для эффективной их связи, необходимо создание надежной и безопасной в эксплуатации системы передачи и распределения электрической энергии высокого и сверхвысокого напряжения.
- Для управления процессами функционирования такой системой, регулирования ее режимов, обеспечения надежности работы и обеспечения качества электроэнергии необходима современная, быстродействующая и надежная система средств диспетчерского и технологического контроля, регулирования и управления.

**Электроустановка (ЭУ)** – совокупность электрических аппаратов, электрических машин и электрооборудования, предназначенных для производства, преобразования, аккумулирования, передачи, распределения или потребления электрической энергии и размещенная на определенной территории или в едином сооружении.

**Электростанция (ЭС)** – это электроустановка производящая электрическую или электрическую и тепловую энергию в результате преобразования энергии, заключенной в природных энергетических ресурсах.

**Электроподстанцией (ЭП)** называется электроустановка, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения, а также для распределения электрической энергии. Электроподстанция состоит из трансформаторов, сборных шин, коммутационных аппаратов и вспомогательного электрооборудования.

Подстанции, служащие для связи электростанций и линий электропередач – **повышающие**, а для связи линий электропередач и потребителей электроэнергии – **понижающие**. Электроподстанции применяются и для связи отдельных частей электрической системы с разными напряжениями.

## **Вспомогательное электрооборудование подстанций**

предназначено для выполнения вспомогательных функций, к нему относятся:

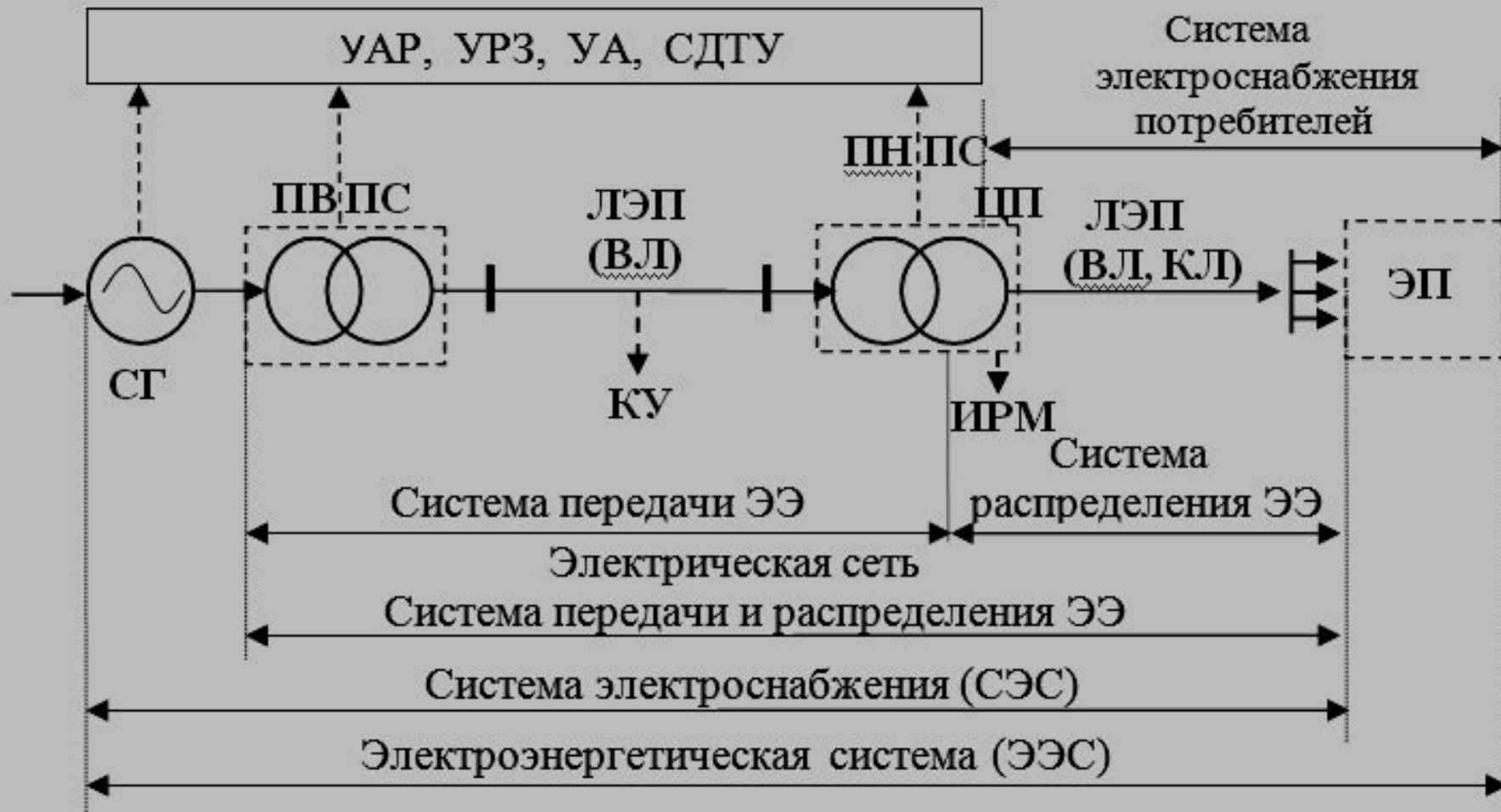
- **устройства релейной защиты (УРЗ)** – для обнаружения факта и места повреждения в электроустановке и для выдачи команды на отключение поврежденного элемента;
- **устройства автоматики (УА)** – для автоматического включения или переключения цепей и устройств, а также для автоматического регулирования режимов работы элементов электроустановок;
- **устройства сигнализации (УС)** – сообщают об отклонении режима работы объекта от заданного, о перегрузках и нарушениях нормальной работы различных элементов электрооборудования, о замыканиях на землю и других авариях;
- **контрольно-измерительные приборы (КИП)** для контроля за работой основного электрооборудования электроподстанции, качеством электроэнергии, а также для учета электроэнергии.

**Распределительное устройство (РУ)** - электроустановка, входящая в состав любой электроподстанции, предназначенная для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства управления, защиты, автоматики и измерительные приборы.

**Центр питания (ЦП)** - распределительное устройство генераторного напряжения электростанций или распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции энергосистемы, к которым присоединены распределительные сети данного района.

**Линия электропередачи (ЛЭП)** - электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии между двумя пунктами энергосистемы с возможным промежуточным отбором мощности.

**Потребитель электроэнергии, электроприемник (ЭП)** - электрическая машина, агрегат, аппарат или их комплекс, потребляющий электроэнергию из сети и расходующую ее на исполнение технологических процессов или преобразующие электрическую энергию в иные виды энергии.





В соответствии со схемой, элементами системы передачи и распределения электрической энергии являются:

- линии электропередачи (ЛЭП) различного конструктивного исполнения и напряжений;
- устройства компенсации параметров ЛЭП (КУ);
- повышающие (ПВПС) и понижающие (ПНПС) подстанции;
- источники реактивной мощности (ИРМ);
- устройства автоматического регулирования (УАР), релейной защиты (РЗ), устройства автоматики (УА), средства систем диспетчерского и технологического управления (СДТУ).

**Электрическая сеть** – это совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии на определенной территории, состоящая из электроподстанций, распределительных пунктов, воздушных и кабельных линий электропередач, аппаратура присоединения, защиты и управления.

Основу **системы передачи** электрической энергии от синхронных генераторов электростанций до центров питания, которыми служат сборные шины вторичного напряжения понижающих подстанций, составляют развитые системообразующие и питающие сети выполненные воздушными линиями электропередачи высокого и сверх высокого напряжения.

**Система распределения** электрической энергии связывает, с помощью распределительных сетей воздушного и кабельного исполнения, центры питания непосредственно с потребителями электроэнергии. Обычно это сети среднего и низкого напряжений.

**Система электроснабжения** объединяет все электроустановки, предназначенные для обеспечения потребителей электрической энергией.

**Система электроснабжения потребителя** - это комплекс центров питания, распределительных электрических сетей и потребителей электроэнергии конкретного технологического назначения.

- Система передачи и распределения электрической энергии **должна удовлетворять многочисленным и разнообразным требованиям:**
- обеспечивать надежное, а в ряде случаев, бесперебойное электроснабжение;
  - обеспечивать устойчивость параллельной работы всех электроустановок, т.е. возможность работы электроэнергетической системы во всех режимах: нормальных, ремонтных, аварийных и послеаварийных;
  - снабжать потребителей электроэнергией нормированного качества;
  - удовлетворять условиям экономичности, эксплуатации и развития;
  - обеспечивать безопасность и удобство эксплуатации;
  - учитывать возможность выполнения релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики.

## **Объединенная электроэнергетическая система -**

совокупность нескольких электроэнергетических систем, объединенных общим режимом работы, имеющая общее диспетчерское управление как высшую ступень управления по отношению к диспетчерским управлениям входящих в нее систем.

**Единая электроэнергетическая система -** совокупность объединенных электроэнергетических систем, соединенных межсистемными связями, охватывающая значительную часть территории страны при общем режиме работы и имеющая диспетчерское управление.

Производство, преобразование, передача, распределение и потребление электрической энергии осуществляется преимущественно с помощью **трехфазного переменного тока.**

1. Основное преимущество переменного тока по сравнению с постоянным током, **заключается в возможности с помощью трансформаторов повышать, понижать, а также регулировать величину напряжения в электрических сетях.**

**С повышением напряжения передачи электрической энергии существенно уменьшаются потери мощности и падения напряжения в системах передачи и распределения электроэнергии.**

**Понижение до необходимого уровня – позволяет удовлетворять в потребности электрической энергии большое количество различных по номинальным параметрам электроприемников.**

**Регулирование – обеспечивает устойчивость параллельной работы электростанций и отдельных электроэнергетических систем, позволяет поддерживать наиболее экономичный режим работы распределительных сетей и обеспечивать требуемое качество напряжения непосредственно у потребителей.**

2. Передача электрической энергии от генераторов к потребителям **трехфазным переменным током наиболее выгодна экономически**, чем однофазным, т.к. достигается экономия проводов в два раза . При этом трехфазные генераторы и трансформаторы дешевле, легче и экономичнее, чем три однофазовых генератора или трансформатора таковой же суммарной мощностью.

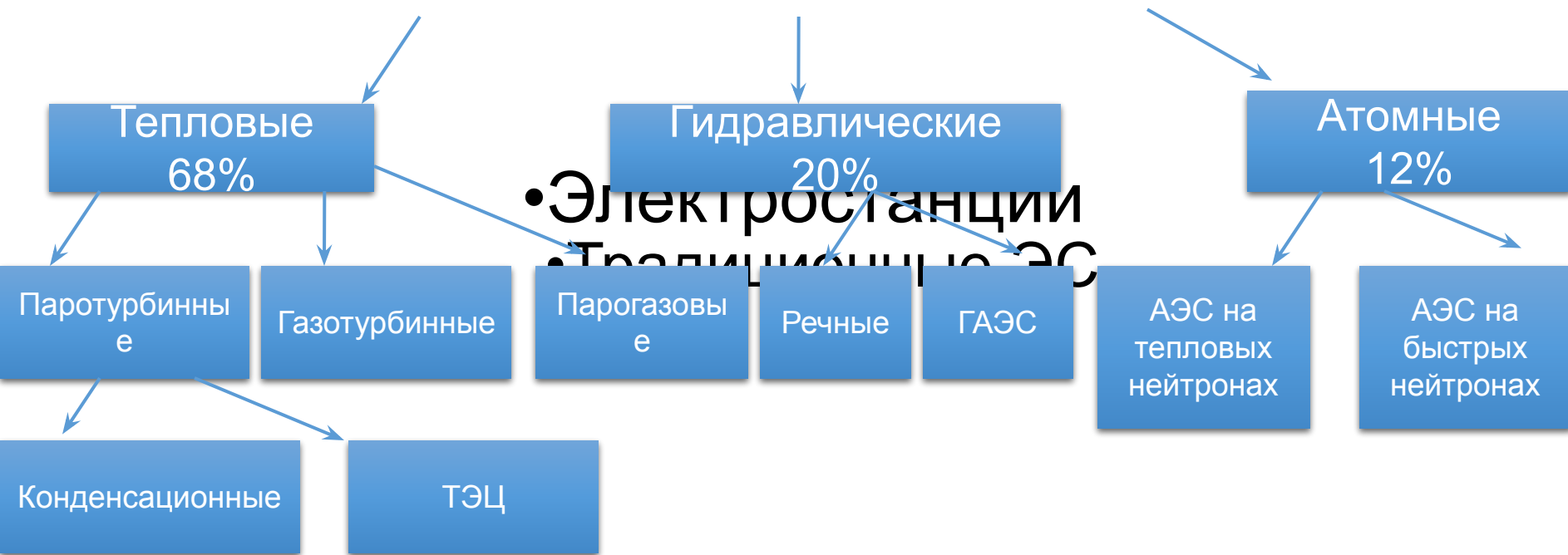
3. **Трехфазная система позволяет технически просто получить круговое вращающееся поле,** которое лежит в основе работы всех трехфазных электрических машин. Трехфазные генераторы, трансформаторы и двигатели просты по конструкции, надежны в работе, имеют хорошие массогабаритные показатели, сравнительно дешевы и долговечны.

4. В трехфазной системе существует **возможность подключать как трехфазные, так и однофазные приемники** электрической энергии в зависимости от номинальных параметров, **на одно из двух напряжений – линейное или фазное.**

5. В случае необходимости, электрическая энергия переменного тока, **может быть достаточно эффективно преобразована в электрическую энергию постоянного тока.**

# §2 Электрические станции

## Классификация электростанций



Объединение электростанций в энергосистемы дает ряд существенных преимуществ:

- повышается надежность электроснабжения;
- уменьшается требуемый резерв мощности в энергосистеме;
- улучшаются условия загрузки агрегатов благодаря выравниванию графика нагрузки и снижению максимума нагрузки энергосистемы;
- появляется возможность более полного использования генерирующих мощностей электростанций, обусловленная различием в их географическом месторасположении;
- улучшаются технико-экономические показатели энергетического оборудования из-за возможности использования более мощных и экономичных агрегатов.



Однако объединение электростанций имеет и свои недостатки:

1. Увеличение общей протяженности электрических сетей влечет за собой увеличение результирующих в них потерь;

2. Усложняются проблемы устойчивости параллельной работы, обусловленные:

- распространением аварийных возмущений на все синхронно работающие генераторы, что приводит к усложнению противоаварийной автоматики и повышению вероятности каскадного развития аварий;

- распространением отклонений частоты на большие территории даже при локальных причинах их появлений;

3. Повышаются мощности токов КЗ (за счет параллельных связей), приводящие к необходимости замены выключателей на более мощные.

4. Усложняются системы оперативного управления и регулирования режимами работы.

Обычно суммарная мощность установленных генераторов всех электростанций превышает нагрузку энергосистемы. При этом возникает вопрос о распределении активной нагрузки между электростанциями и отдельными генераторами.

Режим энергосистемы, обеспечивающий наименьшие затраты, называют оптимальным. При определении оптимального режима надо учитывать технико-экономические показатели оборудования электростанций, стоимость топлива и потери мощности в электрической сети.

В качестве критерия оптимального распределения активных мощностей между тепловыми электростанциями у нас в стране принимают минимум суммарного расхода топлива в энергосистеме при соблюдении баланса мощности.

Электрическая часть электростанций включает в себя разнообразное основное и вспомогательное оборудование.

К основному оборудованию, предназначенному для производства и распределения электроэнергии, относятся: синхронные генераторы; сборные шины (токоведущие части и их изоляторы), предназначенные для приема электроэнергии от генераторов; коммутационные аппараты; электроприемники собственных нужд – насосы, вентиляторы и др.

Вспомогательное электрооборудование предназначено для выполнения вспомогательных функций, см. §1.

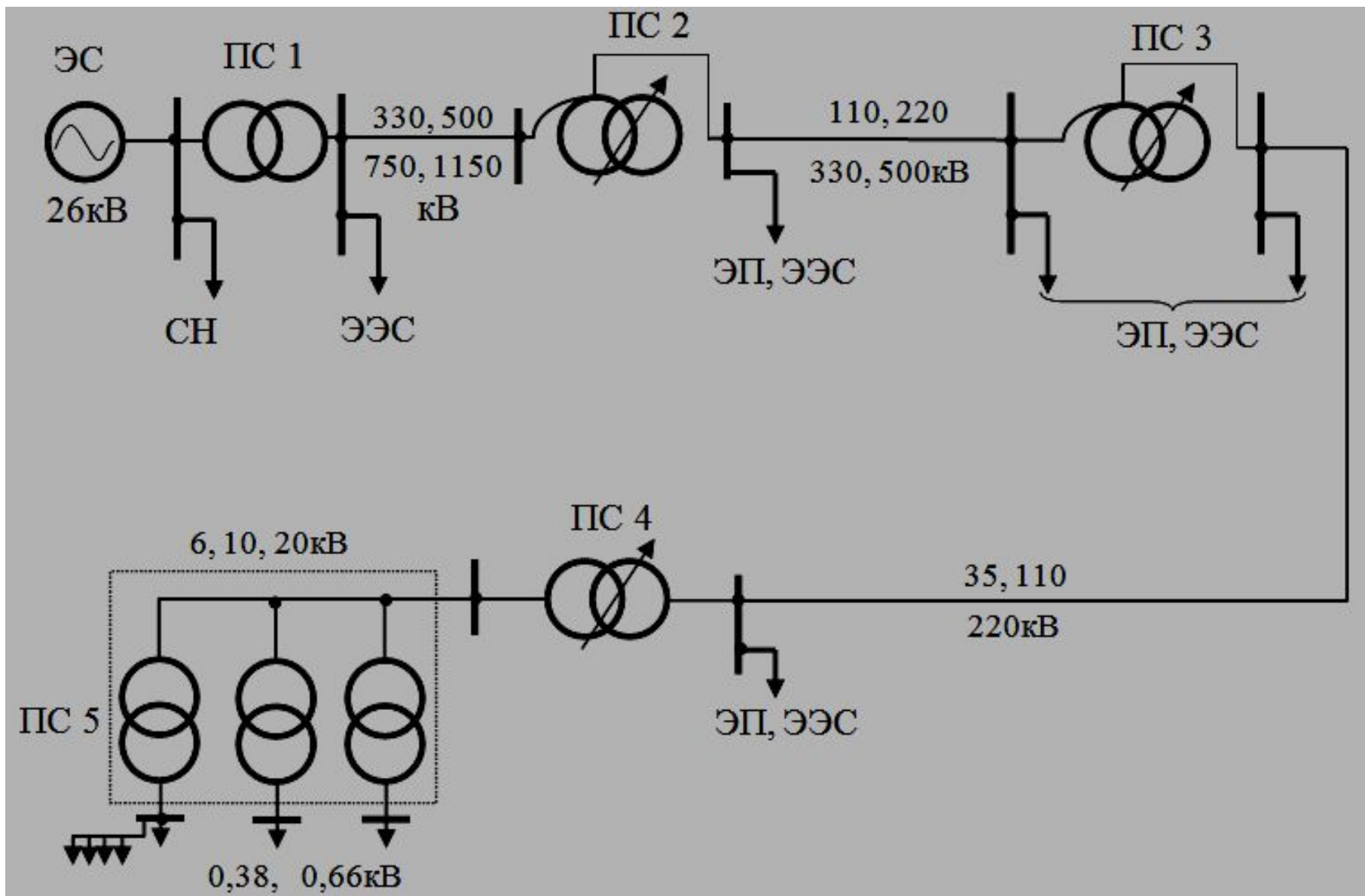
## §3 Электрическая сеть

Для передачи электроэнергии применяются стандартные номинальные (междуфазные или линейные) напряжения трехфазного тока частотой 50Гц:

**0,38; 0,66; 6; 10; 20; 35; 110; 220; 330; 500; 750 и 1150 кВ**

### **Классификация электрических сетей:**

- **по роду тока** – сети переменного и постоянного тока;
- **по величине напряжения** – сети низкого напряжения -до 1кВ; среднего напряжения - 6-35кВ; высокого - 110-330кВ и сверхвысокого напряжения -500кВ и выше;
- **по конфигурации** – замкнутые и разомкнутые сети;
- **по конструктивному выполнению** – воздушные и кабельные сети , токопроводы, электропроводки;
- **по выполняемым функциям** - системообразующие сети, питающие сети, распределительные сети.



# Экономически и технически целесообразные параметры ЛЭП

<b>Напряжение, кВ</b>	<b>Наибольшая передаваемая мощность, МВт</b>	<b>Наибольшее расстояние передачи, км</b>
<b>0,38</b>	<b>0,05 – 0,1</b>	<b>0,5 – 1,0</b>
<b>10</b>	<b>2,0 – 3,0</b>	<b>10 – 15</b>
<b>35</b>	<b>5 – 10</b>	<b>30 – 50</b>
<b>110</b>	<b>25 – 50</b>	<b>50 – 150</b>
<b>220</b>	<b>100 - 200</b>	<b>150 – 250</b>
<b>330</b>	<b>200 - 300</b>	<b>300 – 400</b>
<b>500</b>	<b>700 – 900</b>	<b>800 – 1200</b>
<b>750</b>	<b>1800 – 2200</b>	<b>1000 – 1500</b>
<b>1150</b>	<b>4000 – 6000</b>	<b>2000 – 3000</b>

**К системе передачи ЭЭ** относятся внутрисистемные и межсистемные линии напряжением 330 кВ и выше. Эти линии являются системообразующими и передающими ЭЭ от систем с ее избытком к системам с дефицитом электроэнергии, от источников к центра распределения или питания распределительных сетей.

**К системе распределения ЭЭ** относятся линии напряжением 10 - 220 кВ, основное назначения которых – распределение ЭЭ между крупными районами распределения и непосредственная передача ЭЭ потребителям. К этой системе относятся также сети низкого напряжения 0,38 - 6 кВ.

**Режим работы электрической сети-** состояние в данный момент времени, которое характеризуется параметрами, определяющими ее процесс функционирования. К основным параметрам режима работы относят: полную, активную и реактивную мощности; напряжение; ток и частоту.



## **Режимы работы сети:**

- 1. Нормальный установившийся-** значения основных параметров равны номинальным или в пределах допустимых отклонений от них. Нагрузки изменяются медленно, что обеспечивает возможность плавного регулирования работы электростанций и сети и удерживания основных параметров в пределах допустимых норм.



**2. Переходный неустановившийся-** переход из нормального установившегося режима в другое с резко изменяющимися параметрами. Принято считать аварийным, т.к. наступает при внезапных изменениях в схеме и резких изменениях генерируемых и потребляемых мощностей.

**3. Послеаварийный установившийся-** наступает после локализации аварии в сети. Отличается от нормального тем, что выходит из строя один или несколько элементов сети (генератор, трансформатор, линия).

## §4 Приёмники и потребители электроэнергии

- промышленные предприятия (45–60)%;
- жилые и общественные здания, коммунально-бытовые организации и учреждения (25–35)%;
- сельскохозяйственное производство (10–15)%;
- электрифицированный транспорт (2–5)%.



**Потребитель электрической энергии**- это электроприемник или группа электроприёмников, связанных технологическим процессом и размещенных на определенной территории. (цех, завод, станок).

# Классификация электроприёмников:

## □ по степени надежности электроснабжения:

- **I категория** - электроприёмники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

**Перерыв в электроснабжении допускается только на время автоматического ввода резервного питания.**

Из состава электроприёмников I категории выделяется особая группа, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

- **II категория** - электроприёмники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

**Перерыв в электроснабжении допускается на время, необходимое для включения резервного питания силами эксплуатационного персонала, но не более 30 минут.**

- **III категория** – все остальные электроприёмники, не подходящие под определения I и II категорий.

**Перерыв в электроснабжении допускается на время, необходимое выездной бригаде на восстановления питания, но не более 1 суток.**

## □ по роду тока:

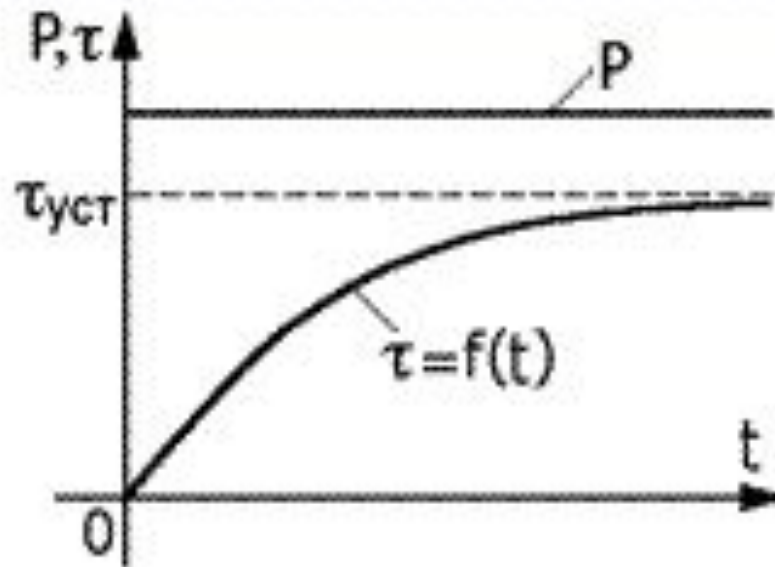
- электроприёмники, работающие от сети с частотой (50,60) Гц;
- электроприёмники, работающие от сети повышенной (пониженной) частоты;
- электроприёмники, работающие от сети постоянного тока;

## □ по величине номинального напряжения:

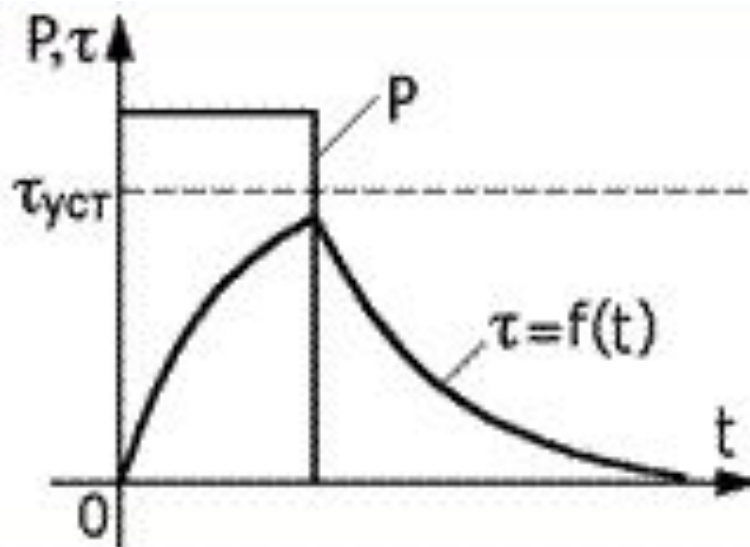
- до 1 кВ, и выше 1 кВ – переменный ток;
- до 1,5 кВ, и выше 1,5 кВ – постоянный ток;

□ по режиму работы:

- **продолжительный режим** работы электроприемника соответствует номинальной неизменной нагрузке, продолжающейся столь долго, что температура его частей достигает установившихся значений. Установившейся температурой считается температура, изменение которой в течение 1 часа не превышает  $1^{\circ}\text{C}$ .

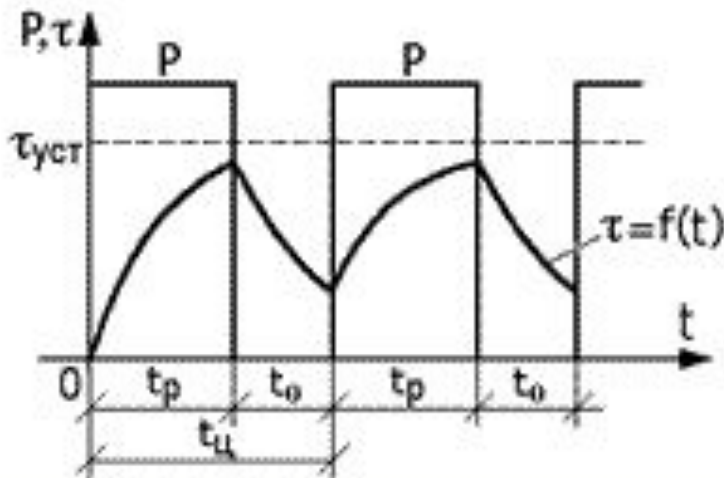


- **кратковременный режим** работы электроприёмника характеризуется тем, что он работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении электроприёмник длительно не работает, и его температура снижается до температуры окружающей среды.



- **повторно-кратковременный режим** - это такой режим, при котором кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки чередуются с паузами. Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы перегревы отдельных частей электроприёмника при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений.

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%$$



Значение  $t_{\text{ц}}$  при ПКР не должно превышать 10 мин.

Электротехническая промышленность выпускает оборудование со стандартными значениями ПВ, равными 15,25, 40 и 60 %.



## □ по техническому назначению:

- **электропривод** – это электроприемники общепромышленных установок, производственных механизмов, подъемно – транспортное оборудование;
- **электротехнологическое оборудование** – электросварочные, электронагревательные, электролизные установки и т.д;
- **преобразовательные установки.** Для преобразования трехфазного тока в постоянный или трехфазного тока промышленной частоты в трехфазный или однофазный ток пониженной, повышенной или высокой частоты на территории промышленного предприятия;
- **электрическое освещение.**

## §5 Единая электроэнергетическая система

Единая энергетическая система России (**ЕЭС России**) состоит из **71** региональных энергосистем, которые, в свою очередь, образуют **7** объединенных энергетических систем (ОЭС):

**Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-Запада.**

Функцию управления режимами работы ОЭС осуществляют **оперативные диспетчерские управления (ОДУ).**

Все ОДУ объединены в организацию ОАО «**Системный оператор Единой энергетической системы**».

**Электроэнергетический комплекс России**, на конец 2020 г., включает около **849 электростанций** единичной мощностью свыше 5 МВт.

Общая установленная мощность электростанций России составляет около **245 млн. кВт.**

Ежегодно все станции вырабатывают около **одного триллиона кВт·ч** электроэнергии.

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

- тепловые электростанции (468 станций) - примерно 67%,
- гидравлические – порядка 20%,
- атомные (16 действующих АЭС) - около 12%,
- альтернативные (солнечные, ветровые, гидротермальные) — около 1,1%.

**Сетевое хозяйство ЕЭС России** насчитывает более 10 700 линий электропередачи класса напряжения 110 – 1150 кВ.

**Общая длина ЛЭП 35 кВ и выше** составляет более 600 тыс. км, а линий 0,4...20 кВ более 2 млн. км.

**Число ПС** напряжением выше 35 кВ превышает 17 тыс. с общей мощностью трансформаторов более 575 млн. кВА, а ПС 6-35/0,4 более 500 тыс.

**Параллельно с ЕЭС России** работают энергосистемы: Азербайджана, Белоруссии, Грузии, Казахстана, Латвии, Литвы, Монголии, Украины и Эстонии.

Через энергосистему Казахстана **параллельно с ЕЭС России** работают энергосистемы Киргизии и Узбекистана. Через энергосистему Украины – энергосистема Молдавии.

По линиям переменного тока осуществляется **обмен электроэнергией** с энергосистемами Абхазии и Южной Осетии.

От электросетей России, в том числе, через вставки постоянного тока, **осуществляется передача** электроэнергии в энергосистемы Китая, Норвегии и Финляндии.

Через устройство Выборгского преобразовательного комплекса **совместно (несинхронно) с ЕЭС России работает** энергосистема Финляндии.

**Параллельно с энергосистемами Норвегии и Финляндии** работают отдельные генераторы ГЭС Кольской и Ленинградской энергосистем, а также один из блоков Северо-Западной ТЭЦ.