

Глава 1

Электроэнергетическая система

§1 Основные понятия. термины и определения

§2 Электрические станции

§3 Электрические сети

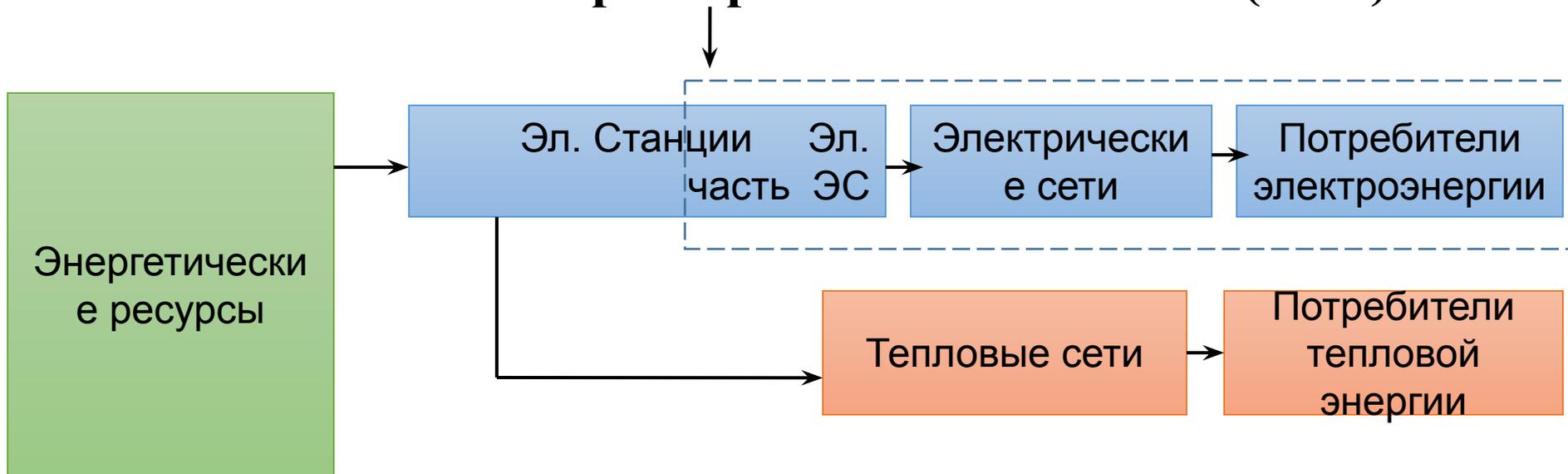
§4 Приемники и потребители электроэнергии

§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:

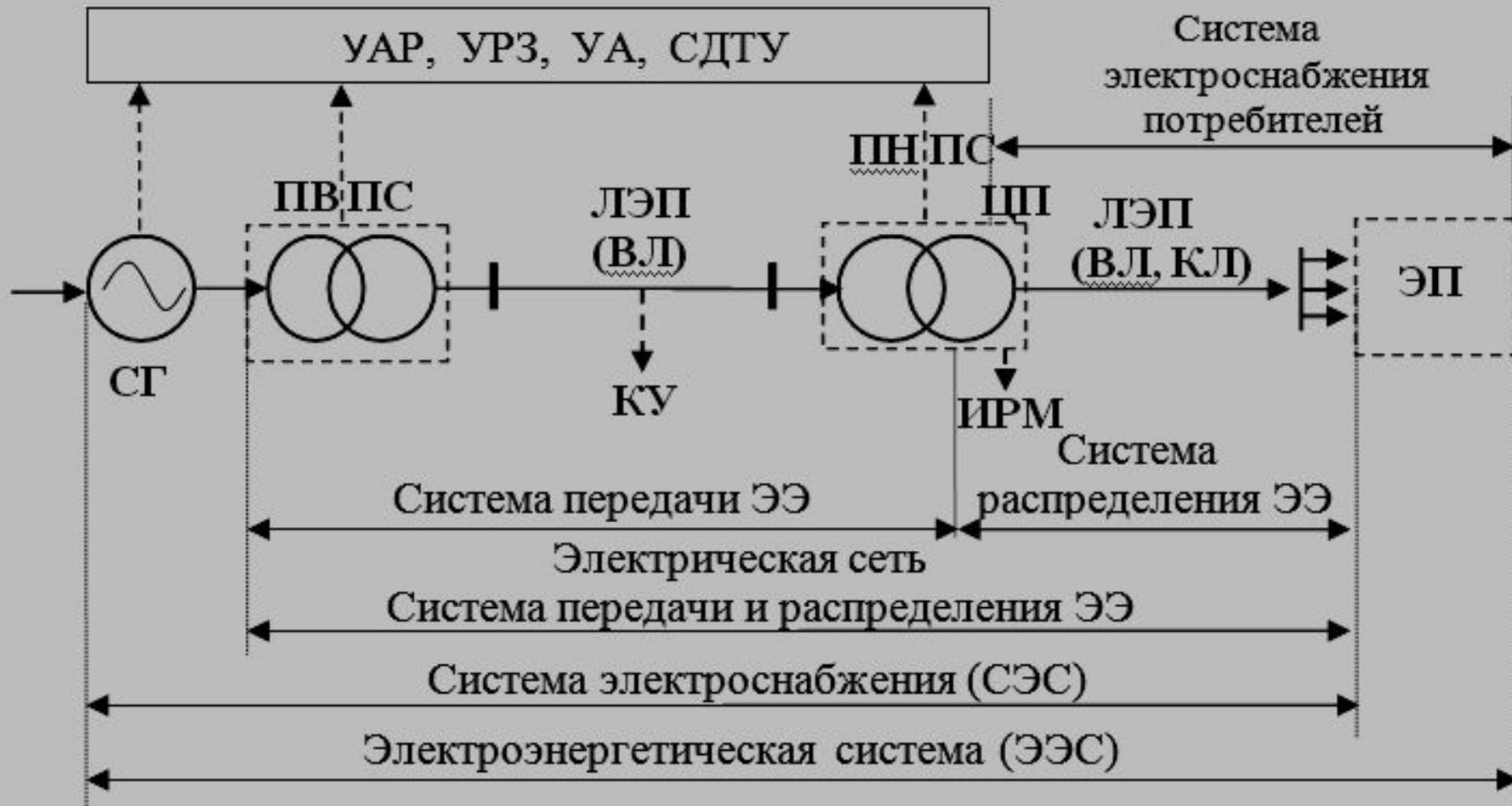
- **устройства релейной защиты (УРЗ)** – для обнаружения факта и места повреждения в электроустановке и для выдачи команды на отключение поврежденного элемента;
- **устройства автоматики (УА)** – для автоматического включения или переключения цепей и устройств, а также для автоматического регулирования 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.

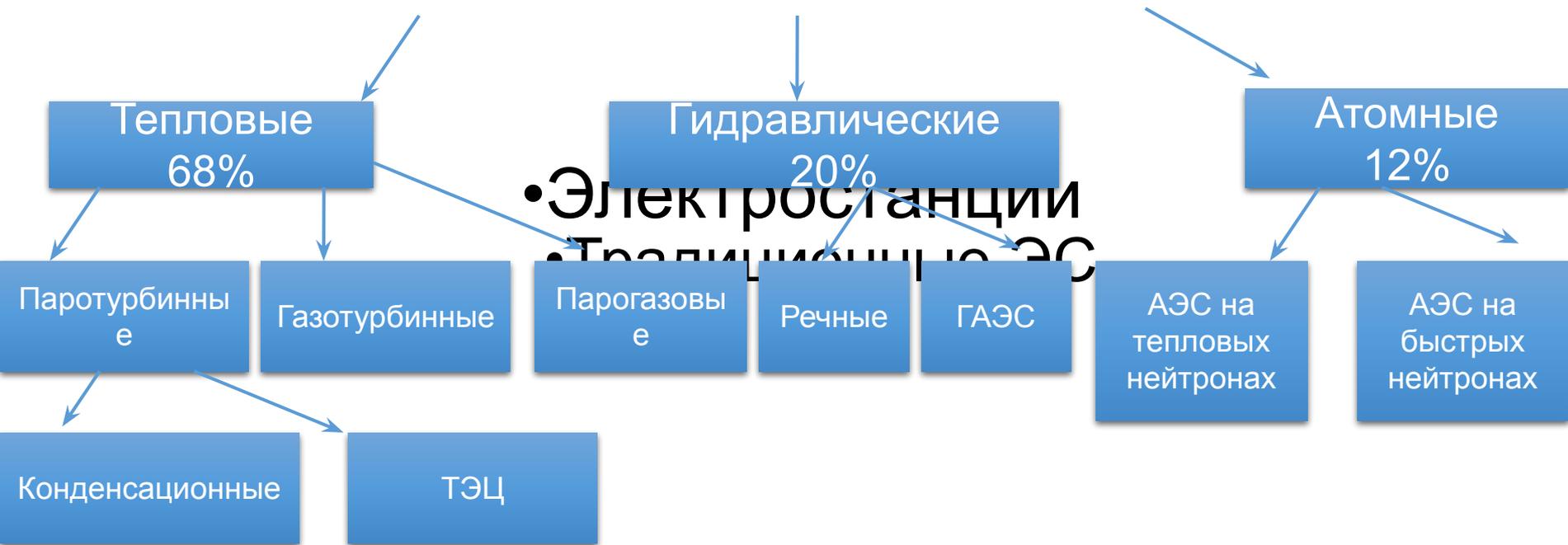
3. **Трехфазная система позволяет технически просто получить круговое вращающееся поле,** которое лежит в основе работы всех трехфазных электрических машин. Трехфазные генераторы, трансформаторы и двигатели просты по конструкции, надежны в работе, имеют хорошие массогабаритные показатели, сравнительно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

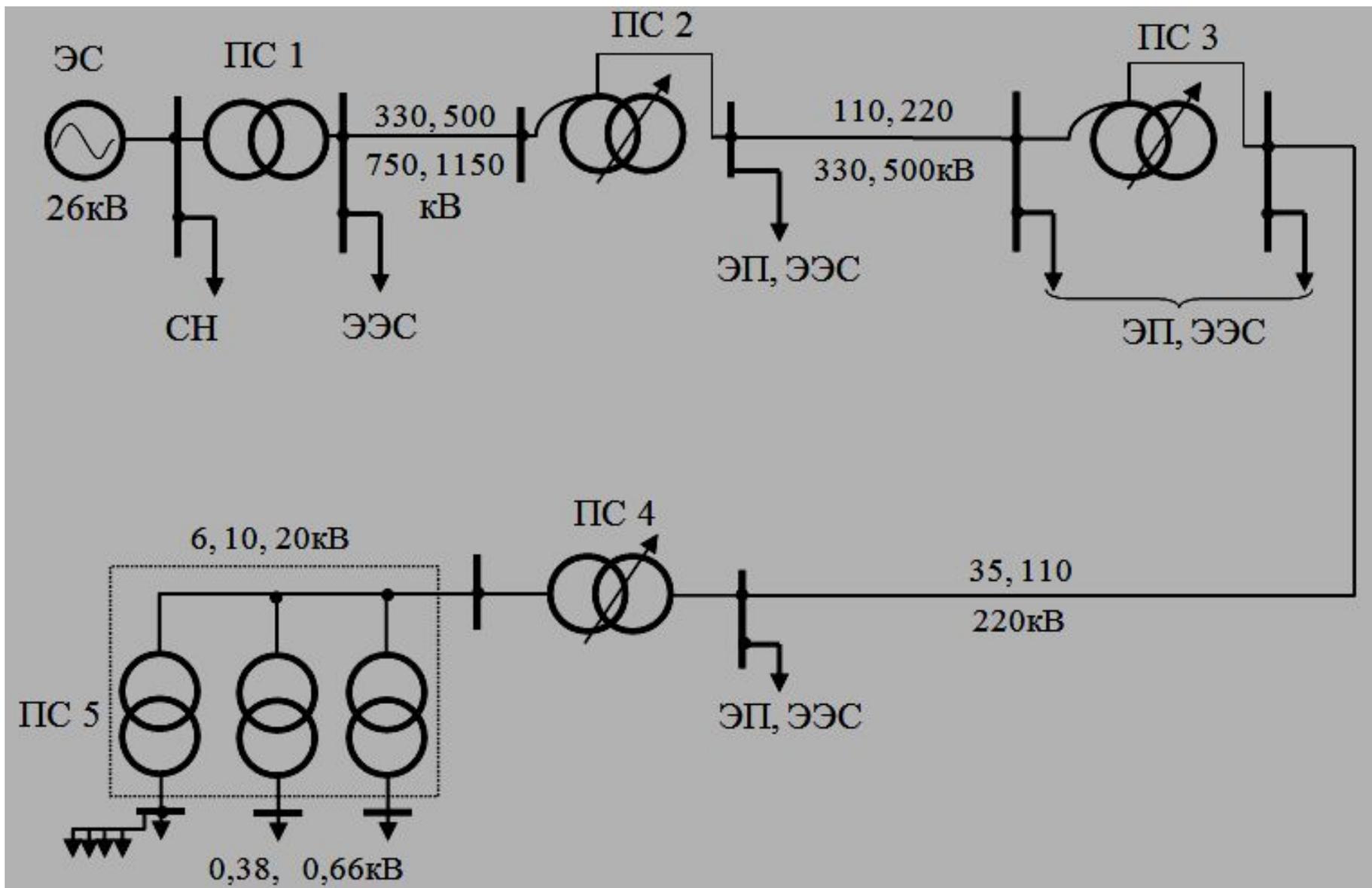
§3 Электрическая сеть

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

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

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:

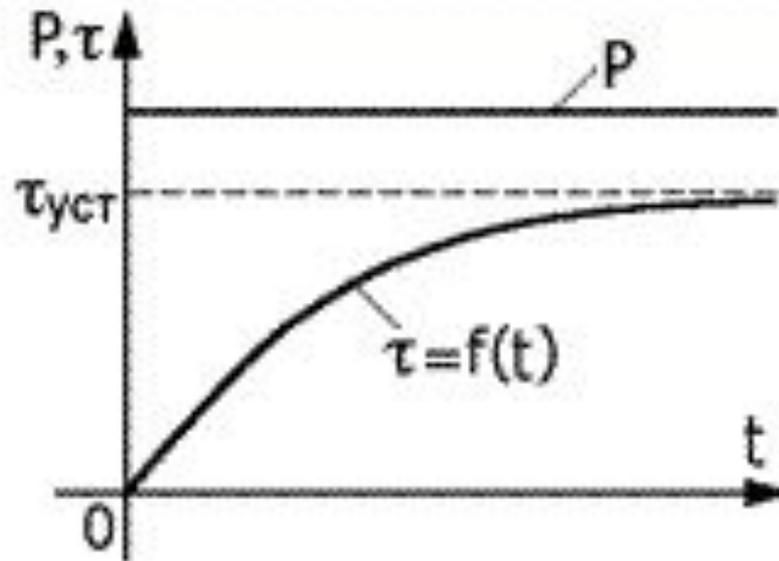
- электроприёмники, работающие от сети с частотой (50,60) Гц;
- электроприёмники, работающие от сети повышенной (пониженной) частоты;
- электроприёмники, работающие от сети постоянного тока;

□ по величине номинального напряжения:

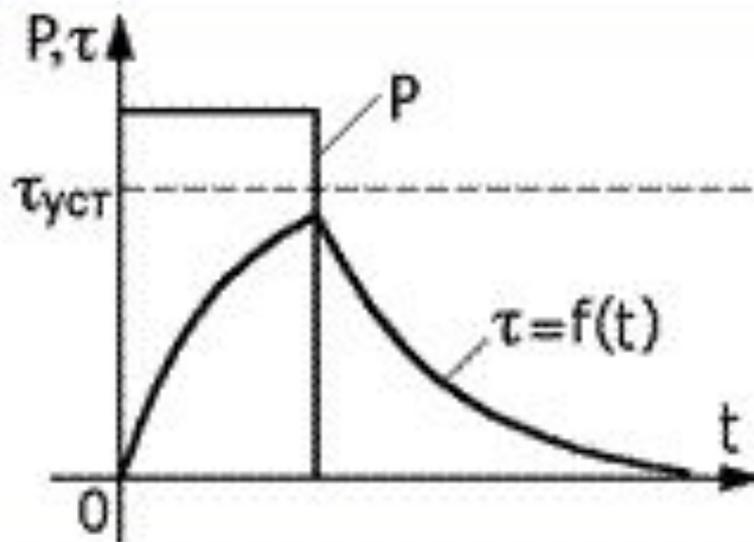
- до 1 кВ, и выше 1 кВ – переменный ток;
- до 1,5 кВ, и выше 1,5 кВ – постоянный ток;

□ 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°C .

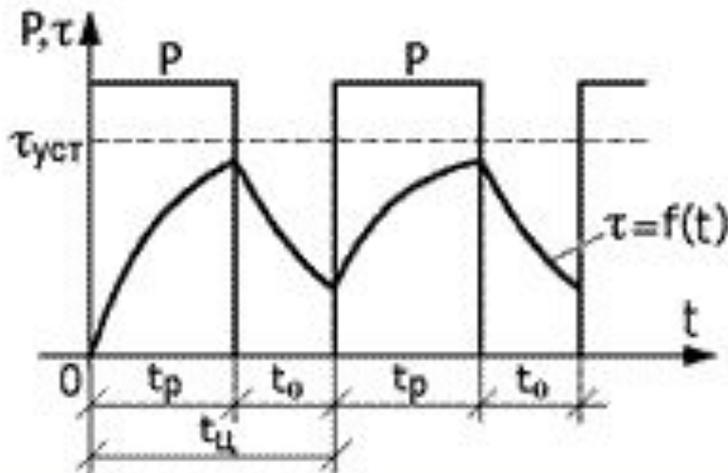


- **кратковременный режим** работы электроприёмника характеризуется тем, что он работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении электроприёмник длительно не работает, и его температура снижается до температуры окружающей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