

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Лекция 7

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

- *Электростанция* – электроустановка, служащая для производства (генерации) электрической энергии.
- *Подстанция* – электроустановка, предназначенная для приёма, преобразования (трансформации) и распределения электроэнергии, состоящая из трансформаторов (автотрансформаторов) и других преобразователей ЭЭ, распределительных и вспомогательных устройств. Подстанция может быть повышающей, если преобразование величины напряжения переменного тока осуществляется с низшего напряжения на высшее (подстанции электростанций), и понижающей (понижительной) – в случае трансформации высшего напряжения на низшее (подстанции предприятий, городов и др.).
- *Линия электропередачи (ЛЭП)* – электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние с возможным промежуточным отбором. Линии выполняют воздушными, кабельными, а также в виде токопроводов на промышленных предприятиях и электростанциях
- *Потребитель ЭЭ, электроприёмник (ЭП)* – аппарат, агрегат, механизм (электродвигатель, преобразователь, светильник и др.), потребляющий или преобразующий ЭЭ в другие виды энергии.
- *Электропередача* – это линия с повышающей и понижающей подстанциями, служащая для транзитной передачи электроэнергии от станции к концентрированному потребителю.
- *Электрическая сеть* – объединение преобразующих подстанций, распределительных устройств, переключательных пунктов и соединяющих их линий электропередачи, предназначенных для передачи ЭЭ от электростанции к местам потребления и распределения её между потребителями.

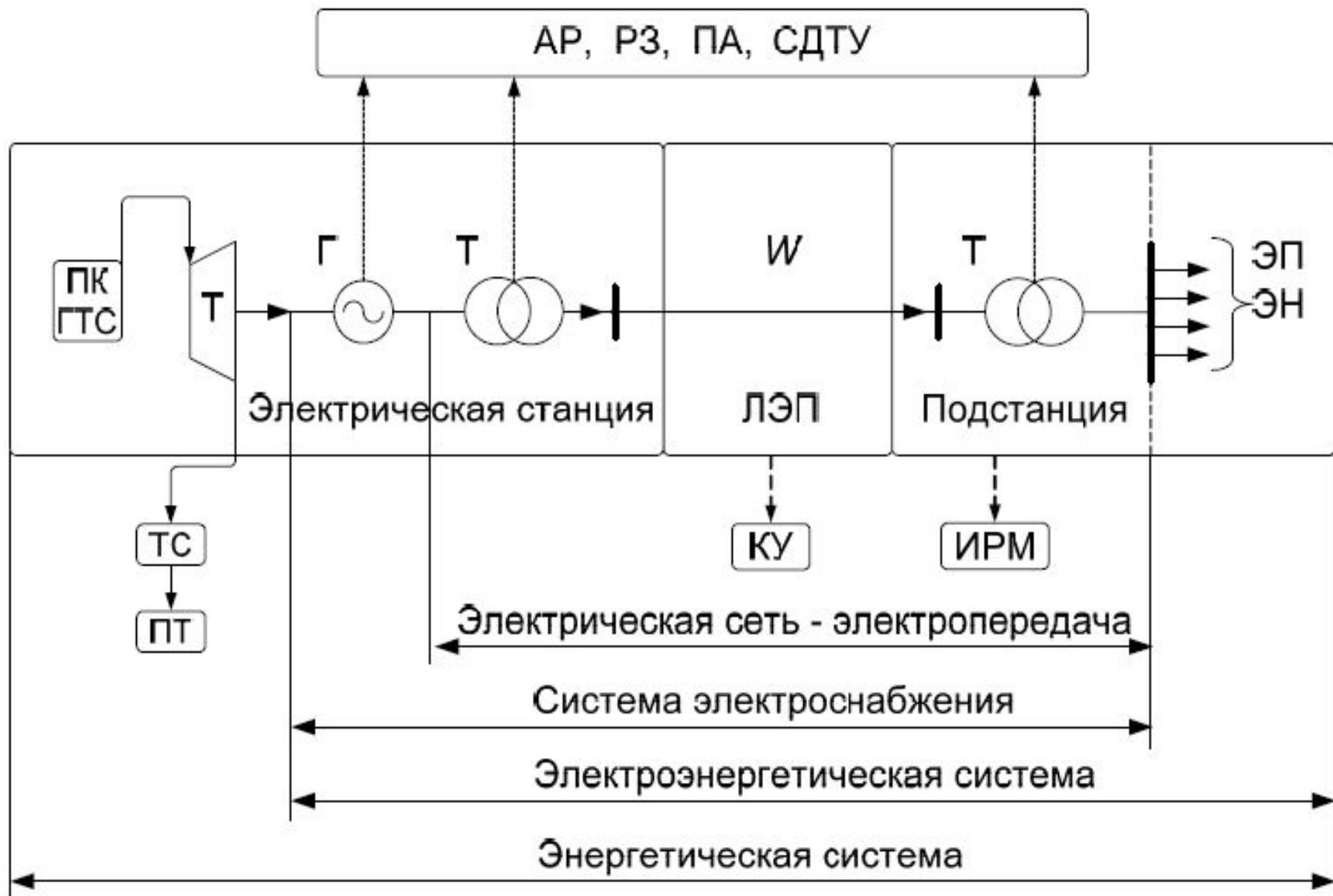


Рис. 1.1. Взаимосвязь объектов, обеспечивающих производство, передачу, распределение и потребление электрической и тепловой энергии

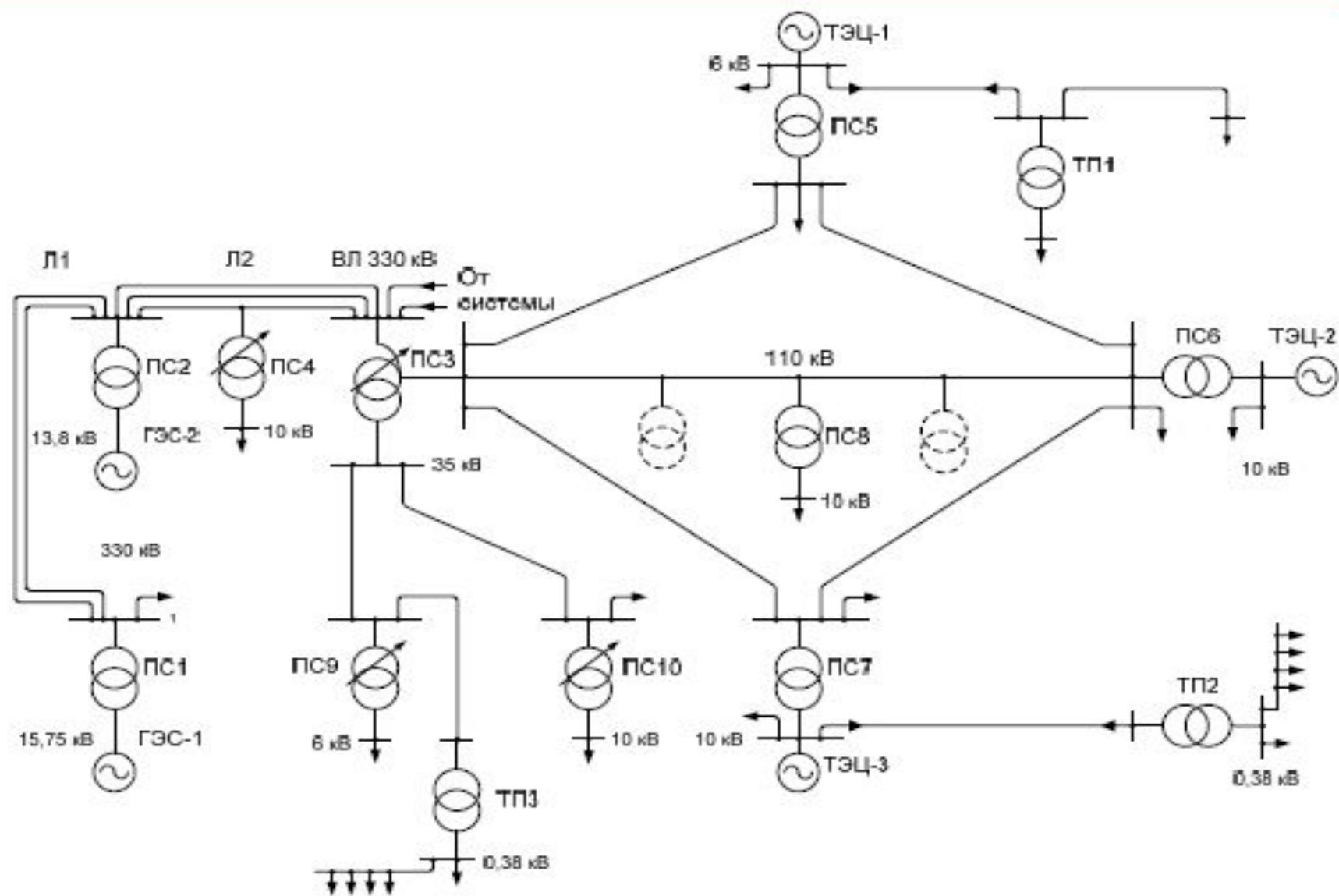


Рис. 1.8. Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии в промышленном районе

Электроэнергетическая система состоит из

элементов, которые можно разделить на три группы:

- **основные (силовые)** элементы — генерирующие агрегаты электростанций, преобразующие энергию воды или пара в электроэнергию; трансформаторы, автотрансформаторы, выпрямительные установки, преобразующие значения и вид тока и напряжения; линии электропередач (ЛЭП), передающие электроэнергию на расстояние; коммутирующая аппаратура (выключатели, разъединители), предназначенные для изменения схемы ЭЭС и отключения поврежденных элементов;
- **измерительные элементы** — трансформаторы тока и напряжения, предназначенные для подключения измерительных приборов, средств управления и регулирования;
- **средства управления** — релейная защита, регуляторы, автоматика, телемеханика, связь, обеспечивающие оперативное и автоматическое управление схемой и работой ЭЭС.

ТРАНСФОРМАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Для связи с энергосистемой и потребителями, а также для питания собственных потребителей станции (собственных нужд) на электрических станциях и подстанциях устанавливают повышающие и понижающие трансформаторы.
- В связи с тем что в сетях энергосистем существует несколько ступеней трансформации, количество трансформаторов и их мощность в несколько раз превышают число и установленную мощность генераторов. (на каждый установленный киловатт генераторной мощности приходится 7—8 кВА трансформаторной мощности, а на вновь вводимый — до 12—15 кВА). На крупных электростанциях для связи двух высших напряжений, как правило, применяются автотрансформаторы, обладающие существенными технико-экономическими преимуществами в сравнении с обычными трансформаторами. Стоимость автотрансформатора, потери энергии при эксплуатации значительно ниже, чем у обычных трансформаторов той же мощности.
- На подстанциях 35—750 кВ энергосистем России работает около 2500 силовых трансформаторов и автотрансформаторов общей мощностью более 570 тыс. МВ · А, что почти втрое больше установленной мощности электростанций.

КОММУТАЦИОННЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Назначение и классификация аппаратов

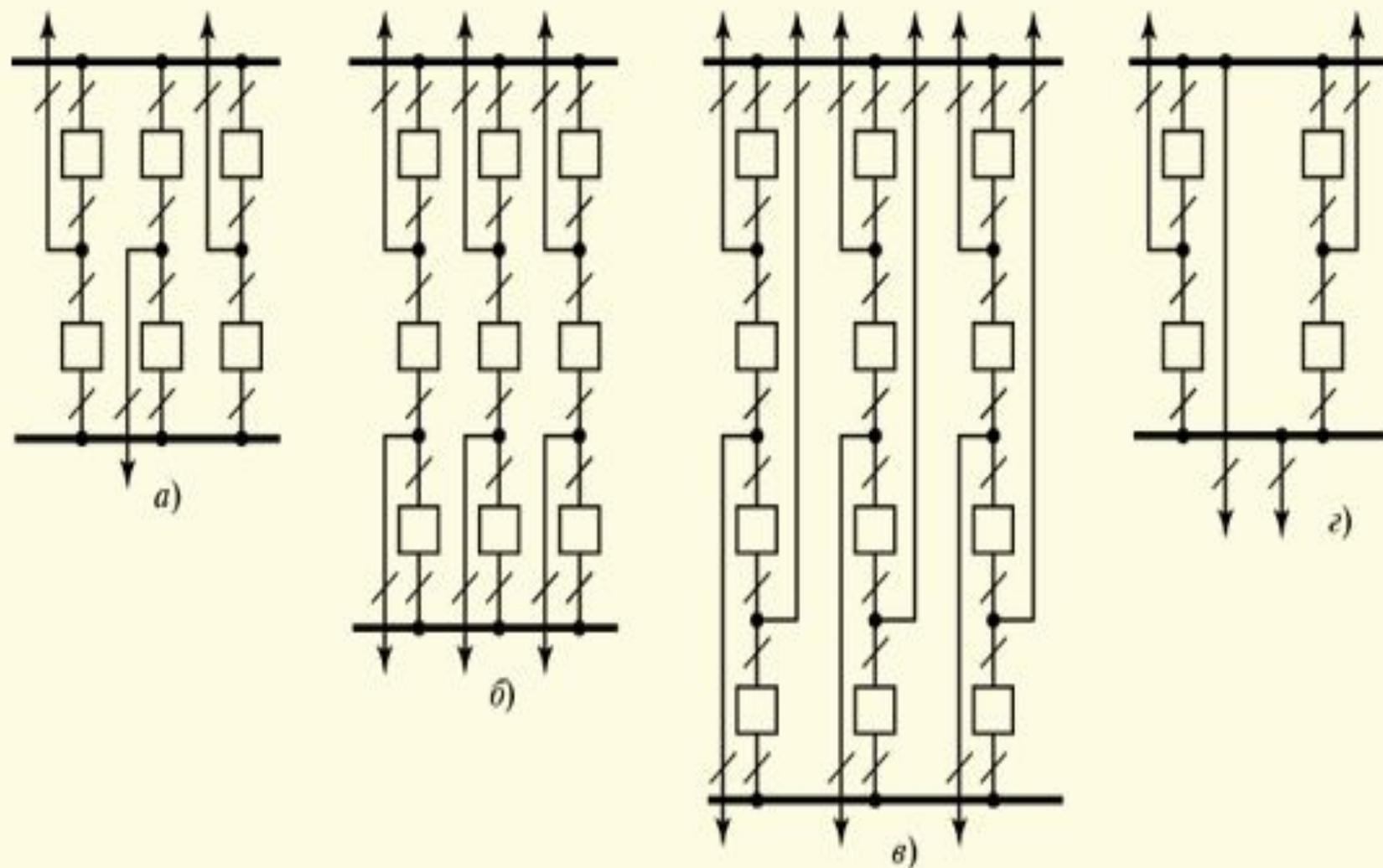
- По функциональному признаку электрические *аппараты высокого напряжения (АВН)* подразделяются на следующие виды:
- коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, короткозамыкатели, отделители);
- защитные и ограничивающие аппараты (предохранители, токоограничивающие реакторы, разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений);
- комплектные распределительные устройства (КРУ).
- Коммутационные аппараты используются для формирования необходимых схем передачи энергии от ее источника (электростанции) к *потребителю*.

- *Выключатели* предназначены для оперативной и аварийной коммутации в *энергосистемах*, т.е. выполнения операций включения и отключения отдельных *цепей* при ручном или автоматическом управлении.
- Во включенном состоянии выключатели должны беспрепятственно пропускать токи нагрузки. Характер режима работы этих аппаратов несколько необычен: нормальным для них считается как включенное состояние, когда они обтекаются током нагрузки, так и отключенное, при котором они обеспечивают необходимую электрическую изоляцию между разомкнутыми участками цепи.
- Коммутация цепи, осуществляемая при переключении выключателя из одного положения в другое, производится нерегулярно, время от времени, а выполнение им специфических требований по отключению возникающего в цепи короткого замыкания чрезвычайно редко.
- Выключатели должны надежно выполнять свои функции в течение срока службы (25 лет), находясь в любом из указанных состояний, и одновременно быть всегда готовыми к мгновенному эффективному выполнению любых коммутационных операций, часто после длительного пребывания в неподвижном состоянии.
- Отсюда следует, что они должны иметь очень высокий коэффициент готовности: при малой продолжительности процессов коммутации (несколько минут в год) должна быть обеспечена постоянная готовность к осуществлению коммутаций.

- **Разъединители** применяются для коммутации обесточенных при помощи выключателей участков токоведущих систем, для переключения РУ с одной ветви на другую, а также для отделения на время ревизии или ремонта силового электротехнического оборудования и создания безопасных условий от смежных частей *линии*, находящихся под напряжением. Разъединители способны размыкать электрическую цепь только при отсутствии в ней тока или при весьма малом токе. В отличие от выключателей разъединители в отключенном состоянии образуют видимый разрыв цепи. После отключения разъединителей с обеих сторон объекта, например выключателя или *трансформатора*, они должны заземляться с обеих сторон либо при помощи переносных заземлителей, либо специальных заземляющих ножей, встраиваемых в конструкцию разъединителя.
- **Отделитель** служит для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за малое время (не более 0,1 с). Он подобен разъединителю, но снабжен быстродействующим приводом.
- **Короткозамыкатель** служит для создания искусственного короткого замыкания (КЗ) в цепи высокого напряжения. Конструкция его подобна конструкции заземляющего устройства разъединителя, но снабженного быстродействующим приводом.

В соответствии с принятым условным делением различают *четыре основные группы схем РУ:*

- **схемы с коммутацией присоединения одним выключателем**— одна-две (в западных странах одна-две-три, реже — четыре и даже пять) системы сборных шин с обходной системой шин либо без нее;
- **схемы с коммутацией присоединения двумя выключателями**— две системы сборных шин с двумя выключателями на присоединение (схема 2/1), две системы сборных шин с тремя выключателями на два присоединения (схема 3/2 или полуторная), две системы сборных шин с четырьмя выключателями на три присоединения (схема 4/3),
- **схемы с коммутацией присоединения тремя и более выключателями**— связанные многоугольники, генератор—трансформатор—линия с уравнительно-обходным многоугольником, трансформаторы—шины;



Примеры схем РУ второй группы:

a — схема 2/1; *б* — схема 3/2; *в* — схема 4/3; *г* — многоугольник (четырёх-угольник)

Электроэнергетика – ведущая отрасль России, обеспечивающая успешное развитие всех отраслей от добывающих до перерабатывающих. Кроме того, энергетика является основой жизнеобеспечения страны.

- Особенности электроэнергетики определяются технологией производства электроэнергии и ее потреблением, основными из которых являются:
- Неразрывность процессов производства и потребления электроэнергии.
- Многомерность, нелинейность и взаимозависимость координат управления.
- Изменчивость схемы и режима.
- Значительная протяженность и распределенность по территории.
- Инерционность объекта управления.
- Ограниченная наблюдаемость.
- Ограниченная управляемость.
- Необходимость регулярного вывода в ремонт оборудования без нарушения основного технологического процесса

Следовательно, тактические и стратегические функции управления должны опираться на функции оперативного управления и обеспечивать их взаимодействие на всех этапах: генерации, передачи, распределения электрической энергии, а также обеспечения ресурсами (см. рисунок 1).

Обслуживание - (s)
Технология - (t)
Ресурсы - (r)

Менеджмент - (M)



Математические
модели менеджмента

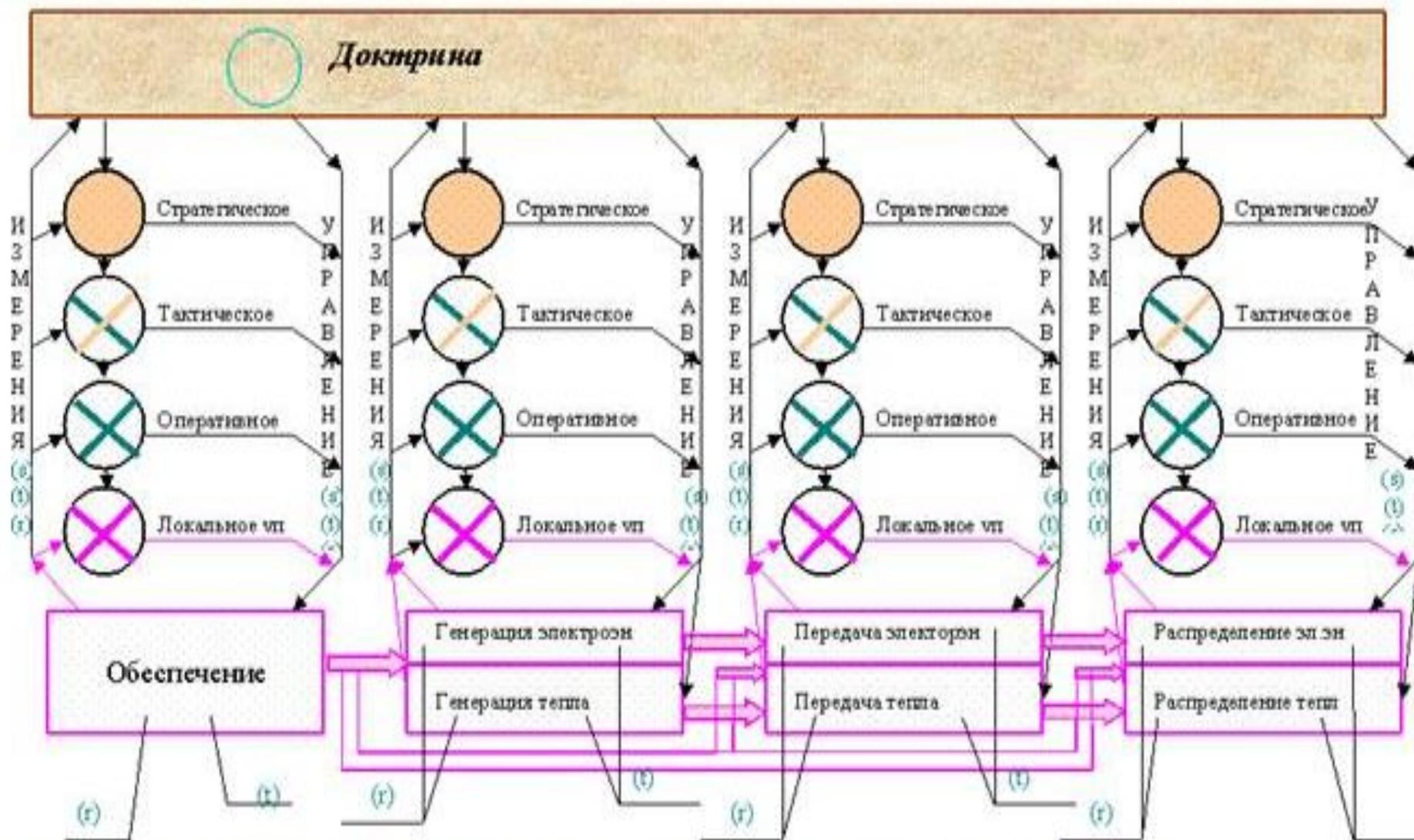


Рисунок 1. Схема функций управления Электроэнергетикой России

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ (ПА)

Одной из основных задач АСДУ является противоаварийное управление с целью локализации аварий и ликвидации аварийного режима работы ЭЭС или отдельных ее частей.

Для такого управления в настоящее время разработан ряд устройств противоаварийной автоматики (ПА). Для решения этой задачи во всех энергосистемах введена система ПА. В соответствии с требованиями, которые предъявляются к каждому элементу системы ПА, ее структуру можно разделить на три подсистемы:

- предупредительную;
- локализирующую;

РЕЖИМЫ

Состояние ЭЭС на заданный момент или отрезок времени называется **режимом**. Режим определяется составом включенных основных элементов ЭЭС и их нагрузкой. Значения напряжений, мощностей и токов элементов, а также частоты, определяющие процесс производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, называются **параметрами режима**.

Если параметры режима неизменны во времени, то режим ЭЭС называется **установившимся**, если изменяются — то **переходным**.

Основная задача энергосистемы — **экономичное и надежное электроснабжение потребителей** без перегрузок основных элементов ЭЭС и при обеспечении заданного качества электроэнергии. В этом смысле основной режим ЭЭС — нормальный установившийся. В таких режимах ЭЭС работает большую часть времени.

По тем или иным причинам допускается работа ЭЭС в утяжеленных установившихся (вынужденных) режимах, которые характеризуются меньшей надежностью, некоторой перегрузкой отдельных элементов и, возможно, ухудшением качества электроэнергии.

Длительное существование утяжеленного режима нежелательно. Наиболее опасными для ЭЭС являются **аварийные режимы**, вызванные короткими замыканиями и разрывами цепи передачи

СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ И ИХ ФУНКЦИИ

Управление режимами ЭЭС осуществляется оперативным персоналом а также автоматическими регуляторами и устройствами **противоаварийной автоматики** (ПА). Практически вся автоматика в настоящее время построена на основе микропроцессорных систем. Настройка автоматических систем управления производится в соответствии с заранее выбранными характеристиками так, чтобы обеспечить экономичность работы ЭЭС и соответствие требованиям качества отпускаемой потребителям электроэнергии. Выбор видов используемых автоматических устройств, оценка их эффективности и влияния на надежность работы ЭЭС производятся на основе специальных оптимизационных расчетов. Управление режимами ЭЭС должно быть оптимальным, т.е. дающим наилучший технико-экономический эффект в условиях действия противоположных факторов.

Для ЭЭС как объекта управления характерны наличие большого числа сложных прямых и обратных связей между многочисленными ее элементами и целевая направленность процесса функционирования.

Наиболее важные автоматические устройства и их назначение.

Автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) синхронных машин поддерживают напряжение на их шинах на требуемом уровне и, в случае необходимости, форсируют возбуждение, улучшая тем самым устойчивость работы ЭЭС.

Автоматические регуляторы частоты вращения (АРЧВ) турбин генераторов поддерживают требуемую частоту вращения роторов генераторов и тем самым частоту в ЭЭС.

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ) поддерживает неизменными баланс активной мощности и частоту.

Релейная защита (РЗ) элементов ЭЭС действует на сигнал или на отключение элементов энергосистемы в случае их повреждения или ненормальной работы. Информация о состоянии защищаемого объекта непрерывно поступает в защитное устройство, которое обрабатывает ее и в случае нарушения нормального режима работы устанавливает место и вид повреждения.

Автоматическое включение резерва (АВР) осуществляет ввод резервного оборудования при аварийном отключении основного.

Автоматическое повторное включение (АПВ) повышает надежность электроснабжения потребителей за счет повторного включения ЛЭП после ее автоматического отключения посредством релейной защиты.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) ЭЭС обеспечивает сохранение баланса мощности при тяжелой аварии, если она сопровождается значительным понижением частоты в энергосистеме (ниже допустимого уровня). В этом случае АЧР отключает ряд наименее ответственных, заранее выбранных потребителей, чтобы предотвратить значительное снижение частоты и напряжения в ЭЭС, следовательно, сохраняет устойчивость работы ЭЭС.

Автоматический частотный пуск (АЧП) агрегатов ГЭС осуществляется при снижении частоты в ЭЭС ниже допустимого

- Кроме того, в объединенной ЭЭС существуют:
- 1) *автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ)*, которая выполняет следующие функции:
 - автоматическую частотную разгрузку (АЧР);
 - дополнительную разгрузку, действующую при больших местных дефицитах мощности в целях предотвращения лавины частоты и напряжения;
 - мобилизацию резервов активной мощности;
 - выделение электростанций или генераторов со сбалансированной нагрузкой, выделение генераторов на питание собственных нужд электростанций;
 - восстановление питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ);
- 2) *автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ)*, которая осуществляет отключение генераторов электростанций в случае повышения частоты выше допустимого уровня;
- 3) *автоматика разгрузки оборудования (АРО)*, которая снижает ток в контролируемом оборудовании в случае недопустимой его перегрузки; в зависимости от перегрузки АРО может:
 - разгрузить турбину, отключить генераторы электростанций;
 - отключить нагрузку;
 - разделить сеть;
 - отключить перегруженное оборудование.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) ЕЭС представляет собой иерархически построенную человеко-машинную систему, обеспечивающую по всей территории, охватываемой электрическими сетями, сбор, преобразование, передачу, переработку и отображение информации о состоянии и режиме энергосистемы, формирование на основе собранной информации, передачу и реализацию управляющих команд с целью выполнения системой (за счет располагаемых средств) функций надежного и экономичного снабжения электрической и тепловой энергией требуемого качества всех ее потребителей

•АСДУ включает в себя:

- управляющие вычислительные центры (УВЦ) в ЦДУ ЕЭС, ОДУ ОЭС, ЦДС ЭЭС, диспетчерские пункты (ДП) предприятий электрических сетей (ПЭС);
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) электростанций, энергоблоков электростанций и подстанций;
- централизованные и локальные системы автоматического регулирования и управления.

Основной составляющей АСДУ в УВЦ являются оперативные информационно-управляющие комплексы (ОИУК), с помощью которых диспетчерский персонал ЦДУ, ОДУ и ЦДС осуществляет:

- контроль за текущим состоянием управляемой энергосистемы (схемой, режимами и средствами управления),
- ретроспективный анализ происшедших событий, оценку перспективных режимов.

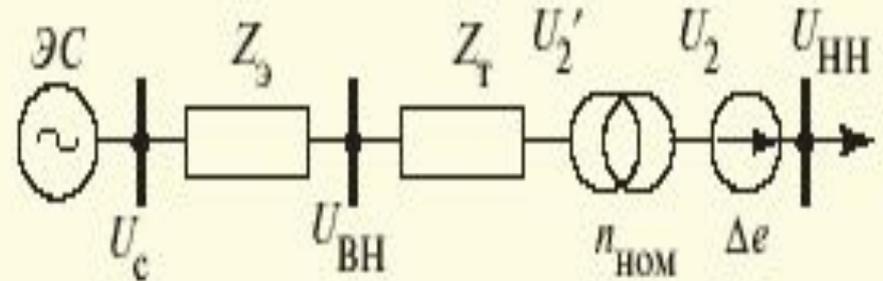
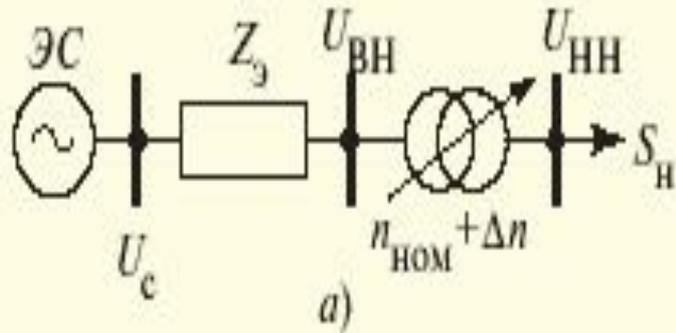
Используя информацию о текущем и перспективном состоянии ЭЭС, графиках нагрузки, планах проведения ремонтных работ по оперативным заявкам с учетом указаний и рекомендаций диспетчерских инструкций и директивных материалов, диспетчерский персонал обеспечивает:

- выработку воздействий на управляемые объекты (регулирование режима ЭЭС по активной и реактивной мощности, включая регулирование графиков нагрузки электростанций);
- вывод оборудования и средств автоматического и оперативного управления в ремонт и ввод их в работу после ремонта;
- ввод в работу нового оборудования и средств управления;
- изменение схемы контролируемой сети;
- ликвидацию аварийных ситуаций и восстановление нормального режима работы ЭЭС;
- ведение оперативной отчетности;
- передачу оперативной информации.

Управляющие воздействия обеспечивают изменение:

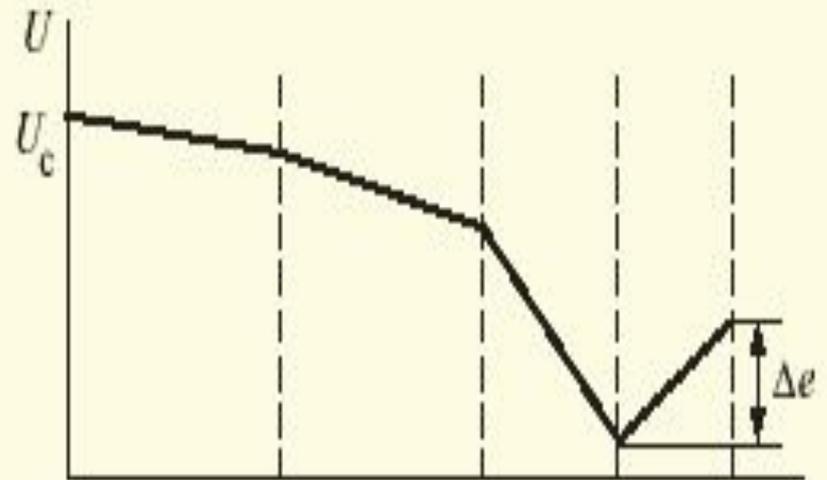
- схемы электрической сети;
- состава оборудования электростанций и подстанций;
- алгоритмов и параметров настройки средств автоматического и оперативного управления;
- устройств автоматики;
- нагрузки агрегатов электростанций;
- нагрузки потребителей;
- напряжений в контрольных точках электрической сети (посредством воздействия на возбуждение синхронных машин, включения или отключения устройств компенсации реактивной мощности, переключения анцапф трансформаторов)

Действие трансформатора как регулирующего устройства показано на рис. 14.3, а. От шин подстанции системы через сеть (Z_3) и трансформатор питается нагрузка с мощностью S_H .



Изменение напряжения в электропередаче при использовании трансформатора с РПН:

а — схема узла нагрузки с трансформатором; б — схема замещения с эпюрой изменения напряжений



б)

