

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»
Кафедра Нефтегазового дела и энергетики

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

учебно-методическое пособие для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(профиль Электроэнергетические системы и сети) для всех форм обучения

Майкоп 2019

УДК 621.31(07)
ББК 31.2
В 24

СОСТАВИТЕЛЬ: КОХУЖЕВА Р.Б.

Данный конспект учебно-методического пособия сведения об энергетике, как сфере деятельности человеческого общества, об энергетических ресурсах, энергетических системах и сетях, передаче электроэнергии, электрических машинах.

В разделах рассматривается общая энергетика, управление энергетикой, электро-, гидро- и теплоэнергетика, атомная энергетика.

Лекция №1

Общая характеристика курса

Энергетика как сфера деятельности человеческого общества является большой глобальной системой, включающей как подсистемы окружающей среду и различные отрасли народного хозяйства.

Под энергетикой, или энергетической системой, следует понимать совокупность больших естественных (природных) и искусственных (созданных человеком) систем, предназначенных для получения, преобразования, распределения и использования в народном хозяйстве энергетических ресурсов всех видов.

Под энергетическими ресурсами понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, возможная для использования ее человеком. Энергетика рассматривается как большая система, включающая в себя на правах подсистем части других больших систем.

Будучи большой системой и взаимодействуя с подсистемами (рисунок 1.1), энергетика в теоретическом аспекте связана с рядом научных дисциплин и обычно рассматривается состоящей из отдельных разделов. В этих разделах выделяют общую энергетику, управление энергетикой, включая проблемы кибернетики электрических систем, электро-, гидро- и теплоэнергетику, атомную энергетику. К энергетике в широком плане относится также топливоснабжение, включающее в себя снабжение ископаемым топливом (углем, торфом, газом, нефтью, ядерным горючим)

Энергетика имеет большое значение в жизни человечества. Уровень ее развития отражает уровень развития производительных сил общества и возможности научно-технического прогресса.

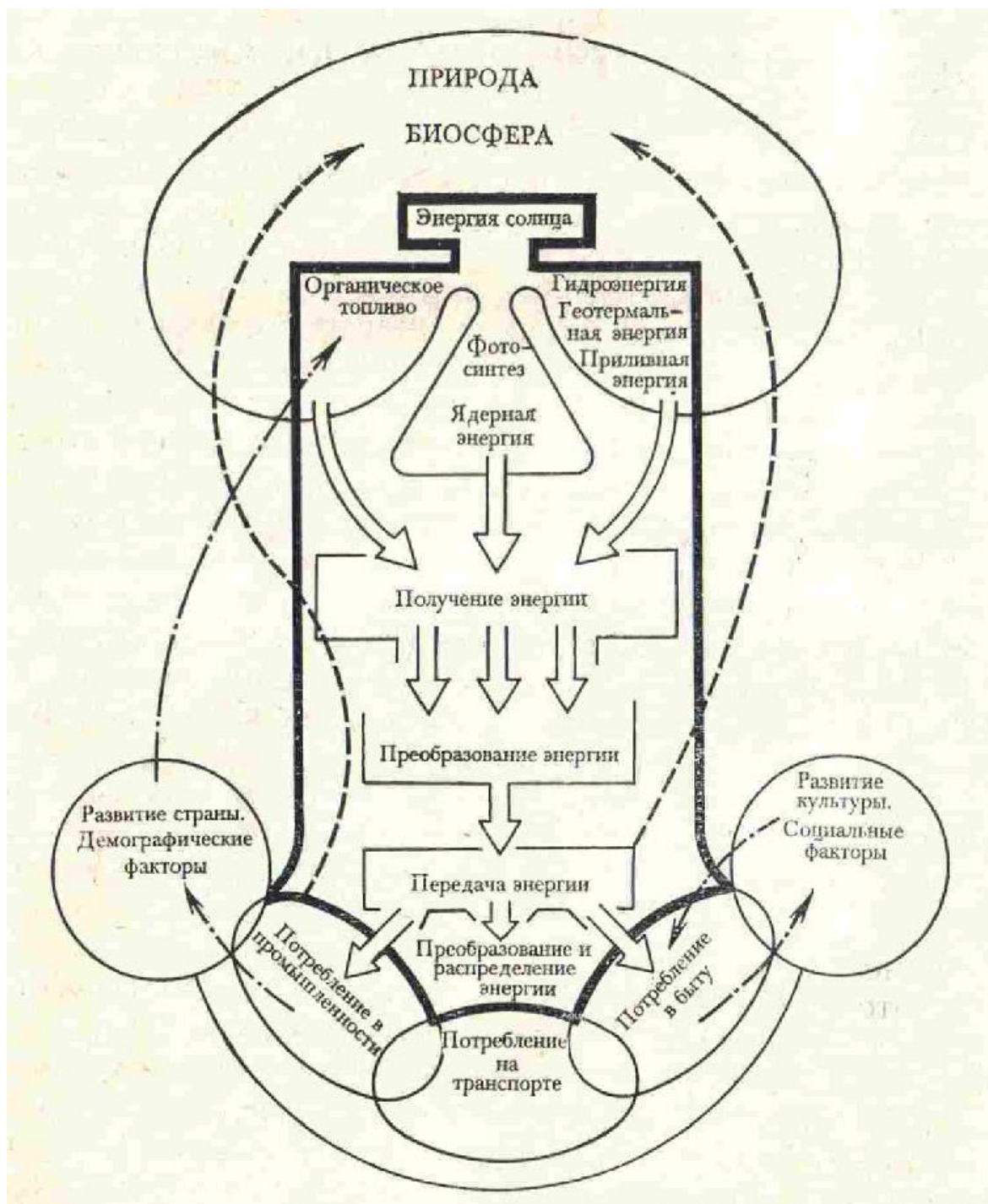


Рис.1.1. Структурная схема энергетики и связей ее с другими подсистемами.

Профиль специальности

Собственно энергетические специальности подразделяются на *электро-, тепло- и гидроэнергетические*. Кроме того, имеется группа топливно-энергетических специальностей, где готовятся специалисты по разработке полезных ископаемых, проектированию и эксплуатации

нефтепроводов и газопроводов. К группе строительных специальностей относятся такие, как строительство тепловых и гидравлических станций.

Студенты начиная с 1-курса обучения в высшем учебном заведении должны вырабатывать способность критически мыслить, самостоятельно ставить и решать задачи, овладевать знаниями и творчески их использовать.

Студент, обучающийся в высшем учебном заведении, должен не только овладеть знаниями по своей основной специальности. В будущем он должен стать организатором производства, руководителем коллектива. А эти качества также должны, быть приобретены в вузе.

Три аспекта энергетики

Энергетика в ее современном состоянии И тем более в ее развитии должна рассматриваться в трех аспектах - *техническом, социально – политическом и биосферическом*, или экологическом.

Технический аспект энергетики характеризуется прежде всего огромными мощностями, которые получает человек, используя энергетический потенциал планеты. Одна из основных задач энергетики - снижение потерь энергии на всех стадиях ее преобразования (от получения энергетических ресурсов до конечного их использования). Для этого необходимо и улучшение оборудования, и более разумное использование полученной энергии, что уже выходит из сферы чисто технической и должно рассматриваться в социальном аспекте.

Снижение потерь при передаче, получении и распределении электрической энергии зависит в значительной степени от количества израсходованного металла, в основном алюминия. Снижение потерь энергии путем утепления промышленных и жилых зданий, выработки правильных тарифов на электроэнергию, которые бы стимулировали потребление энергии в «провалах» графика нагрузки и приводили к уменьшению этого потребления во время максимумов.

Вопросы быстро нарастающего использования энергетических ресурсов

планеты должны рассматриваться не только в техническом аспекте, но и в аспекте влияния энергетических установок и процессов добычи топлива на окружающую среду, то есть в аспекте *экологическом*. При этом возникает общий технико-экологический вопрос: при столь высоких темпах развития энергетики не наступит ли полное истощение всех запасов топлива и не произойдет ли это раньше, чем человечество получит в свое распоряжение новые огромные ресурсы термоядерной энергии. Запасы топлива на планете оцениваются по-разному, с очень большими расхождениями в зависимости от вида запасов: готовые к использованию оцениваются в 25 трлн. МВт·ч, разведанные составляют 50 трлн. МВт·ч, а прогнозируемые — 100 трлн. МВт·ч. Иными словами, соотношение запасов в зависимости от вида можно записать как 1:2:4. Кроме того, на приведенные цифры существенно влияет способ подсчета запасов топлива, а именно: учитывалось ли топливо, находящееся на морском дне, учитывались ли битуминозные пески, какая глубина добычи топлива предполагалась и т. д. Во всяком случае можно утверждать, что еще не на одну сотню лет человечеству хватит ископаемого топлива, получаемого из недр Планеты. Например, предполагается, что угля хватит на 600-700 лет. Это, конечно, не означает, что экономия топлива не является важнейшей задачей.

Расходование топлива относится не только к техническому и биосферическому аспектам, но и в значительной мере к *социально-политическому* аспекту. Так, 30% населения земного шара потребляет более 90 % всей вырабатываемой на планете энергии, на долю же 70 % населения, преимущественно в развивающихся странах, приходится менее 10% всей энергии. Между тем, уровень промышленности, состояние быта и развитие культуры теснейшим образом связаны с количеством используемой энергии.

Запасы энергии разных видов распределены на планете неравномерно и по количеству, и по возможности их реализации . В этом плане интересно сопоставить требуемое число скважин для добычи 500 МЛН. т нефти в разных странах. В США для этого необходимо 500 тыс. скважин, в СССР - 50 тыс. скважин, в Иране - Только 600 скважин, в Саудовской Аравии - 300, в Кувейте -

100 скважин. Многие из Стран, потребляющих наибольшее количество энергии (70 %), используют импортируемые энергоносители. Так, Япония более 80% энергетических ресурсов (преимущественно нефть) ввозит из стран, лежащих в районе Персидского залива. Европейские страны получают оттуда же около 20 % энергии.

Созданные человеком энергетические установки, имеющие огромные суммарные мощности, оказывают заметное влияние на естественные процессы, происходящие в биосфере. Это влияние во многих случаях носит негативный характер, который необходимо учитывать при рассмотрении биосферического аспекта энергетики. Отсюда появляется задача широкого управления энергетикой, такого управления, которое бы осуществлялось не только в техническом аспекте, но и аспекте биосферическом, тесно связанном с социально-политическим аспектом.

Другим примером влияния аспекта биосферы может служить проект гидростанции в Гибралтаре, которая могла бы обеспечить дешевой электроэнергией всю Европу. От сооружения гидростанции отказались, так как последствия его были бы очень тяжелыми и далеко идущими. Ожидалось, что в результате создания плотины Средиземное море изменит, давление на дно, в результате чего изменится вулканическая деятельность во всем регионе. Отделение Средиземного моря от океана плотиной вызовет повышение его засоления и полную гибель всего живого, находящегося в море. Изменение водного баланса приведет к тому, что море отойдет от берегов и такие города, как Ницца и Марсель во Франции, Бари в Италии, окажутся не приморскими городами, а городами, находящимися среди песчаной пустыни. Разумеется, при этом ухудшился бы климат не только района Средиземного моря, но и всей Европы. Все эти вместе взятые и многие другие факторы способствовали отказу от такого заманчивого в техническом и экономическом отношении сооружения.

В ряде стран, в первую очередь, разумеется, в тех, где широко развит туризм, остро стоит вопрос об изменении ландшафта сооружением линий

электропередачи, труб электростанций и др., что отпугивает туристов. Во Франции, Австрии, Италии энергетиками проводятся специальные работы, определяющие влияние технических сооружений на ландшафт. При этом оказывается, что в ряде случаев именно из-за этого влияния приходится менять технические решения. Например, снабжение юга Италии электроэнергией могла бы осуществляться 5-8 линиями существующего напряжения 400 кВ. Однако при этом потребуется большая площадь (большая полоса) отчуждения, а опоры и провода многочисленных линий передач не впишутся в ландшафт. Более приемлемым оказывается сооружение линии 1200 кВ вдоль автомобильной трассы, что нанесет минимальный эстетический урон окружающей среде. Таким образом, появляется новый вид отрицательного влияния на окружающую среду - эстетическое.

Энергетика, впрочем, как и вся промышленность, оказывает следующие отрицательные воздействия на окружающую среду:

- механическое загрязнение воздуха воды и земли частицами переработанного продукта (зола и др.);
- химическое загрязнение воздуха, воды земли;
- радиоактивное загрязнение воздуха, воды и земли;
- тепловое загрязнение;
- ионизационное загрязнение;
- электромагнитное высоко- и низкочастотное загрязнение;
- шумовое загрязнение;
- расход воздуха (кислорода);
- расход земли;
- расход воды.

Значение энергетики в техническом прогрессе

Развитие человеческого общества и его успехи на пути цивилизации и прогресса непосредственно связаны с повышением производительности труда и

улучшением материальных условий жизни людей. Научно-технический и социальный прогресс сопровождается увеличением потребляемой энергии и освоением новых, более эффективных ее видов.

Количество потребляемой современными машинами энергии очень велико. Представление о нем может дать следующее образное сравнение: все работоспособное население мира, работая с полным напряжением физических сил по 8 ч в сутки, не смогло бы за год выработать одной сотой доли энергии, получаемой в настоящее время за счет сжигания топлива и энергии рек.

Ускорение экономического развития страны на основе широкого использования совершенных автоматических управляемых машин, заменяющих физический и нетворческий умственный труд, возможно только при увеличении потребляемой энергии и росте производительности труда.

Процесс потребления энергии на нашей планете исторически протекал крайне неравномерно. Ориентировочное представление о нем может дать приведенная на рисунке 1.2 кривая (сплошная линия), указывающая на резкое возрастание потребления энергии начиная с XX века. Так, человечество за всю историю своего существования израсходовало примерно 900-950 тыс. ТВт·ч энергии всех видов, причем более 2/3 этого количества приходится на последние 70 лет.

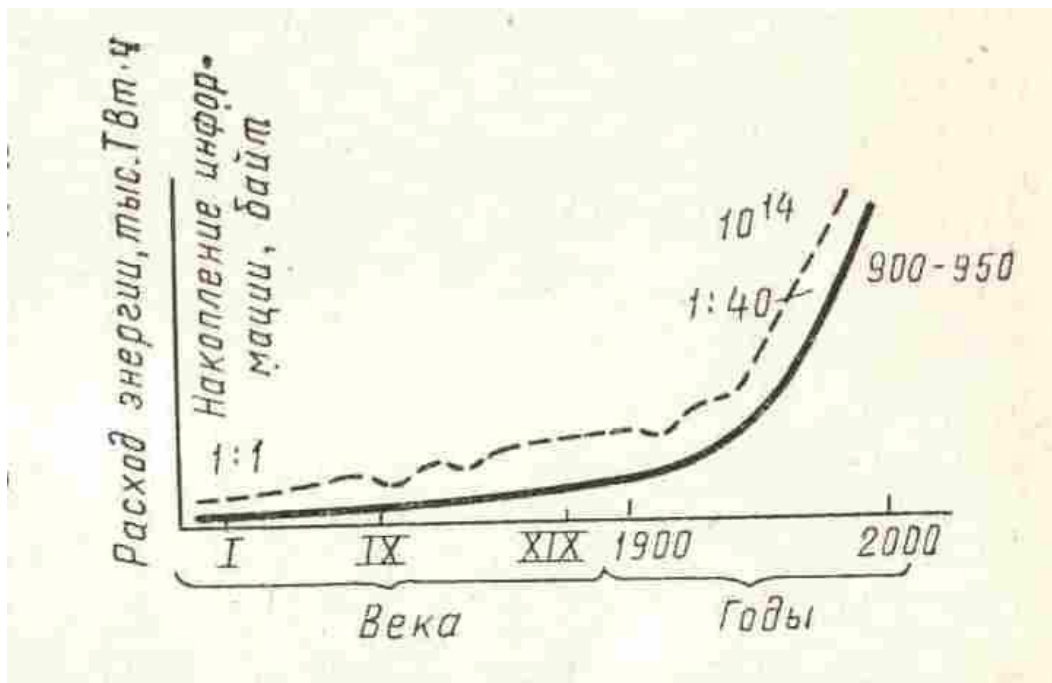


Рисунок 1.2. График измерения расходуемой человечеством энергии и развития культуры

Увеличение расходуемой энергии связано с развитием цивилизации, расширением и углублением знаний человека об окружающем мире. Объем знаний со временем увеличивается по мере того, как развивается культура - искусство, науки, открываются новые свойства материи.

Современный период развития техники, характеризующийся значительным потреблением энергии и по праву называемый периодом научно-технической революции, качественно отличается от предшествующих периодов развития.

При рассмотрении современной научно-технической революции следует учитывать историю развития техники, важнейшие ее достижения и научные открытия последних лет. Развитие новых областей связано с успехами в физике, радиоэлектронике, кибернетике, молекулярной биологии, бионике и многих других науках. Успехи в автоматизации, электрификации производства, транспортной технике также существенны для настоящих и будущих революционных изменений в энергетике и энергетической науке, которая, в свою очередь, существенно влияет на ход научно-технической революции.

Технический прогресс и развитие цивилизации с далеких исторических времен непосредственно связаны с количеством используемых энергоресурсов. Сознание человека, его разум развивались вместе с совершенствованием средств труда, развитием производительных сил.

Пытаясь проникнуть в тайны природы, люди стремились использовать ее возможности для своих нужд. Со временем им понятнее становились такие явления, как молния, солнечное тепло, морские приливы и отливы. И многие другие, которые для древних людей были таинственными. Преклоняясь перед ними и перед стихиями природы, человек обожествлял их. У многих древних народностей не случайно верховным богом считалось Солнце. В этом представлении о Солнце отражено его значение как источника почти всей энергии, используемой человечеством, как источника жизни. Солнечное тепло было первым источником энергии, которым пользовался человек.

Освоение природных энергетических ресурсов стимулировало создание машин, выполнявших довольно сложные операции и позволявших переложить на них значительную часть вначале физического, а затем (в настоящее время) и нетворческого умственного труда. Совершенствование машин освобождало время для наиболее творческой работы, позволяло глубже проникать в законы природы, используя их для своего блага. Это, в свою очередь, способствовало созданию более совершенных орудий труда.

Потребности в энергии постоянно возрастали, что вынуждало изыскивать новые энергоресурсы и новые способы преобразования энергии из одного вида в другой. Сегодня стало традиционным использование таких видов энергии, как энергия Солнца, химическая энергия органического топлива, механическая энергия воды в реках, морях и океанах, энергия ветра, внутриядерная энергия, получаемая при делении тяжелых ядер. Весьма перспективно использование термоядерной энергии, получаемой при синтезе легких элементов.

Бурный прогресс техники и тот уровень, которого она сейчас достигла, был бы невозможен без использования качественно новых видов энергии, в первую очередь электрической. Электрическая энергия широко применяется в

жизни современного человека. Электрическая энергия широко используется в промышленности для приведения в действие различных механизмов и непосредственно в технологических процессах, на транспорте, в быту. Работа современных средств связи - телеграфа, телефона, радио, телевидения - основана на применении электрической энергии. Без нее невозможно было бы развитие кибернетики, вычислительной техники, космической техники и т. д. Основные отличительные свойства электрической энергии состоят в том, что она может легко передаваться на большие расстояния и относительно просто с малыми потерями преобразовываться в другие виды энергии. Понятие энергетики нельзя ограничить рамками искусственных систем - систем, создаваемых человеком; необходимо учитывать теснейшее взаимодействие искусственных систем с естественными системами природы.

Понятие об электроэнергетической системе

Производство электрической энергии концентрируется преимущественно на крупных электростанциях, работающих совместно (параллельно). Центры потребления электрической энергии (промышленные предприятия, города, сельские районы и т. п.) удалены от её источников на десятки, сотни и тысячи километров и распределены на значительной территории. Для характеристики системы передачи и распределения электрической энергии (ЭЭ) и всей структуры «генерация – передача – потребление» введём некоторые понятия, термины и определения.

Номинальное напряжение (ток или какой-либо другой параметр режима) — это такое напряжение, которое соответствует нормальной и экономичной работе элемента электрической системы. Существует шкала стандартных номинальных напряжений: 0,22; 0,38; 0,66; 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ.

Электроустановка – совокупность аппаратов, машин, оборудования и сооружений, предназначенных для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления ЭЭ. Электроустановки (ЭУ) разделяют по

величине напряжения до 1000 В (низковольтные ЭУ) и выше 1000 В (высоковольтные ЭУ).

Электростанция – электроустановка, служащая для производства (генерации) электрической энергии в результате преобразования энергии, заключённой в природных энергоносителях (уголь, газ, вода и др.) при помощи турбо- и гидрогенераторов.

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 (повысительной), 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.).

Распределительное устройство (РУ) – электроустановка, входящая в состав любой подстанции; предназначена для приёма и распределения электроэнергии на одном напряжении (до 1000 В и более). РУ содержат коммутационные аппараты, устройства управления, защиты, измерения и вспомогательные сооружения.

Наряду с подстанциями электрическая энергия может распределяться на распределительных пунктах – устройствах, предназначенных для приёма и распределения ЭЭ на одном напряжении (без трансформации) и не входящих в состав подстанции.

Линия электропередачи (ЛЭП) – электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние с возможным промежуточным отбором.

Потребитель ЭЭ, электроприёмник (ЭП) – аппарат, агрегат, механизм (электродвигатель, преобразователь, светильник и др.), потребляющий или преобразующий ЭЭ в другие виды энергии. С позиции структурной иерархии

системы передачи и распределения ЭЭ к потребителям может быть отнесена совокупность электрических нагрузок (ЭН) (дом, посёлок, завод и т. д.), получающих электропитание с шин подстанций того или иного напряжения.

Элементами системы передачи и распределения ЭЭ являются: линии электропередачи различных конструкций и напряжений (W), устройства продольной и поперечной компенсации (КУ) параметров ЛЭП (установки продольной компенсации и шунтирующие реакторы); трансформаторные подстанции (силовые трансформаторы (Т) и автотрансформаторы, выключатели, разъединители, контрольно-измерительные приборы и т. п.); источники реактивной мощности (ИРМ) (конденсаторные батареи, синхронные и статические тиристорные компенсаторы); устройства защиты и автоматики, т. е. автоматические регуляторы (АР), устройства релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА), средства диспетчерского и технологического управления (СДТУ).

Электропередача – это линия с повышающей и понижающей подстанциями, служащая для транзитной передачи электроэнергии от станции к концентрированному потребителю, получающему электроэнергию от шин низшего напряжения понижающей подстанции.

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. Электрическая сеть эквивалентна развитой высоковольтной сети электропередач. Отдельная электропередача в узком смысле представляет собой электрическую сеть.

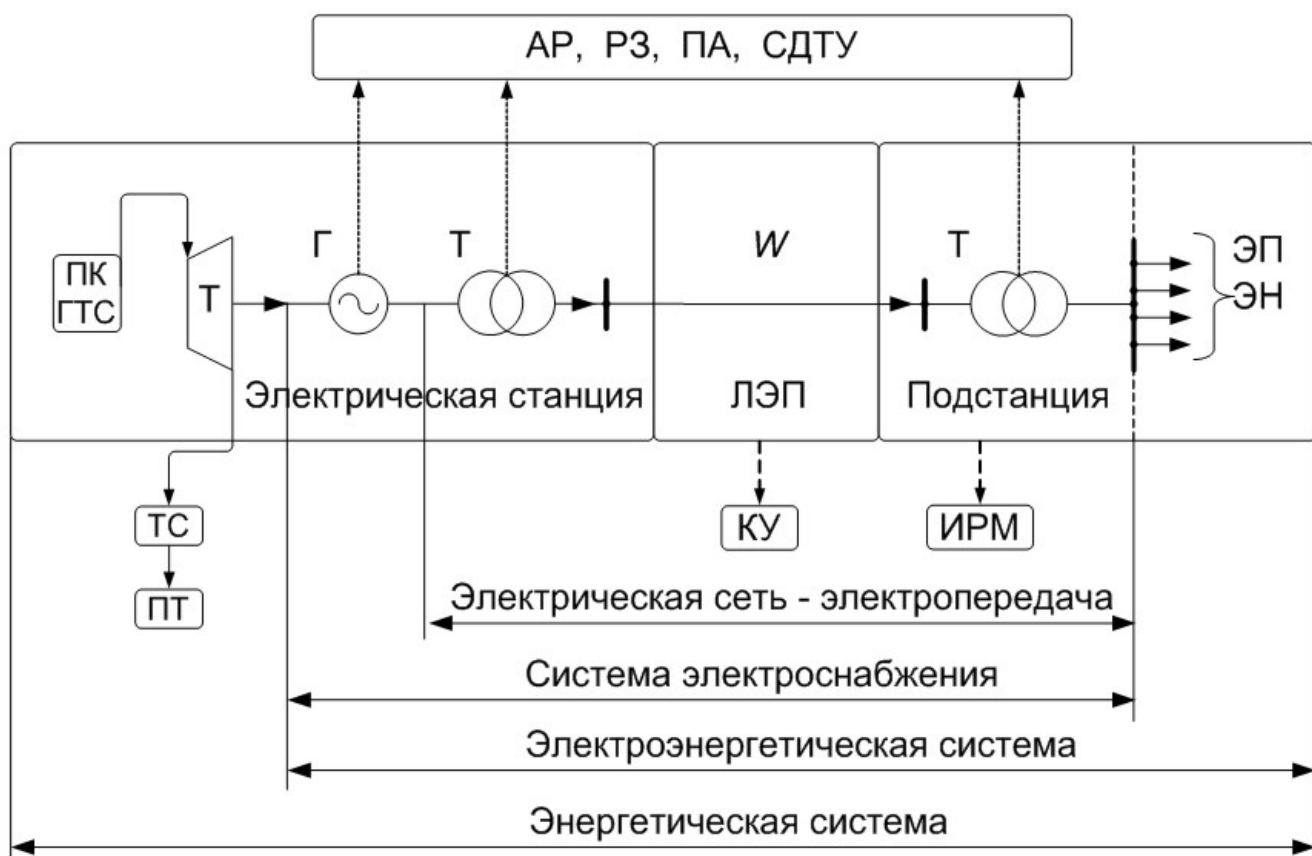


Рисунок 1.3. Взаимосвязь объектов, обеспечивающих производство, передачу, распределение и потребление электрической и тепловой энергии

Развитая электрическая сеть, как по составу электроустановок, так и по функциональному назначению, образует систему передачи и распределения электроэнергии.

В современных условиях отдельные электропередачи и в целом системы передачи распределения электроэнергии не работают изолированно; они связывают (объединяют) большинство электрических станций в электроэнергетическую систему для совместной (параллельной) работы на общую электрическую нагрузку и централизованного снабжения электроэнергией всех потребителей.

Электроэнергетическая (электрическая) система (ЭЭС) – совокупность электрической части электростанций, электрических сетей (сетей электропередач) и потребителей электроэнергии (электроприёмников), а также устройств управления, регулирования и защиты, объединенных общностью

режима и непрерывностью (одновременностью) процессов производства, передачи и потребления электрической энергии.

Энергетическая система (энергосистема) – объединение электростанций, электрических и тепловых сетей (ТС) и ряда установок и устройств для производства, передачи, распределения и потребления электрической и тепловой энергии. Установки и устройства: источники энергии – паровые котлы (ПК) или гидротехнические сооружения (ГТС), турбины (Т), генераторы (Г); нагрузки – потребители электрические (ЭН) и тепловые (ПТ) и др.

Более широким, чем электрическая сеть, является понятие «система электроснабжения». Она объединяет все электроустановки, предназначенные для обеспечения потребителей электрической энергией. Из рисунка 1.3 ясно, что система электроснабжения эквивалентна (с учетом ЭП) электрической части энергетической системы – электроэнергетической системе.

Электрическая сеть или эквивалентная ей система передачи и распределения электрической энергии, являющаяся частью электроэнергетической системы, должна удовлетворять ряду требований: обеспечивать надёжное, а в отдельных случаях бесперебойное электроснабжение, устойчивость работы, питать потребители электроэнергией нормированного качества, удовлетворять условиям экономичности сооружения, эксплуатации и развития (расширения), безопасности и удобства эксплуатации, учитывать возможность выполнения релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики.

Лекция №2

Энергетические ресурсы Земли и их использование

Под *энергоресурсами* понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия. Энергия — количественная оценка различных форм движения материи, которые могут превращаться друг в друга, — условно подразделяется по видам: химическая,

механическая, электрическая, ядерная и т. д.

Из большого разнообразия энергоресурсов, встречающихся природе, выделяют основные, используемые в больших количествах для практических нужд.

К основным энергоресурсам относят энергию рек, водопадов, различные органические топлива, такие, как *уголь, нефть, газ; ядерное топливо — тяжелые элементы урана и тория*, а в перспективе — *легкие элементы*, и т. д. Энергоресурсы разделяют на возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (*вода, ветер* и т.д.), а ко вторым — ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (например, *каменный уголь*).

Энергия, непосредственно извлекаемая в природе (энергия топлива, воды, ветра, тепла Земли, ядерная), называется *первичной*.

Энергия, получаемая человеком после преобразования первичной энергии на специальных установках — станциях, — называется *вторичной* (энергия электрическая, пара, горячей воды и т. д.).

Получение энергии необходимого вида и снабжение этой энергией потребителей происходят в процессе энергетического производства, в котором можно выделить пять стадий:

1. Получение и концентрация энергетических ресурсов: добыча и обогащение топлива, концентрация напора с помощью гидротехнических сооружений и т. д.

2. Передача энергетических ресурсов к установкам, преобразующим энергию, осуществляемая перевозками по суше и воде или перекачкой по каналам, трубопроводам воды, угля, газа и т. д.

3. Преобразование первичной энергии во вторичную, имеющую наиболее удобную в данных условиях для распределения и потребления форму, обычно в электрическую энергию и тепло.

4. Передача и распределение преобразованной энергии.

5. Потребление энергии, осуществляемое как в той форме, в которой она доставлена потребителю, так и в еще раз преобразованной.

Целесообразность передачи на расстояние тех или иных носителей энергии определяется их энергоемкостью, под которой понимается количество энергии, приходящееся на единицу массы физического тела. Среди энергоносителей, применяемых в настоящее время, наибольшей энергоемкостью обладают радиоактивные изотопы ураны и тория. Их энергоемкость достигает 2,22 ГВт*ч/кг ($8 \cdot 10^{12}$ Дж/кг).

За единицу условного топлива принимают такое топливо, при сгорании 1 кг которого выделяется 29,3 МДж тепла. Эта условная единица используется для сопоставления различных видов топлива. Мировые запасы топлива приведены в таблице 2.1. Таблица 2.1.

Вид топлива	Млрд. тонн усл. топлива	Млн. ТВт*ч
Каменный уголь	3000	24,4
Торф	100	0,812
Нефть (свободная)	90	0,73
Нефть (в битумных песках и сланцах)	200	1,62
Природный газ	90	0,73

Первыми источниками тепла были различные органические отходы и древесина. Древесина на протяжении длительного периода, вплоть до XVI в., была основным энергоносителем. Впоследствии, по мере относительно быстрого освоения других, более энергоемких источников энергии (угля, нефти), сокращается потребление древесины, использование которой в качестве энергоносителя до 2000 г. должно полностью прекратиться.

Среди всех видов доступных энергоресурсов наибольшая доля приходится на уголь— 75—85%; значительны запасы нефти (10— 15%) и газа (5—10%); все остальные энергоресурсы в совокупности составляют меньше 2%.

Разумное сочетание различных энергоресурсов и плановое развитие энергетики несомненно позволили бы избежать тех трудностей,

приобретающих иногда катастрофический характер, которые возникли в 1973—1975 гг. в ряде капиталистических стран. Эти трудности, получившие в западных капиталистических странах и США название энергетического кризиса, были вызваны многолетним хищническим использованием международными монополиями сырьевых ресурсов стран и континентов.

Значения запасов энергоресурсов и показателей их добычи определяются эффективностью их полезного употребления. Усовершенствование технических установок, позволяющее более полно, (т. е. с большим к. п. д.) использовать первичные энергоресурсы, означает, что для получения одного и того же количества энергии требуется все меньшее количество первичных ресурсов. Если к оценке использования первичных ресурсов подойти с позиций учета их энергии по веществу, определяемой из известного соотношения $E = mc^2$, то придется констатировать, что преобразование их в электроэнергию на станциях различных типов происходит с крайне низким коэффициентом полезного действия (к. п. д.) • При этом наибольший к. п. д. соответствует атомным станциям, а наименьший — гидроэлектростанциям.

Виды энергоресурсов и их запасы

Инженеру-энергетику необходимо иметь хотя бы самое общее представление о тех запасах различного вида топлива, которые имеются в мире. Рассмотрим в этом плане различные виды топлива.

Уголь. Общие геологические запасы угля в мире оцениваются в 61—114 млн. ТВт·ч (7500—14 000 млрд. т. у. т.), из которых 24,4 млн. ТВт·ч (3000 млрд. т. у. т.) относятся к достоверным запасам. Наибольшими достоверными запасами располагают Россия и Соединенные Штаты. Значительные достоверные запасы имеются в ФРГ, Англии, КНР и ряде других стран. Современная техника и технология позволяют экономически оправданно добывать лишь 50 % от всех достоверных запасов угля.

Нефть. Оценка мировых запасов нефти в настоящее время представляет

особый интерес. Это вызвано быстрым ростом ее потребления и тем, что во многих странах (Япония, Швеция и др.) нефть при производстве электроэнергии вытеснила уголь, хотя в последнее время этот процесс приостановился.

Мировые геологические запасы нефти оцениваются в 200 млрд. т, которых 53 млрд. т составляют достоверные запасы. Более половины всех достоверных запасов нефти расположено в странах Среднего и Ближнего Востока. В странах Западной Европы, где имеются высокоразвитые производительные силы, сосредоточены относительно небольшие запасы нефти.

Исключительно быстрый рост потребления нефти определяется в основном четырьмя причинами:

1) развитием транспорта всех видов и в первую очередь автомобильного и авиационного, для которых жидкое топливо пока незаменимо;

2) лучшими показателями добычи, транспортировки и использования (по сравнению с твердым топливом);

3) стремлением в кратчайшие сроки и с минимальными затратами перейти к использованию природных энергетических ресурсов;

4) в промышленно развитых капиталистических странах — стремлением получить возможно большие прибыли за счет эксплуатации нефтяных месторождений развивающихся стран.

Природный газ. Мировые геологические запасы газа оцениваются в 140—170 трлн. м³, из которых 70 трлн. м³ приходится на долю территории бывшего СССР и 34 трлн. м³ — на долю США. Распределение запасов газа по странам и районам приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Страна		% от мировых запасов газа
США		27,5
Канада		4,3
Страны	Латинской	6,2

Америки	
Средний и Ближний Восток	20,6
Африка	15,1
Страны Дальнего Востока	2,3
Страны бывшего СССР	14,4

Гидроэнергетические ресурсы. Гидроэнергетические ресурсы на Земле оцениваются величиной в 32 900 ТВт•ч в год, из которых около 25% по техническим и экономическим условиям оказываются пригодными для использования. Эта величина примерно в 2 раза превышает современный уровень ежегодной выработки электроэнергии всеми электростанциями мира, т. е. определенные запасы гидроэнергии еще имеются.

Энергия приливов и отливов. К использованию этих видов энергии в последнее время проявляется значительный интерес. Явления приливов и отливов связаны главным образом с положением Луны на небосклоне. Солнце также влияет на приливы и отливы, однако эффект его влияния примерно в 2,6 раза меньше. В течение лунных суток, т.е. за 24 ч 50 мин, дважды наблюдается повышение и понижение уровня воды в морях и океанах. Амплитуда колебаний уровня воды в различных точках земного шара зависит от широты, и от характера берега континента. Ее величина может быть значительной: так, около Магелланова пролива зарегистрирована амплитуда колебаний уровня воды 18 м, а около берегов Америки— 21 м. Приливы и отливы могут на многие километры, как, например, во Франции, менять границу воды и суши.

Ядерная энергия. Тепловое содержание геологических запасов урана в мире оценивается величиной, превышающей в 320 раз тепловое содержание всех мировых запасов минерального топлива. Однако общегеологическая оценка имеет малое практическое значение, так как добыча урана решающим

образом зависит от концентрации его запасов. По данным Международного агентства по атомной энергии, общее количество урана, которое может быть добыто при сравнительно низких затратах (ниже 22 долл. за 1 кг) Составляет 1500 тыс. т. При затратах, превышающих в 2—3 раза существующие сейчас, можно будет добыть приблизительно в 10 раз больше урана. Полагают, что овладение энергией ядерного распада примерно удвоило бы энергетические ресурсы мира.

Прочие энергоресурсы. Громадные запасы энергоресурсов, таких как энергия ветра, Солнца, геотермическая энергия, энергия, обусловленная разностью температур в глубинах океанов и на поверхности, и т. д., используются совершенно незначительно.

Энергия ветра на земном шаре оценивается примерно в 175—219 с. ТВт·ч в год [причем развиваемая им мощность достигает $(20 \div 25) \cdot 10^9$ кВт]. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Считают, однако, что полезно может быть использовано только 5% от этой величины; в настоящее же время используется значительно меньше.

Солнечная энергия, как упоминалось ранее, является основным источником энергии. Солнце обладает огромными запасами энергии. Рассеиваемая в течение года энергия Солнца оценивается фантастической цифрой в $3,48 \cdot 10^{30}$ кВт·ч. На поверхность Земли приходит в течение года $7,5 \cdot 10^{17}$ кВт·ч. Эта величина намного превосходит все возможные суммарные расходы энергии на нужды человечества. Она запасена в виде химической энергии органического топлива и превращается в кинетическую энергию движения воды в реках и ветра.

На планете имеются значительные запасы энергии в виде **тепла земных недр (геотермальная энергия)**. Энергия глубинного тепла Земли практически неисчерпаема, и ее использование весьма перспективно. Земля непрерывно отдает в мировое пространство тепло, которое постоянно восполняется за счет распада радиоактивных элементов.

Термальные воды широко применяются для отопления и горячего

водоснабжения в ряде стран. Так, столица Исландии — Рейкьявик почти полностью обогревается подземным теплом. В больших масштабах термальные воды для теплоснабжения используют в Австралии, Новой Зеландии, Италии.

Лекция №3

Современные способы получения электрической энергии

Развитие технологии и техники шагнули далеко вперед, что дало возможность создать новые источники генерации электрической энергии. Среди основных видов генерации электроэнергии специалисты выделяют следующие: тепловую, ядерную, гидроэнергетику и альтернативные виды электроэнергетики. Осуществляется этот процесс на электрических станциях.

В случае тепловой генерации электрическую энергию получают в результате сгорания различных видов органического топлива. Таким способом электроэнергию добывают на тепловых электростанциях (ТЭС). Тепловые электростанции бывают двух видов: конденсационные (КЭС) и теплофикационные (ТЭЦ). На теплофикационных электростанциях производится выработка как тепловой, так и электрической энергии. Принципы работы конденсационных и теплофикационных электростанций довольно схожи между собой. Их основное различие заключается в том, что на теплофикационных электростанциях используется часть нагретого пара для теплоснабжения.

Ядерная энергетика представлена атомными электростанциями (АЭС). Очень часто ядерную энергетику не выделяют отдельно, а воспринимают как подвид тепловой электроэнергетики. Это обусловлено тем, что принцип выработки на атомной электростанции фактически такой же, как и на тепловой.

Следующий способ генерации электроэнергии представляет собой гидроэнергетику. Весь процесс проходит соответственно на гидроэлектростанциях (ГЭС). Здесь для получения электрической энергии используется кинетическая энергия водного течения. Среди разновидностей

гидроэлектростанций стоит отметить гидроаккумулирующие станции (ГАЭС). Фактически их нельзя назвать мощными источниками электрической энергии, так как при своей работе они потребляют практически столько энергии, сколько и производят. Однако в некоторых случаях именно они используются для разгрузки сети.

Еще одним способом генерации электрической энергии является альтернативная энергетика. Как видно из ее названия, она включает в себя различные нетрадиционные, или альтернативные, источники электрической энергии. Многие из них разрабатывались различными учеными с целью экономии природных ресурсов планеты или для того, чтобы снизить вред от выработки электрической энергии для окружающей среды. Так, например, в ветроэнергетике электрическую энергию добывают из кинетической энергии ветра. В гелиоэнергетике электрическую энергию получают из энергии солнечных лучей. Существует также и геотермальная энергетика. В этом случае для выработки электрической энергии используется тепло Земли.

Производство электроэнергии является отдельной отраслью промышленности. В настоящее время наибольшую долю электроэнергии производят на трех видах электростанций:

- ТЭС (теплоэлектростанция)
- ГЭС (гидроэлектростанция)
- АЭС (атомная электростанция)

Тепловые конденсационные электрические станции

Тепловые конденсационные электрические станции (КЭС) преобразовывают энергию органического топлива вначале в механическую, а затем в электрическую. Механическую энергию упорядоченного вращения вала получают с помощью тепловых двигателей, преобразующих энергию неупорядоченного движения молекул пара или газа.

Все тепловые двигатели подразделяются:

- по виду используемого рабочего тела — *пар* или *газ*;

- по способу преобразования тепловой энергии в механическую — *поршневой* или *роторный*

В поршневом способе для преобразования используется потенциальная энергия рабочего тела, получаемая при его нагревании. В роторном способе используется кинетическая энергия движущиеся с большой скоростью частиц рабочего тела.

На тепловых электростанциях химическая энергия сжигаемого топлива преобразуется в парогенераторе (котле) в энергию водяного пара, приводящего во вращение турбоагрегат (паровую турбину, соединенную с генератором). Механическая энергия вращения преобразуется генератором в электрическую. Топливом для электростанций служат уголь, торф, горючие сланцы, а также газ и мазут. В отечественной энергетике на долю КЭС приходится до 60% выработки электроэнергии.

На одном валу с турбиной располагается генератор. На ТЭС турбинные и котельные агрегаты вместе с вспомогательным оборудованием соединяют в независимые блоки. Число блоков на станции обычно достигает 8—12, а мощность станции 4000—6000 МВт. Блок представляет собой как бы отдельную электростанцию. Связей между соседними блоками по технологическим линиям обычно не предусматривается. Построение КЭС по блочному принципу дает определенные технико-экономические преимущества, такие как, упрощение технологической схемы, удобство расширения электростанции блоками, сокращение объема строительных и монтажных работ, уменьшение капитальных затрат на сооружение электростанции.

Применение крупных агрегатов позволяет обеспечить быстрое наращивание мощностей электростанции, приемлемую себестоимость электроэнергии. Предельная мощность КЭС определяется условиями водоснабжения и влиянием выбросов станции на окружающую среду.

На рисунке 3.1 показан общий вид блока современной КЭС. Технологическая схема КЭС состоит из нескольких систем: топливоподачи; топливоприготовления; основного пароводяного контура вместе с

парогенератором и турбиной; циркуляционного водоснабжения, водоподготовки, золоулавливания и золоудаления и, наконец, электрической части станции.

Работу главных агрегатов блока обеспечивают вспомогательные машины, для приведения в действие которых расходуется электроэнергия. На ТЭС электроэнергия расходуется на приготовление топлива, подачу воды в котлы, управление оборудованием и т. п. Механизмы и установки, обеспечивающие нормальное функционирование всех этих элементов, входят в так называемую *систему собственных нужд* станции. Мощность, расходуемая на собственные нужды блока, составляет 4—8% от его мощности.

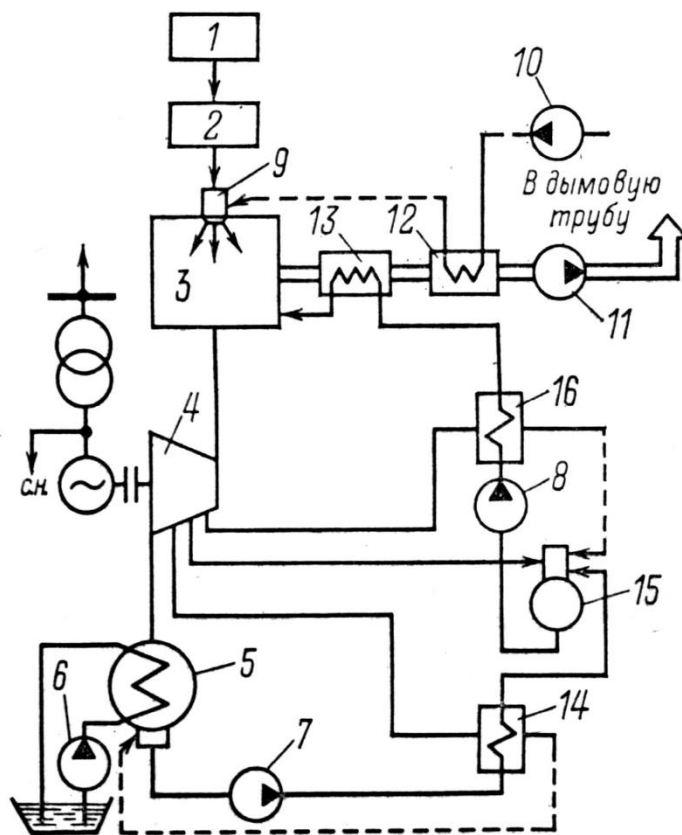


Рисунок 3.1. Принципиальная технологическая схема КЭС:

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

Наибольшие энергетические потери на КЭС имеют место в основном пароводяном контуре, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий еще большое количество тепла, затраченного при

парообразовании, отдает его циркуляционной воде. Тепло с циркуляционной водой уносится в водоемы, то есть теряется. Эти потери в основном определяют КПД электростанции, составляющий даже для самых современных КЭС не более 40 - 42%.

Электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, выдается на напряжении 110 - 750 кВ и лишь часть ее отбирается на собственные нужды через трансформатор собственных нужд, подключенный к выводам генератора. Генераторы и повышающие трансформаторы соединяют в блоки и подключают к распределительному устройству высокого напряжения.

Турбины. Полученный в парогенераторах перегретый пар при температуре $\sim 600^{\circ}\text{C}$ и давлении 30 МПа по паропроводам передается в сопла. Сопла предназначены для преобразования внутренней энергии пара в кинетическую энергию упорядоченного движения молекул.

После выхода из сопла пар подается на рабочие лопатки турбины. Если турбина активная, то между ее рабочими лопатками расширения пара не происходит, следовательно, давление пара не меняется. Абсолютная скорость движения пара уменьшается вследствие вращения турбины.

У реактивной турбины происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток. В зависимости от показателей расширения пара в каналах турбины характеризуют степенями реактивности.

Конденсаторы. Пар, выходящий из турбины, направляют для охлаждения и конденсации в специальные устройства, называемые конденсаторами. Конденсатор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого имеется большое число латунных трубок. По трубкам протекает охлаждающая вода, поступающая в конденсатор обычно при температуре $10-15^{\circ}\text{C}$, а выходящая из него – при температуре $20-25^{\circ}\text{C}$. Пар обтекает трубки сверху вниз, конденсируется и снизу удаляется. Давление в конденсаторе поддерживается в пределах 3-4 кПа, что достигается охлаждением пара.

Расход охлаждающей воды составляет примерно 50-100 кг на 1 кг пара. На электростанции мощностью 1 ГВт расходуется $40\text{ м}^3/\text{с}$ охлаждающей воды,

что примерно равно расходу воды в Москве-реке.

Если воду для охлаждения пара забирают из реки, подают в конденсатор, а затем сбрасывают в реку, то такую систему водоснабжения называют прямоточной. В случаях, когда воды в реке не хватает, сооружают пруд. С одной стороны пруда вода подается в конденсатор, а в другую сторону пруда сбрасывается нагретая в конденсаторе вода.

В замкнутых циклах водоснабжения для охлаждения воды, нагретой в конденсаторе, сооружают *градирни*, представляющие собой устройства высотой примерно 50 м. Вода вытекает струйками из отверстий лотков, разбрызгивается и, стекая вниз, охлаждается. Внизу расположен бассейн, в котором вода собирается и затем насосами подается в конденсатор.

Основными особенностями КЭС являются - значительная удаленность от непосредственных потребителей электроэнергии, что определяет в основном выдачу мощности на высоких и сверхвысоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции. Место расположения электростанции зависит не только от условий снабжения ее первичными энергоресурсами, но и от наличия в достаточном количестве воды. Мощность современных КЭС обычно такова, что каждая из них может обеспечить электроэнергией крупный район страны. Отсюда еще одно название электростанций этого типа - ***государственная районная электрическая станция (ГРЭС)***.

Теплоэлектроцентрали

Производство электрической энергии на тепловых станциях сопровождается большими потерями тепла. В то же время многим отраслям промышленности, таким, как химическая, текстильная, пищевая, металлургическая, и ряду других тепло необходимо для технологических целей. Для отопления жилых зданий требуется в значительном количестве горячая вода.

В этих условиях естественно использовать пар, получаемый в парогенераторах на тепловых станциях, как для выработки электроэнергии, так

и для теплофикации потребителей. Электростанции, выполняющие такие функции, называются **теплоэлектроцентралями (ТЭЦ)**. Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплом. Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рисунке 3.2.

Отработанный в турбинах конденсационных станций пар имеет температуру 25-30°C, и поэтому он непригоден для использования в технологических процессах на предприятиях.

Для получения пара с необходимыми для потребителей параметрами используют специальные турбины с промежуточными отборами пара. В таких турбинах, после того как часть энергии пара израсходуется на приведение в движение турбины и параметры его понизятся, производится отбор некоторой доли пара для потребителей. Оставшаяся доля пара далее обычным порядком используется в турбине и затем поступает в конденсатор.

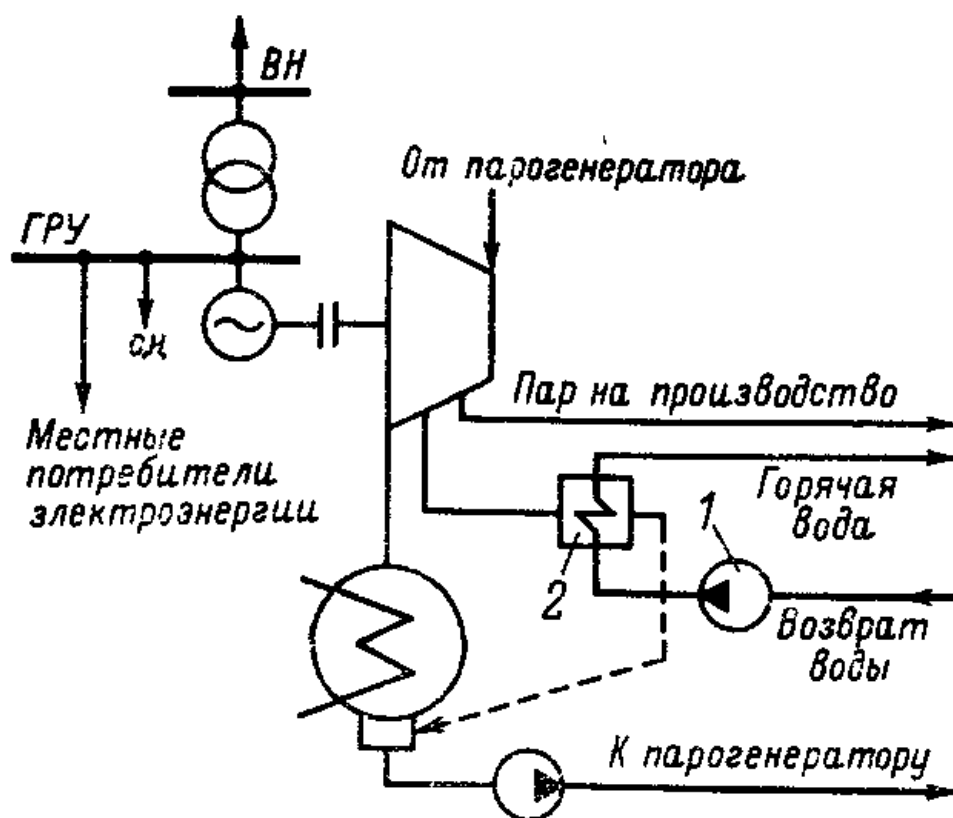


Рисунок 3.2. Особенности технологической схемы ТЭЦ:

1- сетевой насос; 2 -сетевой подогреватель

При такой комбинированной выработке электроэнергии и тепла достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, то есть выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением тепла и электроэнергии. Благодаря более полному использованию тепловой энергии к.п.д. ТЭЦ достигает 60-65%, а к.п.д. КЭС – не более 40%.

Горячая вода и пар под давлением, достигающем в отдельных случаях 3 МПа, доставляются потребителям по трубопроводам. Совокупность трубопроводов, предназначенных для передачи тепла, называется *тепловой сетью*.

Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура и способе выдачи электроэнергии. Специфика электрической части ТЭЦ определяется положением электростанции вблизи центров электрических нагрузок. В этих условиях часть мощности может выдаваться в местную сеть непосредственно на генераторном напряжении. Избыток мощности выдается, как и в случае КЭС, в энергосистему на повышенном напряжении.

Существенной особенностью ТЭЦ является также повышенная мощность теплового оборудования по сравнению с электрической мощностью электростанции с учетом выдачи тепла. Это обстоятельство предопределяет больший относительный расход электроэнергии на собственные нужды, чем на КЭС.

Газотурбинные установки

На отечественных тепловых станциях начинают широко использовать *газотурбинные установки* (ГТУ). В качестве рабочего тела в таких установках используется смесь продуктов сгорания топлива с воздухом или нагретый воздух при большом давлении и высокой температуре. В газовых турбинах происходит преобразование тепловой энергии газов в кинетическую энергию вращения ротора турбины.

Современные газовые турбины в основном работают на жидком топливе, однако, кроме жидкого топлива может использоваться газообразное: как естественный природный горючий газ, так и искусственный газ, получаемый особым сжиганием твердых топлив любых видов.

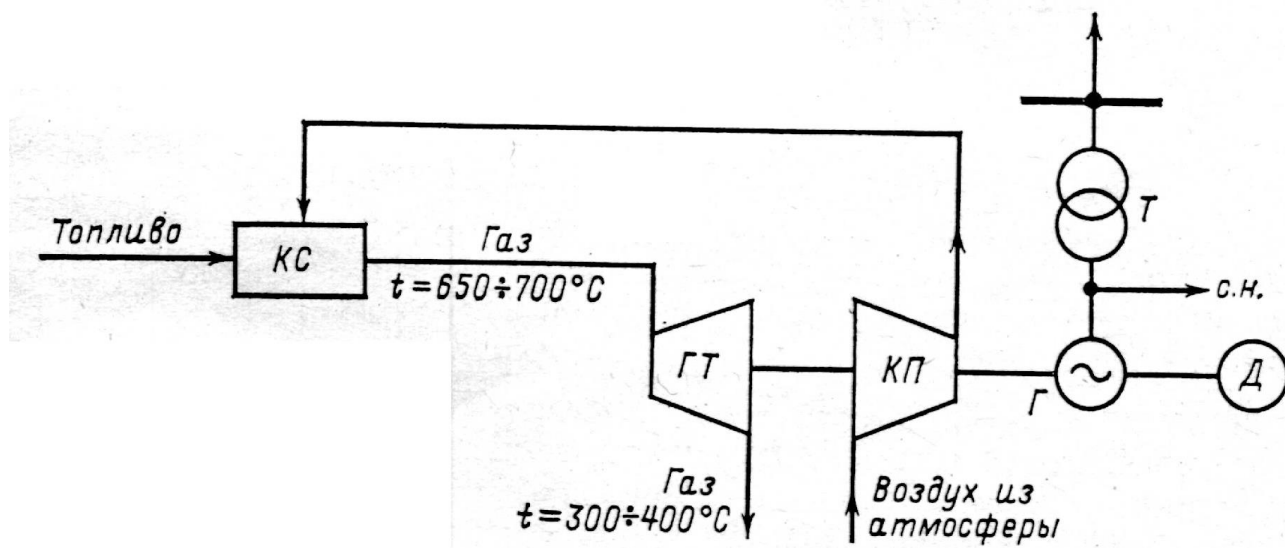


Рисунок 3.3. Принципиальная технологическая схема электростанции с газовыми турбинами.

КС- камера сгорания; КП- компрессор; ГТ- газовая турбина; Г- генератор; Т- трансформатор; Д- пусковой электродвигатель.

Основу современных газотурбинных электростанций составляют газовые турбины мощностью 25-100 МВт. Упрощенная принципиальная схема блока газотурбинной электростанции представлена на рисунке 3.3.

Топливо (газ, дизельное горючее) подается в камеру сгорания, туда же компрессором нагнетается сжатый воздух. Горячие продукты сгорания отдают свою энергию газовой турбине, которая вращает компрессор и синхронный генератор.

Запуск установки осуществляется при помощи разгонного двигателя и длится 1-2 мин, в связи с чем газотурбинные установки отличаются высокой маневренностью и пригодны для покрытия пиков нагрузки в энергосистемах. Общий КПД газотурбинных электростанций составляет около 30%.

Парогазовые установки

Отработанные газы, покидающие газотурбинную установку, имеют высокую температуру, что неблагоприятно сказывается на к.п.д. термодинамического цикла. Для повышения экономичности газовых турбин разработаны *парогазовые установки* (ПГУ). В них топливо сжигается в топке парогенератора, пар из которого направляется в паровую турбину. Продукты сгорания из парогенератора, после того как они охлаждаются до необходимой температуры, направляются в газовую турбину. Таким образом, ПГУ имеет два электрических генератора, приводимых во вращение: один - газовой турбиной, другой - паровой турбиной. При этом мощность газовой турбины составляет около 20% паровой.

Совмещение газо- и паротурбинных агрегатов таким образом, что в них происходит совместное использование тепла, получаемого при сжигании топлива, позволяет на 8-10 % повысить экономичность работы установки, называемой парогазовой, и снизить её стоимость на 25%.

Парогазовые установки, использующие два вида рабочего тела – пар и газ – относятся к бинарным. В них часть тепла, получаемого при сжигании топлива в парогенераторе, расходуется на образование паранеобходимых параметров, который затем направляется в паровую турбину (рис.3.28). Охлажденные до температуры 650-700°C газы попадают на рабочие лопатки газовой турбины. Отработанные в турбине газы используются для подогрева питательной воды, что позволяет уменьшить расход топлива и повысить к.п.д. всей установки, который может достичь примерно 44%.

Лекция №4

Гидравлические электростанции

На гидравлических электростанциях (ГЭС) для получения

электроэнергии используется энергия водных потоков (рек, водопадов и т. д.). В настоящее время на ГЭС вырабатывается около 15% всей электроэнергии. Более интенсивное строительство этого вида станций сдерживается спецификой размещения гидроресурсов по территории РФ (большая часть их сосредоточена в восточной части страны).

Первичными двигателями на ГЭС являются гидротурбины, которые приводят во вращение гидрогенераторы. Мощность, развиваемая гидроагрегатом, пропорциональна напору H и расходу воды Q :

$$P=H \cdot Q,$$

где Q – расход, м³/с,

H – напор, м.

Мощность гидростанции тем больше, чем большее количество воды поступает на лопасти гидротурбины Q и чем большее давление H она имеет.

Для увеличения напора H создаются искусственные гидротехнические сооружения. На равнинных реках напор создается с помощью плотины. Водное пространство перед плотиной называется верхним бьефом, а ниже плотины – нижним бьефом (рисунок 3.4). Разность уровней верхнего (УВБ) и нижнего бьефа (УНБ) определяет напор H . В состав гидроузла на равнинной реке входят: плотина, здание электростанции, водосбросные, судопропускные (шлюзы), рыбопропускные сооружения и др.

На горных реках сооружаются ГЭС, которые используют большие естественные уклоны реки. Однако при этом обычно приходится создавать систему деривационных сооружений – обводных каналов. К ним относятся сооружения, направляющие воду в обход естественного русла реки: деривационные каналы, туннели, трубы.

В электрической части ГЭС во многом подобны конденсационным электростанциям. Как и КЭС, гидроэлектростанции обычно удалены от центров потребления, так как место их строительства определяется в основном природными условиями. Поэтому электроэнергия, вырабатываемая ГЭС, выдается на высоких и сверхвысоких напряжениях (110 - 500 кВ).

Отличительной особенностью ГЭС является небольшое потребление электроэнергии на собственные нужды, которое обычно в несколько раз меньше, чем на ТЭС. Это объясняется отсутствием на ГЭС крупных механизмов в системе собственных нужд. Расход электроэнергии вызван техническим водоснабжением, управлением гидротехническим и электротехническим оборудованием, охлаждением генераторов и т. п. На крупных ГЭС собственное потребление электроэнергии составляет доли процента от общей выработки.

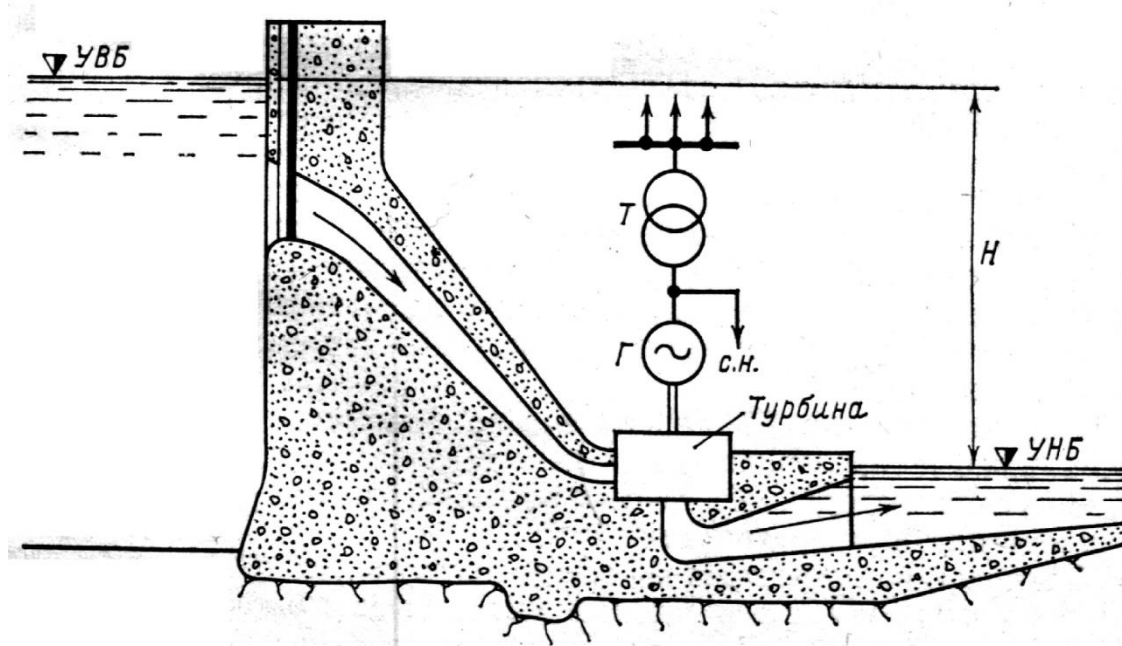


Рисунок 3.4. Принципиальная технологическая схема ГЭС.

В гидравлических турбинах происходит преобразование энергии воды в механическую энергию вращения вала турбины. Турбина называется активной, если принцип её работы основан на использовании динамического давления воды, и реактивной, если используется статическое давление при реактивном эффекте.

В современной гидроэнергетике преимущественно используются три типа турбин:

1. Радиально-осевая турбина (турбина Френсиса). Лопатки рабочего колеса

этой турбины имеют сложную кривизну, благодаря чему вода, поступающая на лопатки с направляющего аппарата, постепенно меняет направление с радиального на осевое. Число лопаток у таких турбин 10-30. Радиально-осевая турбина выполняется на мощности свыше 100 МВт.

2. Поворотно-лопастная турбина (турбина Каплана). Рабочее колесо турбины выполняется в форме винта пропеллера, лопасти которого в зависимости от нагрузки могут поворачиваться для достижения наибольшего к.п.д. Турбина была предложена в 1913г. чешским учёным Капланом.

3. Ковшовая турбина (турбина Пельтона). Лопатка турбины выполнена в форме сдвоенного ковша с острым ножом посередине. В ковшах происходит изменение направления скорости движения воды на 180° , вследствие чего на лопатки действуют центробежные силы. Для наиболее полного преобразования энергии воды в механическую энергию турбины скорость движения лопаток выбирается такой, что на их выходе абсолютная скорость движения воды равна нулю.

При сооружении ГЭС одновременно с энергетическими решаются важные народнохозяйственные задачи: орошение земель и развитие судоходства, обеспечение водоснабжения крупных городов и промышленных предприятий.

Технология производства электроэнергии на ГЭС довольно проста и легко поддается автоматизации. Пуск агрегата ГЭС занимает не более 50 с, поэтому резерв мощности в энергосистеме целесообразно обеспечить именно этими агрегатами.

Регулирование мощности ГЭС производится следующим образом. В периоды времени, когда в системе имеются провалы нагрузки, ГЭС работают с незначительной мощностью и вода заполняет водохранилище. При этом запасается энергия. С наступлением пиков включаются агрегаты станции и увеличивается на необходимую величину их мощность.

Коэффициент полезного действия ГЭС обычно составляет около 85-90%. Благодаря меньшим эксплуатационным расходам себестоимость

электроэнергии на ГЭС, как правило, в несколько раз меньше, чем на тепловых электростанциях.

Приливные электростанции

Существует значительное число проектов энергетического использования энергии морей и океанов: волновые энергетические установки, использующие энергию волн; океанические тепловые станции, основанные на разности температур морской воды на поверхности и на глубине; установки, использующие энергию океанических течений. Однако пока промышленное использование получили лишь приливные электростанции – ПЭС.

Энергия морских приливов, или, как говорят иногда, «лунная энергия», известна человечеству со времен глубокой давности. Эта энергия ещё в далёкие исторические эпохи использовалась для приведения в движение различных механизмов, в особенности мельниц. В Германии с помощью энергии приливной волны орошали поля. Приливы для вращения мельничных колес использовались 1000 лет тому назад в Испании, Франции, Англии. Сегодня ПЭС работают в Китае, во Франции, в России (Кислогубская ПЭС на Баренцевом море имеет мощность 1200 кВт) и некоторых других странах.

Приливные электростанции (ПЭС) выгодно отличаются от речных тем, что их работа определяется космическими явлениями и не зависит, как у речных, от многочисленных случайных погодных условий.

Наиболее существенный недостаток ПЭС – неравномерность их работы. Неравномерность приливной энергии в течении лунных суток и лунного месяца, отличающихся от солнечных, не позволяет систематически использовать её в периоды максимального потребления в системах.

ПЭС работают в условиях быстрого изменения напора, поэтому их турбины должны иметь высокие к.п.д. при переменных напорах. В настоящее время создана достаточно совершенная и компактная горизонтальная турбина двойного действия. Электрический генератор и часть деталей турбины заключены в водонепроницаемую капсулу, и весь гидроагрегат погружен в

воду (рисунок 3.6). Поворотные лопасти рабочего колеса обеспечивают высокое значение к.п.д. при различных напорах начиная с 0,5 м. Для ПЭС используют обратимые турбины, когда вращение непрерывно при любом направлении движения воды.

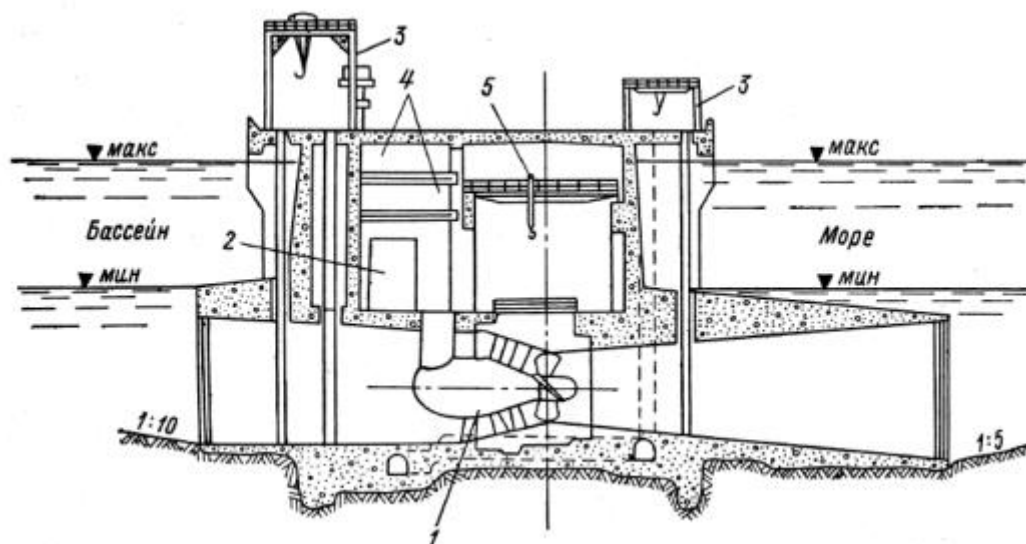


Рисунок 3.6. Схема ПЭС:

1 – капсульный агрегат; 2 – повышающий трансформатор; 3 – козловый кран для обслуживания затворов и решеток; 4 – кабельный коридор; 5 – мостовой кран машинного зала

Гидроагрегат может работать как в генераторном, так и в насосных режимах. При выключенном генераторе гидроагрегат может осуществлять прямой перепуск воды из моря в бассейн и обратно. В насосном режиме он может осуществлять перекачивание воды из моря в бассейн и тем самым увеличивать напор воды.

Приливные станции строят в бухтах с узким проходом. Перегораживают вход плотиной и в ней устанавливают гидрогенераторы. Во время прилива и отлива вода по трубам подходит к гидротурбинам и вращает их, а следовательно, и электрогенератор, сидящий на одном валу с турбиной.

ПЭС вырабатывают электрическую энергию за счет использования потенциальной энергии приливов и отливов моря. Величина прилива (в

результате притяжения Луны) в разных местах Земли неодинакова: у берегов Америки она составляет 21 м, у берегов Франции и Англии – порядка 15 м, у берегов России – 8–11 м на Белом и Охотском морях. Установлено, что использовать энергию приливов целесообразно уже при 3–4 м высоты прилива.

Атомные электростанции

Атомные электростанции (АЭС) - это по существу тепловые электростанции, которые используют тепловую энергию ядерных реакций. АЭС для получения электроэнергии и тепла используют ядерное горючее. В качестве топлива на АЭС применяется вещество, способное к самопроизвольному расщеплению ядер атомов с выделением энергии в виде тепла. Важнейшим ядерным топливом являются тяжелые элементы: уран-235 (U-235), уран-233 (U-233), плутоний-239 (U-239). Вместо котельного агрегата на атомных станциях используется ядерный реактор и особые парогенераторы.

На АЭС энергия, получаемая в результате деления ядер урана на осколки, превращается в тепловую энергию пара или газа и затем в электрическую энергию, то есть в энергию движения электронов в проводнике. Деление ядер урана происходит при бомбардировке их нейтронами, в результате чего получаются осколки ядер, обычно неодинаковые по массе, нейтроны и другие продукты деления, которые разлетаются в разные стороны с огромными скоростями и имеют, следовательно, большие величины кинетической энергии. Получаемая при делении ядер энергия почти полностью превращается в тепло. Установка, в которой происходит управляемая цепная ядерная реакция деления, называется **ядерным реактором**.

В основном используют ядерные реакции расщепления урана U-235 под действием медленных (тепловых) нейтронов. Расщепление ядер U-235 происходит по цепной реакции, при этом выделяется большое количество тепловой энергии (83 %) и так называемого ядерного излучения (17 %). Для осуществления реакции расщепления ядер урана в реакторе кроме топлива (U-235) должен быть замедлитель нейтронов и, естественно, теплоноситель,

отводящий тепло из реактора.

В России строительство АЭС базируется на корпусных реакторах с водой под давлением – **ВВЭР** (*водо-водяной энергетический реактор*) и кипящих канальных уран-графитовых реакторах – **РБМК** (*реактор большой мощности кипящий*).

В реакторах типа **ВВЭР** в качестве замедлителя и теплоносителя используется обычная вода под давлением.

В реакторах типа **РБМК** в качестве теплоносителя используется вода, а в качестве замедлителя - графит.

Не смотря на существование несколько типов реакторов на тепловых нейтронах, всем им присущи некоторые общие элементы, приведенные на рисунке 4.7. Реакторы имеют так называемую активную зону 1, в которую загружается ядерное топливо, содержащее уран-235 и замедлитель (обычно графит или вода). Для сокращения утечки нейтронов активная зона окружена отражателем 2, за которым размещается бетонная защита 5 от радиоактивных излучений. Количество ядерного топлива в реакторе значительно превышает критическую массу. Поэтому в активную зону вводят сильный поглотитель нейтронов в виде стержней 4 из карбида бора. По мере выгорания топлива регулирующие стержни извлекают из активной зоны. Нагретый теплоноситель отводится по трубам 3 в теплообменник-парогенератор 6, где передает свое тепло рабочему телу (например, воде, проходящей по змеевикам и превращающейся в пар). Рабочее тело (пар) поступает в турбину 7, вращает вал турбины, соединенный с валом генератора 8. Отработавший в турбине пар попадает в конденсатор 9, после чего сконденсированная вода вновь идет в теплообменник.

Принцип работы атомных реакторов одинаков: внутри реактора располагают *тепловыделяющие элементы* – **ТВЭЛы**, которые состоят из металлической трубки из сплава циркония, заполненной смесью урана-235 и урана-238.

В реакторе ВВЭР все ТВЭЛы помещены в стальной корпус, заполненный

водой, которая непосредственно соприкасается с ТВЭЛами и охлаждает их. Тепло атомного реактора нагревает воду под высоким давлением, она становится радиоактивной. Поэтому эта вода направляется в промежуточный парогенератор, где вода второго контура превращается в пар, направляемый в турбину.

Реактор РБМК заполнен графитовыми блоками, внутри которых сделаны отверстия. В них помещены тонкостенные трубы (рабочие каналы) из циркония, в которых устанавливаются ТВЭЛы. Через трубы циркулирует вода под давлением, она отводит тепло от ТВЭЛов и при этом частично испаряется.

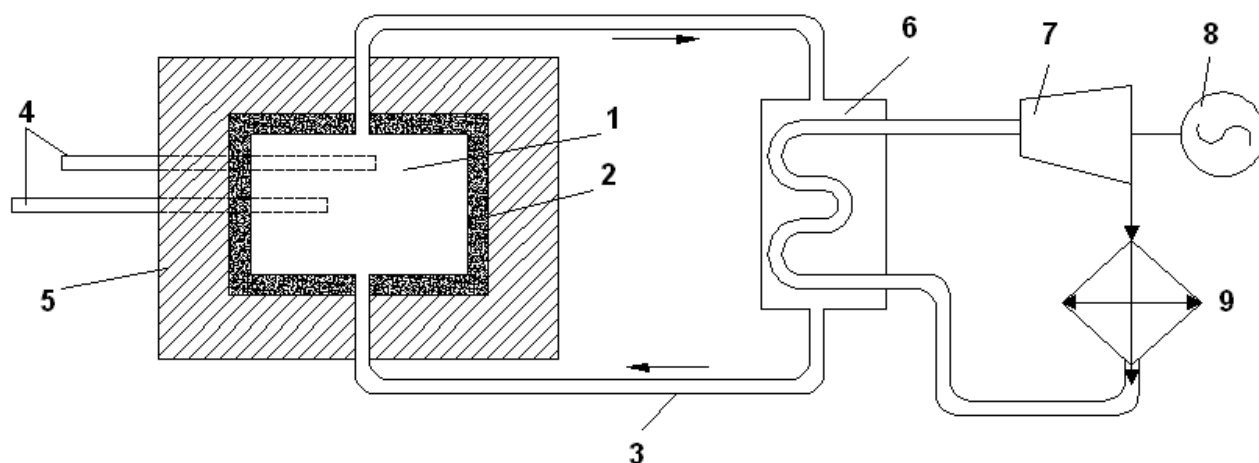


Рисунок 4.7. Упрощенная схема АЭС:

1 — активная зона; 2 — отражатель; 3 — трубы; 4 — поглотитель нейтронов;
5 — бетонная защита; 6 — теплообменник-парогенератор; 7 — турбина; 8 —
генератор; 9 — конденсатор

РБМК — это канальный реактор, а ВВЭР — корпусной. ВВЭР получили более широкое распространение, чем РБМК. Преимуществом РБМК является возможность замены ТВЭЛов без остановки реактора.

Мощность энергетического реактора определяется возможностями быстрого отвода тепла из активной зоны. Основная часть энергии, выделяющейся при ядерной реакции в ТВЭЛлах, идёт на нагревание ядерного

топлива, а небольшая часть – на нагревание замедлителя. Поскольку отвод тепла происходит за счёт конвективного теплообмена, то для повышения интенсивности процесса отвода тепла нужно увеличивать скорость движения теплоносителя. Так, скорость движения воды в активной зоне составляет примерно 3-7 м/с.

Бурное развитие атомной энергетики вызвано её преимуществами по сравнению с другими способами выработки энергии.

Назовем основные из них:

1. Атомные электростанции почти не зависят от месторасположения источников сырья вследствие компактности ядерного топлива и легкой его транспортировки. Однако для охлаждения АЭС необходим мощный источник воды (морской или пресной). Поэтому АЭС, так же как и ТЭС, зависят от источников воды;
2. Сооружение мощных энергетических блоков имеет благоприятные перспективы, так как с одного реактора можно получить электрическую мощность порядка 2 ГВт;
3. Малый расход горючего не требует загрузки транспорта;
4. Атомные электростанции, при безаварийной работе, практически не загрязняют окружающую среду.

Радиоактивное излучение опасно. Принятое в больших дозах, оно может вызвать заболевание и даже смерть людей. Воздействие радиоактивного излучения на людей и животных в настоящее время достаточно хорошо изучено. Вследствие пристального внимания к радиоактивному излучению и постановки многочисленных экспериментов влияния излучения на экологию изучено гораздо больше, чем влияние синтетических соединений и некоторых других факторов.

Ионизирующее облучение человека оказывает соматическое (от греческого слова, означающего «тело») и генетическое действие. Заметный клинический эффект возникает при мощном облучении примерно в 0,2 Дж/кг в

течении короткого времени. Длительное хроническое облучение может повысить статическую вероятность таких клинических последствий, как заболевание раком и другими болезнями.

Все ядерные реакторы имеют специальную биологическую защиту, чтобы предохранить обслуживающий персонал от опасных радиоактивных излучений, которые вызывают ионизацию молекул клеток.

Лекция №5

Современные способы получения электрической энергии

Развитие технологии и техники шагнули далеко вперед, что дало возможность создать новые источники генерации электрической энергии. Среди основных видов генерации электроэнергии специалисты выделяют следующие: тепловую, ядерную, гидроэнергетику и альтернативные виды электроэнергетики. Осуществляется этот процесс на электрических станциях.

В случае тепловой генерации электрическую энергию получают в результате сгорания различных видов органического топлива. Таким способом электроэнергию добывают на тепловых электростанциях (ТЭС). Тепловые электростанции бывают двух видов: конденсационные (КЭС) и теплофикационные (ТЭЦ). На теплофикационных электростанциях производится выработка как тепловой, так и электрической энергии. Принципы работы конденсационных и теплофикационных электростанций довольно схожи между собой. Их основное различие заключается в том, что на теплофикационных электростанциях используется часть нагретого пара для теплоснабжения.

Ядерная энергетика представлена атомными электростанциями (АЭС). Очень часто ядерную энергетiku не выделяют отдельно, а воспринимают как подвид тепловой электроэнергетики. Это обусловлено тем, что принцип выработки на атомной электростанции фактически такой же, как и на тепловой.

Следующий способ генерации электроэнергии представляет собой гидроэнергетику. Весь процесс проходит соответственно на

гидроэлектростанциях (ГЭС). Здесь для получения электрической энергии используется кинетическая энергия водного течения. Среди разновидностей гидроэлектростанций стоит отметить гидроаккумулирующие станции (ГАЭС). Фактически их нельзя назвать мощными источниками электрической энергии, так как при своей работе они потребляют практически столько энергии, сколько и производят. Однако в некоторых случаях именно они используются для разгрузки сети.

Еще одним способом генерации электрической энергии является альтернативная энергетика. Как видно из ее названия, она включает в себя различные нетрадиционные, или альтернативные, источники электрической энергии. Многие из них разрабатывались различными учеными с целью экономии природных ресурсов планеты или для того, чтобы снизить вред от выработки электрической энергии для окружающей среды. Так, например, в ветроэнергетике электрическую энергию добывают из кинетической энергии ветра. В гелиоэнергетике электрическую энергию получают из энергии солнечных лучей. Существует также и геотермальная энергетика. В этом случае для выработки электрической энергии используется тепло Земли.

Производство электроэнергии является отдельной отраслью промышленности. В настоящее время наибольшую долю электроэнергии производят на трех видах электростанций:

- ТЭС (теплоэлектростанция)
- ГЭС (гидроэлектростанция)
- АЭС (атомная электростанция)

Тепловые конденсационные электрические станции

Тепловые конденсационные электрические станции (КЭС) преобразовывают энергию органического топлива вначале в механическую, а затем в электрическую. Механическую энергию упорядоченного вращения вала получают с помощью тепловых двигателей, преобразующих энергию неупорядоченного движения молекул пара или газа.

Все тепловые двигатели подразделяются:

- по виду используемого рабочего тела — *пар* или *газ*;
- по способу преобразования тепловой энергии в механическую — *поршневой* или *роторный*

В поршневом способе для преобразования используется потенциальная энергия рабочего тела, получаемая при его нагревании. В роторном способе используется кинетическая энергия движущиеся с большой скоростью частиц рабочего тела.

На тепловых электростанциях химическая энергия сжигаемого топлива преобразуется в парогенераторе (котле) в энергию водяного пара, приводящего во вращение турбоагрегат (паровую турбину, соединенную с генератором). Механическая энергия вращения преобразуется генератором в электрическую. Топливом для электростанций служат уголь, торф, горючие сланцы, а также газ и мазут. В отечественной энергетике на долю КЭС приходится до 60% выработки электроэнергии.

На одном валу с турбиной располагается генератор. На ТЭС турбинные и котельные агрегаты вместе с вспомогательным оборудованием соединяют в независимые блоки. Число блоков на станции обычно достигает 8—12, а мощность станции 4000—6000 МВт. Блок представляет собой как бы отдельную электростанцию. Связей между соседними блоками по технологическим линиям обычно не предусматривается. Построение КЭС по блочному принципу дает определенные технико-экономические преимущества, такие как, упрощение технологической схемы, удобство расширения электростанции блоками, сокращение объема строительных и монтажных работ, уменьшение капитальные затраты на сооружение электростанции.

Применение крупных агрегатов позволяет обеспечить быстрое наращивание мощностей электростанции, приемлемую себестоимость электроэнергии. Предельная мощность КЭС определяется условиями водоснабжения и влиянием выбросов станции на окружающую среду.

На рисунке 3.1 показан общий вид блока современной КЭС.

Технологическая схема КЭС состоит из нескольких систем: топливоподачи; топливоприготовления; основного пароводяного контура вместе с парогенератором и турбиной; циркуляционного водоснабжения, водоподготовки, золоулавливания и золоудаления и, наконец, электрической части станции.

Работу главных агрегатов блока обеспечивают вспомогательные машины, для приведения в действие которых расходуется электроэнергия. На ТЭС электроэнергия расходуется на приготовление топлива, подачу воды в котлы, управление оборудованием и т. п. Механизмы и установки, обеспечивающие нормальное функционирование всех этих элементов, входят в так называемую *систему собственных нужд* станции. Мощность, расходуемая на собственные нужды блока, составляет 4—8% от его мощности.

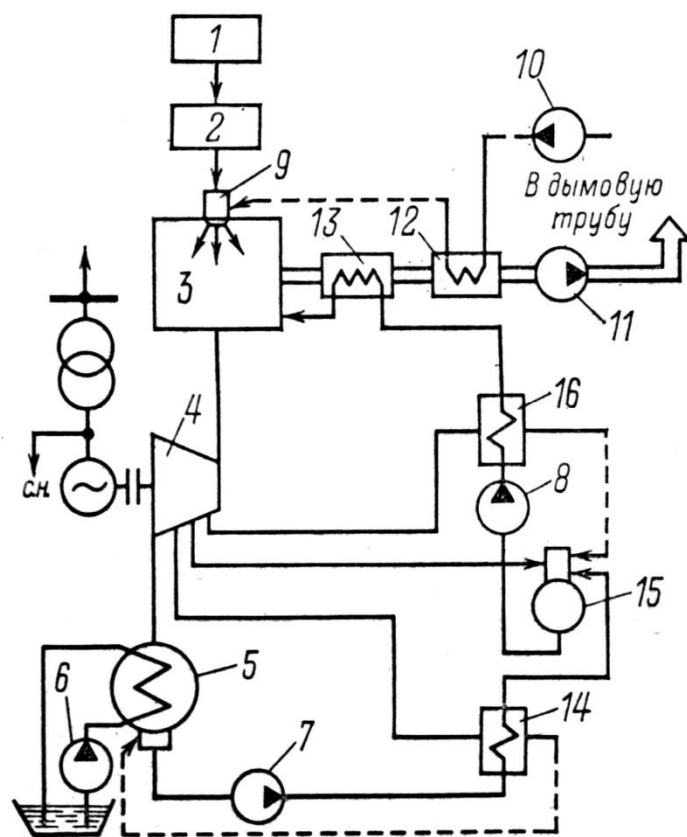


Рисунок 3.1. Принципиальная технологическая схема КЭС:

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

Наибольшие энергетические потери на КЭС имеют место в основном

пароводяном контуре, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий еще большое количество тепла, затраченного при парообразовании, отдает его циркуляционной воде. Тепло с циркуляционной водой уносится в водоемы, то есть теряется. Эти потери в основном определяют КПД электростанции, составляющий даже для самых современных КЭС не более 40 - 42%.

Электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, выдается на напряжении 110 - 750 кВ и лишь часть ее отбирается на собственные нужды через трансформатор собственных нужд, подключенный к выводам генератора. Генераторы и повышающие трансформаторы соединяют в блоки и подключают к распределительному устройству высокого напряжения.

Турбины. Полученный в парогенераторах перегретый пар при температуре $\sim 600^{\circ}\text{C}$ и давлении 30 МПа по паропроводам передается в сопла. Сопла предназначены для преобразования внутренней энергии пара в кинетическую энергию упорядоченного движения молекул.

После выхода из сопла пар подается на рабочие лопатки турбины. Если турбина активная, то между ее рабочими лопатками расширения пара не происходит, следовательно, давление пара не меняется. Абсолютная скорость движения пара уменьшается вследствие вращения турбины.

У реактивной турбины происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток. В зависимости от показателей расширения пара в каналах турбины характеризуют степенями реактивности.

Конденсаторы. Пар, выходящий из турбины, направляют для охлаждения и конденсации в специальные устройства, называемые конденсаторами. Конденсатор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого имеется большое число латунных трубок. По трубкам протекает охлаждающая вода, поступающая в конденсатор обычно при температуре $10-15^{\circ}\text{C}$, а выходящая из него – при температуре $20-25^{\circ}\text{C}$. Пар обтекает трубки сверху вниз, конденсируется и снизу удаляется. Давление в конденсаторе поддерживается в пределах 3-4 кПа, что достигается охлаждением пара.

Расход охлаждающей воды составляет примерно 50-100 кг на 1 кг пара. На электростанции мощностью 1ГВт расходуется 40м³/с охлаждающей воды, что примерно равно расходу воды в Москве-реке.

Если воду для охлаждения пара забирают из реки, подают в конденсатор, а затем сбрасывают в реку, то такую систему водоснабжения называют прямоточной. В случаях, когда воды в реке не хватает, сооружают пруд. С одной стороны пруда вода подается в конденсатор, а в другую сторону пруда сбрасывается нагретая в конденсаторе вода.

В замкнутых циклах водоснабжения для охлаждения воды, нагретой в конденсаторе, сооружают *градирни*, представляющие собой устройства высотой примерно 50 м. Вода вытекает струйками из отверстий лотков, разбрызгивается и, стекая вниз, охлаждается. Внизу расположен бассейн, в котором вода собирается и затем насосами подается в конденсатор.

Основными особенностями КЭС являются - значительная удаленность от непосредственных потребителей электроэнергии, что определяет в основном выдачу мощности на высоких и сверхвысоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции. Место расположения электростанции зависит не только от условий снабжения ее первичными энергоресурсами, но и от наличия в достаточном количестве воды. Мощность современных КЭС обычно такова, что каждая из них может обеспечить электроэнергией крупный район страны. Отсюда еще одно название электростанций этого типа - ***государственная районная электрическая станция (ГРЭС)***.

Теплоэлектроцентрали

Производство электрической энергии на тепловых станциях сопровождается большими потерями тепла. В то же время многим отраслям промышленности, таким, как химическая, текстильная, пищевая, металлургическая, и ряду других тепло необходимо для технологических целей. Для отопления жилых зданий требуется в значительном количестве горячая вода.

В этих условиях естественно использовать пар, получаемый в парогенераторах на тепловых станциях, как для выработки электроэнергии, так и для теплофикации потребителей. Электростанции, выполняющие такие функции, называются **теплоэлектроцентралями (ТЭЦ)**. Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплом. Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рисунке 3.2.

Отработанный в турбинах конденсационных станций пар имеет температуру 25-30°C, и поэтому он непригоден для использования в технологических процессах на предприятиях.

Для получения пара с необходимыми для потребителей параметрами используют специальные турбины с промежуточными отборами пара. В таких турбинах, после того как часть энергии пара израсходуется на приведение в движение турбины и параметры его понизятся, производится отбор некоторой доли пара для потребителей. Оставшаяся доля пара далее обычным порядком используется в турбине и затем поступает в конденсатор.

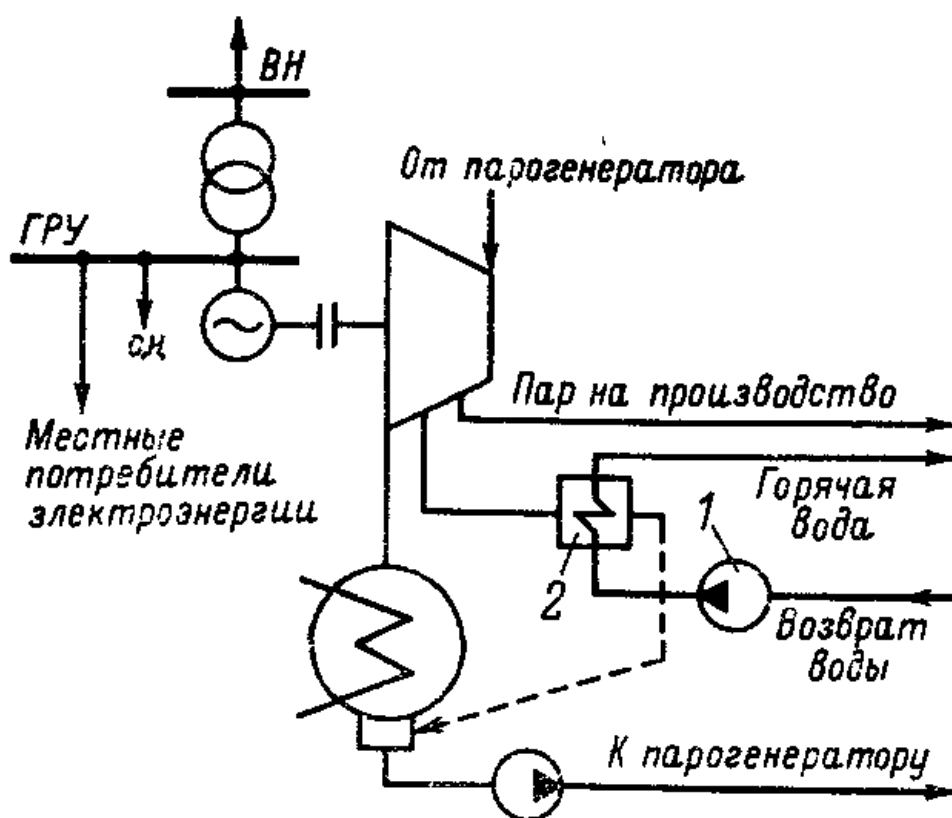


Рисунок 3.2. Особенности технологической схемы ТЭЦ:

1- сетевой насос; 2 -сетевой подогреватель

При такой комбинированной выработке электроэнергии и тепла достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, то есть выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением тепла и электроэнергии. Благодаря более полному использованию тепловой энергии к.п.д. ТЭЦ достигает 60-65%, а к.п.д. КЭС – не более 40%.

Горячая вода и пар под давлением, достигающем в отдельных случаях 3 МПа, доставляются потребителям по трубопроводам. Совокупность трубопроводов, предназначенных для передачи тепла, называется *тепловой сетью*.

Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура и способе выдачи электроэнергии. Специфика электрической части ТЭЦ определяется положением электростанции вблизи центров электрических нагрузок. В этих условиях часть мощности может выдаваться в местную сеть непосредственно на генераторном напряжении. Избыток мощности выдается, как и в случае КЭС, в энергосистему на повышенном напряжении.

Существенной особенностью ТЭЦ является также повышенная мощность теплового оборудования по сравнению с электрической мощностью электростанции с учетом выдачи тепла. Это обстоятельство предопределяет больший относительный расход электроэнергии на собственные нужды, чем на КЭС.

Газотурбинные установки

На отечественных тепловых станциях начинают широко использовать *газотурбинные установки* (ГТУ). В качестве рабочего тела в таких установках используется смесь продуктов сгорания топлива с воздухом или нагретый воздух при большом давлении и высокой температуре. В газовых турбинах

происходит преобразование тепловой энергии газов в кинетическую энергию вращения ротора турбины.

Современные газовые турбины в основном работают на жидком топливе, однако, кроме жидкого топлива может использоваться газообразное: как естественный природный горючий газ, так и искусственный газ, получаемый особым сжиганием твердых топлив любых видов.

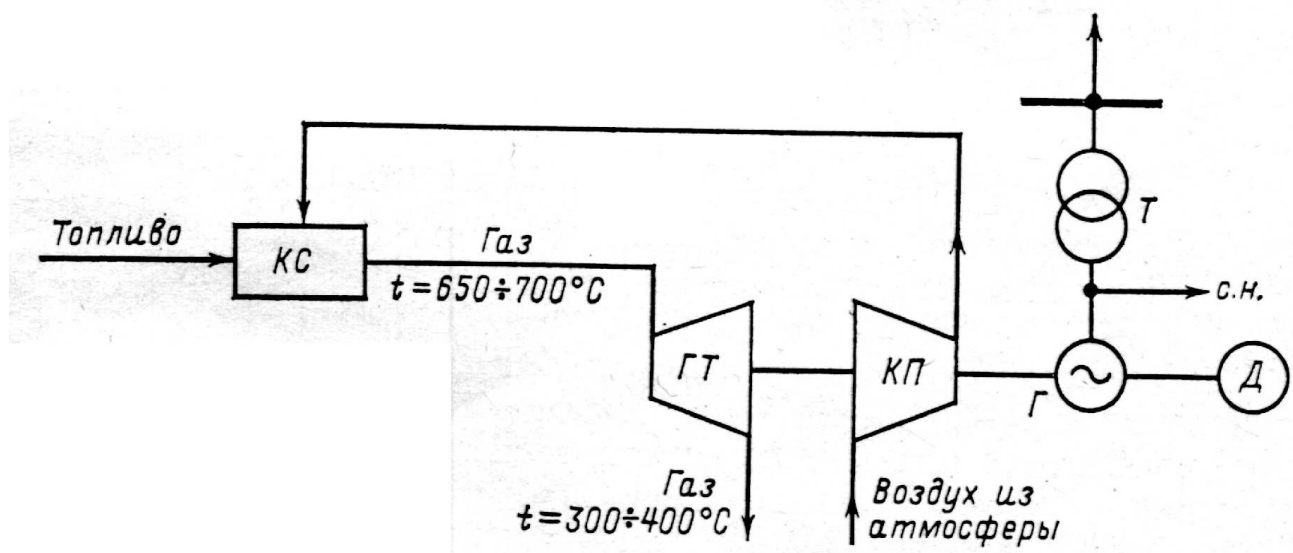


Рисунок 3.3. Принципиальная технологическая схема электростанции с газовыми турбинами.

КС- камера сгорания; КП- компрессор; ГТ- газовая турбина; Г- генератор; Т- трансформатор; Д- пусковой электродвигатель.

Основу современных газотурбинных электростанций составляют газовые турбины мощностью 25-100 МВт. Упрощенная принципиальная схема блока газотурбинной электростанции представлена на рисунке 3.3.

Топливо (газ, дизельное горючее) подается в камеру сгорания, туда же компрессором нагнетается сжатый воздух. Горячие продукты сгорания отдают свою энергию газовой турбине, которая вращает компрессор и синхронный генератор.

Запуск установки осуществляется при помощи разгонного двигателя и длится 1-2 мин, в связи с чем газотурбинные установки отличаются высокой

маневренностью и пригодны для покрытия пиков нагрузки в энергосистемах. Общий КПД газотурбинных электростанций составляет около 30%.

Парогазовые установки

Отработанные газы, покидающие газотурбинную установку, имеют высокую температуру, что неблагоприятно сказывается на к.п.д. термодинамического цикла. Для повышения экономичности газовых турбин разработаны *парогазовые установки* (ПГУ). В них топливо сжигается в топке парогенератора, пар из которого направляется в паровую турбину. Продукты сгорания из парогенератора, после того как они охлаждаются до необходимой температуры, направляются в газовую турбину. Таким образом, ПГУ имеет два электрических генератора, приводимых во вращение: один - газовой турбиной, другой - паровой турбиной. При этом мощность газовой турбины составляет около 20% паровой.

Совмещение газо- и паротурбинных агрегатов таким образом, что в них происходит совместное использование тепла, получаемого при сжигании топлива, позволяет на 8-10 % повысить экономичность работы установки, называемой парогазовой, и снизить её стоимость на 25%.

Парогазовые установки, использующие два вида рабочего тела – пар и газ – относятся к бинарным. В них часть тепла, получаемого при сжигании топлива в парогенераторе, расходуется на образование паранеобходимых параметров, который затем направляется в паровую турбину (рис.3.28). Охлажденные до температуры 650-700°C газы попадают на рабочие лопатки газовой турбины. Отработанные в турбине газы используются для подогрева питательной воды, что позволяет уменьшить расход топлива и повысить к.п.д. всей установки, который может достичь примерно 44%.

Лекция №6

Потребление электрической энергии

План электрификации России (ГОЭЛРО - Государственная комиссия по электрификации России) - первый в истории человечества единый государственный перспективный план развития всех отраслей народного хозяйства — разработан по заданию В. И. Ленина, который видел в использовании электроэнергии в народном хозяйстве не только источник глубочайших революционных преобразований в технике, но и источник огромных прогрессивных воздействий на историческое развитие общества.

Высокие количественные показатели развития энергетики требуют качественно новых форм ее организации, в первую очередь, построения крупных объединенных энергетических систем.

В первые же годы после Октябрьской революции в нашей стране были начаты работы по преобразованию всей экономики, всего народного хозяйства на основе всеобщей электрификации.

Внедрение электротехники в народное хозяйство служило мощным фактором, устраняющим противоположности между городом и деревней. В наше время широко развитая система радиосвязи и телевидения, густая сеть линий электропередач, покрывшая территорию страны, ярко доказывают гениальность предвидений того времени.

Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО) была создана 24 марта 1920 г. под председательством Г. М. Кржижановского. В состав комиссии вошли видные ученые и инженеры, такие, как Г.О.Графтио — автор проектов Волховской и Свирской гидроэлектростанций, И. Г. Александров — автор проекта Днепровской гидроэлектростанции, Б. И. Угримов, К. А. Круг, Н.Н. Вашков, М. А. Шателен и Е. Я. Шульгин. Всего к работе в комиссии было привлечено около 200 виднейших деятелей науки и техники.

В плане ГОЭЛРО наряду с развитием электроэнергетики рассмотрено комплексное развитие различных отраслей народного хозяйства, в первую очередь создание крупной машинной индустрии. При этом темпы ввода по плану энергетических мощностей должны быть быстрее, чем темпы роста

других отраслей промышленности. Так, за 10—15 лет выпуск промышленной продукции должен был увеличиться на 80—100%, а мощность электрических станций за это же время должна была возрасти в 2,5 раза.

За годы действия плана различие в уровнях промышленного развития экономических районов России (тогда СССР) сократилось более чем в 20 раз.

Планом ГОЭЛРО предусматривалось:

- наиболее экономичное использование топлива, достигаемое совместной параллельной работой различных ТЭС и ГЭС;
- широкое использование на электростанциях местных топливных ресурсов;
- использование на ГЭС водных энергетических ресурсов, в особенности в районах, бедных органическим топливом;
- создание высоковольтных электрических сетей, объединяющих мощные станции. Это позволяет увеличить выработку электроэнергии на удаленных электростанциях, работающих на местном дешевом топливе.

План ГОЭЛРО был реализован в кратчайший из намеченных сроков — за 10 лет — к 1931 г. За это время мощность электростанций увеличилась на 1775 МВт, а общая установленная мощность электростанций достигла 3972 МВт. К конечному сроку - 1935 г. план был перевыполнен по всем основным показателям. За годы осуществления плана было построено 40 районных электростанций вместо намеченных 30. В 1935 г. СССР занимал второе место в Европе и третье в мире по мощности электростанций.

В 1967 г. была введена в эксплуатацию первая опытно-промышленная электропередача 750 кВ. Конаковская ГРЭС — Москва протяженностью 90 км, а уже к 1985 г. протяженность линий электропередачи этого напряжения составила более 6 тыс. км.

Рост мощностей электростанций: тепловых и атомных — до 4 млн кВт, гидроэлектростанций — до 6 млн кВт, увеличение дальности передачи электроэнергии потребовали внедрения линий электропередачи нового класса

напряжений переменного тока — 1150 кВ, а также строительства линий электропередачи постоянного тока напряжением 1500 кВ.

Первые линии электропередачи новой ступени напряжения переменного тока 1150 кВ были введены в 1985 г. на участках Экибастузская ГРЭС — Кокчетав — Кустанай.

В 1994 г. завершился процесс разгосударствления предприятий топливно-энергетического комплекса. При этом государственные предприятия и организации изменили форму собственности и были преобразованы в акционерные общества.

В электроэнергетике было создано Российское акционерное общество энергетики и электрификации (РАО «ЕЭС России»), в уставной капитал которого переданы в качестве государственного вклада:

- основные системообразующие линии электропередачи, образующие единую энергетическую систему России;
- средства управления режимами электроэнергетических систем;
- 51 % акций крупнейших электростанций;
- 49 % акций каждого регионального акционерного общества энергетики;
- научно-исследовательские и проектные организации отрасли.

Широкое применение электрической энергии обусловлено ее специфическими свойствами, такими как:

4. способность превращаться практически во все другие виды энергии (тепловую, механическую, звуковую, световую и т. д.) и получать электрическую энергию из любых других видов энергии;
5. возможность относительно легко передаваться на большие расстояния в больших количествах;
6. способность к дроблению энергии и преобразованию ее параметров (изменение напряжения, частоты);
7. огромные скорости протекания электромагнитных процессов.

Применение электрической энергии в народном хозяйстве

Промышленность потребляет основную долю электрической энергии, которая составляет около 65%. Заметно увеличилось потребление электроэнергии коммунально-бытовыми приборами и установками.

Электрификация сельского хозяйства во многом определяется специфическими условиями этой отрасли, выражающимися в распространении производства на обширных территориях, низкой концентрации труда, сезонности и т. д. Необходимость широкого применения электрической энергии в сельском хозяйстве была выражена еще в плане ГОЭЛРО. В первые годы развития электроэнергетики на кооперативных началах создавались сельские электростанции, электрическая энергия которых в основном использовалась для электрического освещения. Уже к 1940 г. доля электроэнергии, непосредственно используемой в сельскохозяйственном производстве, составила 42,5%.

По мере развития электроэнергетических систем сельскохозяйственных потребителей в возрастающем количестве стали подключать к источникам централизованного производства электроэнергии. Это давало возможность существенно снизить себестоимость получаемой в сельскохозяйственных районах электроэнергии.

Применение электроэнергии в быту позволяет максимально приблизить условия жизни в сельской местности к условиям жизни в городе.

Большое количество электрической энергии потребляет электрифицированный железнодорожный транспорт. В настоящее время важнейшие магистральные артерии в нашей стране электрифицированы. Переход на электрическую тягу позволяет значительно повысить пропускную и провозную способность за счет увеличения скорости движения поездов, снизить себестоимость перевозок, повысить экономию топлива, ускорить электрификацию прилегающих районов и т. д.

Для электрификации железнодорожного транспорта используется как

постоянный, так и переменный ток. Однако применение переменного тока по ряду показателей выгоднее и в последнее время электрификация железных дорог ведется преимущественно на переменном токе. К преимуществам использования переменного тока относятся: значительная экономия меди, достигающая 2-3 т на 1 км линии, сокращение числа тяговых подстанций, снижение в 3-5 раз потерь энергии в контактной сети, улучшение характеристик электровозов. Возрастает также потребление энергии на осуществление производственных процессов, погрузочно - разгрузочных и сортировочных работ, путевых работ; внедрение методов электротехнологии в депо при ремонтных работах и так далее.

Энергетика и общество

Электрическая энергия в быту расходуется во все возрастающих количествах. В прошлом, на первых этапах развития электроэнергетики и электрификации, электрическая энергия в быту в основном использовалась для освещения. По мере развития электротехнической промышленности создавались совершенные и удобные бытовые приборы — холодильники, телевизоры, стиральные машины и т. п. Широкое применение этих приборов способствовало увеличению потребления электроэнергии. В возрастающем количестве электрическая энергия стала использоваться для приготовления пищи на предприятиях общественного питания и в квартирах, что способствовало улучшению гигиенических условий.

Потребление электроэнергии промышленными предприятиями, транспортом, электробытовыми приборами, подключенными к энергетической системе, меняется как в течение суток, так и в течение года. В утренние часы, когда начинают работу предприятия, включается освещение в квартирах, приводится в движение городской транспорт, потребление электроэнергии значительно возрастает, то есть. наступает так называемый утренний максимум нагрузки. Днем нагрузка в системе уменьшается (обеденные перерывы, окончание работы смен) в связи с некоторым снижением производительности

труда. Вечером нагрузка в системе, как правило, достигает максимальных величин, так как в это время напряженно работает городской электрифицированный транспорт, включается уличное освещение, зажигается свет в квартирах и включаются многочисленные электроприборы — телевизоры, радиоприемники, нагревательные устройства и т. д. В эти же часы продолжают работать некоторые предприятия. Ночью большая часть потребителей электроэнергии не работает и наступает глубокий «провал» нагрузки.

На потребление электрической энергии оказывает влияние и время года. Так, например, в зимнее время больше расходуется электроэнергии на освещение и отопление. Имеют значение также погодные условия. Выпадение снега приводит к повышенному потреблению электроэнергии транспортом. Внезапное похолодание или потепление приводит к изменению потребления энергии на обогрев помещений.

Принципы работы основных элементов электроэнергетической системы

Электронергетическая система состоит из элементов, которые можно разделить на три группы:

5. 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;

6. измерительные элементы — трансформаторы тока и напряжения, предназначенные для подключения измерительных приборов, средств управления и регулирования;

7. средства управления — релейная защита, регуляторы, автоматика, телемеханика, связь, обеспечивающие оперативное и автоматическое

управление схемой и работой ЭЭС.

В промышленных масштабах электрическую энергию получают на электрических станциях, преобразованием различных видов энергии — химической энергии органического топлива, внутриядерной энергии, гидроэнергии и т. д., в электрическую с помощью *электрических генераторов*. Преобразование электрической энергии к виду, удобному для передачи, распределения и потребления, производится с помощью *трансформаторов*.

Передача электрической энергии на расстояние осуществляется по *воздушным* или *кабельным линиям*. Потребление ее происходит различными механизмами, но, значительная доля расходуется на приведение в движение производственных механизмов электрическими двигателями переменного тока.

Генераторы электростанций

Электрические генераторы преобразуют механическую энергию в электрическую. Абсолютное равенство частот генерируемого напряжения сотен одновременно работающих генераторов может быть обеспечено только одним — специальным типом этих электрических машин — *синхронными генераторами*, то есть работающими одновременно, в ритме единого времени, со строго определенными частотами вращения своих подвижных частей, называемых *роторами*. Неподвижная часть генератора, называется *статором*.

Подвижная часть генератора (ротор) может быть выполнена с сосредоточенной обмоткой. В этом случае ротор и сам генератор называются *явнополюсными*. Если обмотка ротора является распределенной, ротор и генератор называются *неявнополюсными*.

На рисунке 5.1 схематично показано поперечное сечение синхронной явнополюсной машины с четырьмя полюсами на роторе 2 чередующейся полярности *N-S-N-S*. Сосредоточенная обмотка возбуждения 4, размещенная на роторе, обтекается постоянным током, возбуждающим магнитное поле ротора. Ротор приводится во вращение источником механической энергии. Чаще всего

— это паровая, газовая или гидравлическая турбина, создающая механический вращающий момент. Частота вращения турбины может быть различной — в диапазоне от десятков до сотен и даже тысяч оборотов в минуту: меньше для гидравлических турбин и больше для остальных видов. Постоянный ток на вращающуюся обмотку возбуждения 4 подается через контактные кольца 5. При вращении ротора магнитное поле обмотки возбуждения перемещается относительно неподвижной обмотки статора 3, размещенной в пазах сердечника статора 1, что вызывает в обмотке электродвижущую силу (ЭДС), то есть индуцирует переменный синусоидальный ток частотой f_1 . Частота ЭДС f_1 равна произведению частоты вращения ротора n_2 в оборотах в секунду на число пар полюсов ротора p , $f_1 = n_2 \cdot p$ (на рис. 5.1 $p=2$, то есть число полюсов $2p=4$).

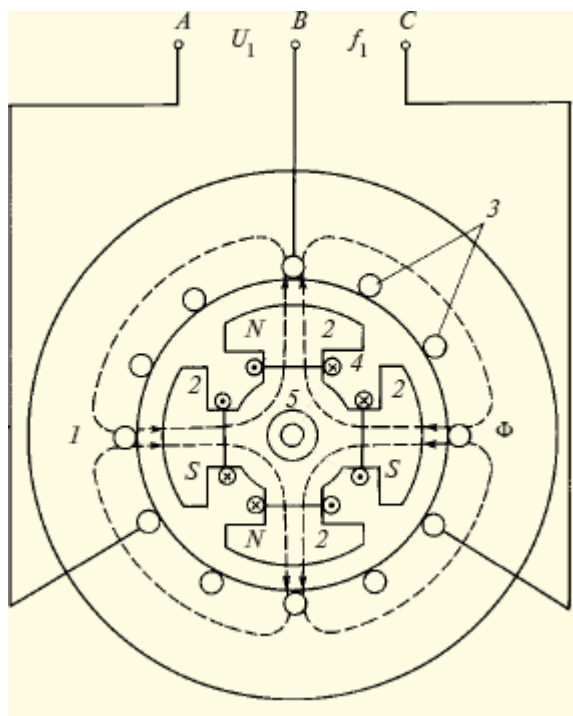


Рис. 5.1. Поперечное сечение явнополюсной синхронной машины.

- 1 — статор;
- 2 — полюсы ротора;
- 3 — обмотка якоря (статора);
- 4 — обмотка возбуждения;
- 5 — контактные кольца

Синхронные генераторы, вращаемые паро- и газовыми турбинами, называются **турбогенераторами**, а вращаемые гидравлическими турбинами — **гидрогенераторами**.

Неявнополюсные роторы, у которого обмотка возбуждения не сосредоточенная, а распределенная по пазам, характерны для турбогенераторов, при этом число пар полюсов равно единице, реже — двум.

На ТЭС турбогенераторы изготавливаются быстроходными с номинальной частотой вращения 3000 об/мин в соответствии с принятой в России и странах СНГ и Европе стандартной частотой переменного тока, равной 50 Гц.

Для стран, где принята частота напряжения 60 Гц (США, Япония и др.), частота вращения ротора составит 3600 об/мин. Для генераторов с большим, чем единица, числом пар полюсов частота вращения роторов будет частным от деления 3000 (или 3600) на число пар полюсов, об/мин:

- 1500, 1000, 750, 600 и т. д. (для 50 Гц)
- 1800, 1200, 900, 720 и т. д. (для 60 Гц).

Большие частоты вращения повышают экономичность работы паровых турбин и позволяют уменьшить габариты турбин и генераторов. Масса электрической машины возрастает с уменьшением частоты ее вращения.

Турбогенератор, вращаемый паровой или газовой турбиной, имеет горизонтально расположенный вал, опирающийся на два подшипника скольжения.

В отличие от турбогенераторов гидрогенераторы выполняют тихоходными, с различными частотами вращения, определяемыми напором и расходом воды в створе реки. Значительно меньшие частоты вращения роторов гидрогенераторов приводят к относительному увеличению их размеров.

Явнополюсная синхронная машина, приводимая во вращение гидравлической турбиной, то есть гидрогенератор, чаще всего имеет вертикально ориентированный вал и «подвешена» на подпятник, воспринимающий не только массы генератора, гидротурбины, но и осевое давление воды на лопасти гидротурбины.

Гидрогенераторы имеют частоту вращения примерно в 6—60 раз меньшую, чем турбогенераторы. Эта разница обусловлена различием типов применяемых в этих машинах паровых, газовых и гидравлических турбин, а также зависит от характера используемых для ГЭС водных источников (расход воды, уклон водопотока, рельеф местности при учете экономической

целесообразности эксплуатируемой зоны). Из-за более низких частот вращения гидроагрегатов общие массы гидрогенераторов достигают 1,5—2 тыс. т и в несколько раз превышают массы аналогичных по мощности турбогенераторов, делая невозможным применение горизонтального расположения валов с более простыми подшипниками скольжения.

Диаметры роторов турбогенераторов на 3000 об/мин не превышают 1,1 - 1,25 м при длине ротора до 8 м. Роторы гидрогенераторов достигают в диаметре 15—20 м при длине до 5 м.

На некоторых автономных установках, самолетах и кораблях используются более высокие частоты переменного тока (400 Гц), что позволяет уменьшить габариты электрических машин.

Следует отметить, что все электрические машины обладают свойством обратимости. Любой электрический генератор может работать как двигатель, то есть преобразовывать электрическую энергию в механическую.

Лекция №7

Трансформаторы

Широкое распространение переменного тока в электроэнергетике обусловлено возможностью получения наиболее простых конструкций электрических машин, работа которых основывается на наведении э.д.с. переменным магнитным потоком. Еще одно преимущество переменного тока — простота преобразования напряжения, что важно для передачи электрической энергии на расстояние. Изменение величин напряжения и тока производится в трансформаторах.

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. Следует заметить, что на каждый установленный киловатт генераторной мощности приходится 7—8 кВ·А трансформаторной мощности, а на вновь вводимый — до 12—15 кВ·А.

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.

Распределение трансформаторов и автотрансформаторов мощностью 120 МВ·А и более по классам напряжения и их доля в общей мощности представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Распределение трансформаторов и автотрансформаторов по классам напряжения и их доля в общей мощности

Класс напряжения, кВ	Доля общей мощности, %
110	7
220	36
330	12,5
500	37
750	6
1150	1,5

В основе работы трансформатора лежит явление электромагнитной индукции. В трансформаторе *передача электрической энергии* из первичной обмотки во вторичную осуществляется, как и во всех электрических машинах, посредством *магнитного потока Φ* , который является переменным, то есть изменяющимся во времени.

Обмотки трансформатора служат для создания магнитного поля, посредством которого осуществляется передача электрической энергии и обеспечивается наведение в обмотках ЭДС, требуемой по условиям эксплуатации. Обмотки выполняют из медных или алюминиевых изолированных проводов круглого или прямоугольного сечения.

Обмотку трансформатора, к которой *подводится электрическая энергия*, называют ***первичной***, а обмотку, от которой энергия отводится, — ***вторичной***.

Магнитопровод трансформатора служит для усиления магнитной связи между обмотками и является конструктивным основанием (*остовом*) для установки и крепления обмоток, отводов и других деталей трансформатора.

Магнитопровод набирают из изолированных листов специальной электротехнической стали с относительным содержанием кремния до 5%. Толщину листов выбирают из условий получения приемлемого уровня потерь и технологических условий при производстве магнитопровода. При частоте 50 Гц в современных силовых трансформаторах толщина листов равна 0,27—0,35 мм.

Часть магнитопровода, на которой располагается обмотка, называют ***стержнем***, а часть магнитопровода, замыкающая стержни, на которых *не располагаются* обмотки, называется ***ярмом***.

Для передачи электрической энергии с незначительным изменением напряжения и тока применяются *автотрансформаторы*, у которых, в отличие от обычного трансформатора, обмотки имеют не только магнитные, но и электрические связи. Автотрансформатор, как и трансформатор, может быть понижающим или повышающим.

Измерительные трансформаторы.

Измерительные трансформаторы используют, главным образом, для подключения электроизмерительных приборов к цепи переменного тока высокого напряжения. При этом электроизмерительные приборы оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Кроме того, измерительные трансформаторы дают возможность расширять пределы измерения приборов, то есть измерять большие токи и напряжения с помощью сравнительно несложных приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. В ряде случаев измерительные трансформаторы служат для подключения к цепям высокого напряжения обмоток реле, обеспечивающих защиту электроустановок от аварийных режимов.

Измерительные трансформаторы подразделяют на два типа — ***трансформаторы напряжения*** и ***трансформаторы тока***.

Трансформаторы напряжения служат для включения вольтметров, а также других приборов, реагирующих на значение напряжения (например, катушек напряжения ваттметров, счетчиков, фазометров и различных реле). Трансформаторы тока служат для включения амперметров и токовых катушек указанных приборов. Измерительные трансформаторы изготовляют мощностью от пяти до нескольких сотен вольт-ампер. Они рассчитаны для совместной работы со стандартными приборами (амперметрами, вольтметрами).

Линии электропередачи

Линия электропередачи (ЛЭП) это электрическая линия, состоящая из проводов, кабелей, изолирующих элементов и несущих конструкций, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние с возможным промежуточным отбором.

Современная классификация линий электропередач базируется на ряде признаков, которые представлены в табл. 5.2.

Классификация линий электропередачи

Признак	Тип линии	Разновидности
Род тока	Постоянного тока	—
	Трёхфазного переменного тока	—
	Многофазного переменного тока	Шестифазная
		Двенадцатифазная
Номинальное напряжение	Низковольтная (до 1 кВ)	—
	Высоковольтная (свыше 1 кВ)	СН (3—35 кВ)
		ВН (110—220 кВ)
		СВН (330—750 кВ)
		УВН (свыше 1000 кВ)
Конструктивное выполнение	Воздушная	—
	Кабельная	—
Число цепей	Одноцепная	—
	Двухцепная	—
	Многоцепная	—
Топологические характеристики	Радиальная	—
	Магистральная	—
	Ответвление	—
Функциональное назначение	Распределительная	—
	Питающая	—
	Межсистемная связь	—

1. По роду тока различаются линии **постоянного тока**, а также

трехфазного и многофазного *переменного тока*. Линии постоянного тока конкурируют с остальными лишь при достаточно большой протяженности и передаваемой мощности, поскольку в общей стоимости электропередачи значительную долю составляют затраты на сооружение концевых преобразовательных подстанций. Наибольшее распространение в мире получили линии трехфазного переменного тока, причем по протяженности среди них лидируют именно воздушные линии. Линии многофазного переменного тока (шести- и двенадцатифазные) в настоящее время относятся к категории нетрадиционных.

2. Наиболее важным признаком, определяющим различие конструктивных и электрических характеристик ЛЭП, является номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$. К категории низковольтных относятся линии с номинальным напряжением менее 1 кВ. Линии с $U_{\text{ном}} > 1$ кВ принадлежат к разряду высоковольтных, и среди них выделяются линии среднего напряжения (**СН**) с $U_{\text{ном}} = 3—35$ кВ, высокого напряжения (**ВН**) с $U_{\text{ном}} = 110—220$ кВ, сверхвысокого напряжения (**СВН**) с $U_{\text{ном}} = 330—750$ кВ и ультравысокого напряжения (**УВН**) с $U_{\text{ном}} > 1000$ кВ.

3. По конструктивному исполнению различают *воздушные* и *кабельные* линии. Воздушная линия — это линия электропередачи, провода которой поддерживаются над землей с помощью опор, изоляторов и арматуры. Кабельная линия определяется как линия электропередачи, выполненная одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю или проложенными в кабельных сооружениях (коллекторах, туннелях, каналах, блоках и т. п.).

4. По количеству параллельных цепей ($n_{\text{ц}}$), прокладываемых по общей трассе, различают *одноцепные* ($n_{\text{ц}} = 1$), *двухцепные* ($n_{\text{ц}} = 2$) и *многоцепные* ($n_{\text{ц}} > 2$) линии. Одноцепные воздушные линии сооружаются на одноцепных опорах, тогда как двухцепные могут сооружаться либо с подвеской каждой цепи на отдельных опорах, либо с их подвеской на общей (двухцепной) опоре. В последнем случае, очевидно, сокращается полоса отчуждения территории под трассу линии, но возрастают вертикальные габариты и масса опоры. Первое

обстоятельство, как правило, является решающим, если линия проходит в густонаселенных районах, где обычно стоимость земли достаточно высока. По этой же причине в ряде стран мира используются и многоцепные опоры с подвеской цепей одного номинального напряжения (обычно с $n_{\text{ц}} = 4$) либо разных напряжений ($n_{\text{ц}} \leq 6$).

5. По топологическим (схемным) характеристикам различают **радиальные** и **магистральные** линии. Радиальной считается линия, в которую мощность поступает только с одной стороны, то есть от единственного источника питания. Магистральная линия определяется ГОСТ как линия, от которой отходит несколько ответвлений. Под ответвлением понимается линия, присоединенная одним концом к другой ЛЭП в ее промежуточной точке.

6. По функциональному назначению выделяются **распределительные** и **питающие** линии, а также линии **межсистемной связи**. Деление линий на **распределительные** и **питающие** достаточно условно, ибо и те, и другие служат для обеспечения электрической энергией пунктов потребления. Обычно к распределительным относят линии местных электрических сетей, а к питающим — линии сетей районного значения, которые осуществляют электроснабжение центров питания распределительных сетей. Линии **межсистемной связи** непосредственно соединяют разные энергосистемы и предназначены для взаимного обмена мощностью как в нормальных режимах, так и при авариях.

Процесс электрификации, создания и объединения энергосистем в Единую энергосистему сопровождался постепенным увеличением номинального напряжения ЛЭП с целью повышения их пропускной способности. В этом процессе на территории бывшего СССР исторически сложились две системы номинальных напряжений. Первая, наиболее распространенная, включает в себя следующий ряд значений $U_{\text{ном}}$: 35—110—220—500—1150 кВ, а вторая — 35—150—330—750 кВ. К моменту распада СССР на территории России находилось в эксплуатации более 600 тыс. км ВЛ 35—1150 кВ. В последующий период рост протяженности продолжался, хотя и

менее интенсивно.

Металлические провода воздушных линий подвешиваются к опорам через *изоляторы* с помощью *специальных зажимов*.

Опоры выполняются деревянными, металлическими и железобетонными в зависимости от назначения линий, используемого напряжения, экономических соображений и т. п. Некоторые конструкции опор предназначены для поддержания проводов; они воспринимают только вертикальные нагрузки веса проводов и называются *промежуточными*. Существуют конструкции опор, воспринимающие горизонтальные нагрузки тяжения проводов; они называются *анкерными*. Кроме того, выполняются опоры специального назначения для перевода линии через водные препятствия и горные ущелья, для изменения направления линии и т. д.

При выполнении современных воздушных линий, как правило, применяются сталеалюминиевые провода, состоящие из центральной стальной проволоки и повивов (вокруг нее) алюминиевых проволок. Стальной провод повышает механическую прочность линии, а алюминиевые проволоки обеспечивают хорошую электрическую проводимость. Выполнение проводов многопроволочными улучшает их механическую гибкость и уменьшает проявление поверхностного эффекта по сравнению с одиночными проводами эквивалентного сечения.

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии и являются одним из важнейших видов кабельных изделий. Классификацию силовых кабелей принято проводить по значению напряжения электрических сетей, в которых они используются.

Силовые кабели низкого напряжения (до 1 кВ). Преимущественно эти кабели применяются в трехфазных системах с заземленной нейтралью при напряжении 220/380 В и изготавливаются в основном в четырехжильном исполнении, хотя выпускаются и трехжильные кабели. В качестве электрической изоляции жил и защитных оболочек кабелей применяются пластмассы преимущественно на основе поливинилхлоридных (ПВХ)

пластиков.

Силовые кабели среднего напряжения. Эти кабели применяются в распределительных сетях с изолированной нейтралью на напряжения 6, 10, 20 и 35 кВ. Основным напряжением распределительных сетей энергосистем России и стран СНГ является напряжение 10 кВ. В качестве электрической изоляции кабелей среднего напряжения применяется бумажная пропитанная и пластмассовая изоляция.

Силовые кабели высокого напряжения. К этому классу относятся кабели на напряжение 110, (150), 220, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых в России и странах СНГ. Напряжения 150 и 380 кВ используются в отдельных случаях. К электрической изоляции кабелей высокого напряжения предъявляются высокие требования в части электрической прочности, высокой надежности в течение длительных сроков службы (35 и более лет). По виду электрической изоляции различают: кабелей с бумажно-пропитанной, работающей под избыточным давлением масла (маслонаполненные кабели — МНК) и из сшитого полиэтилена.

В кабельных линиях (КЛ) изолированные друг от друга провода заключены в защитные оболочки. Обычно кабельные линии прокладывают в земле непосредственно или в специальных кабельных каналах. В настоящее время преобладают воздушные линии переменного тока, хотя наблюдается тенденция к более широкому применению кабельных линий.

Коммутационные аппараты

Коммутационные аппараты используются для формирования необходимых схем передачи энергии от ее источника (электростанции) к потребителю.

Выключатели предназначены для оперативной и аварийной коммутации в энергосистемах, то есть 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, 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.

Защитные и *ограничивающие* аппараты подразделяются на аппараты ограничения тока и напряжения.

К *токоограничивающим аппаратам* относятся предохранители и реакторы высокого напряжения. Плавкие предохранители предназначены для защиты силовых трансформаторов и измерительных трансформаторов напряжения, воздушных и кабельных линий, конденсаторов.

Токоограничивающие реакторы представляют собой катушку индуктивности без стали и служат для ограничения тока короткого замыкания.

В качестве ограничителей грозовых и внутренних перенапряжений используются *разрядники* и *ограничители перенапряжения*. Они должны быть установлены вблизи силовых повышающих трансформаторов и вводов воздушных линий в распределительное устройство. Они позволяют снизить требования к прочности электрической изоляции аппаратов и оборудования распределительного устройства, уменьшить габаритные размеры электрической установки и значительно снизить ее стоимость.

Силовая электроника

Силовая электроника — область техники, связанная с управлением потоками электроэнергии посредством мощных электронных приборов, которые работают в ключевых режимах, пропуская или блокируя поток электроэнергии, что позволяет изменением алгоритмов их переключения управлять усредненными значениями мгновенной мощности по требуемым законам.

В 1948 г. изобретение транзистора открыло новую эру в электронике, а в 1956 г. был создан мощный полупроводниковый прибор — *тиристор*. На основе этого прибора началось интенсивное развитие нового поколения силовых электронных устройств. Однако ограниченная управляемость

тиристора и относительно невысокое его быстродействие явились существенными факторами, ограничивающими дальнейшее развитие силовой электроники. И только с начала 80-х годов намечается новый революционный этап в ее развитии, обусловленный научно-техническими и технологическими достижениями в области создания высокоэффективных управляемых силовых электронных приборов. Одновременно в устройствах силовой электроники стали успешно использоваться новейшие достижения микроэлектроники, в частности микропроцессорные средства. При этом на основе интеграции этих средств стали создаваться «интеллектуальные», или «разумные», схемы, которые определили новые возможности совершенствования силовых электронных устройств и расширили области их применения.

За последние годы функции силовых полупроводниковых устройств существенно расширились. Они стали использоваться в качестве аппаратов коммутации, защиты и регуляторов.

Электронным ключом называется устройство для замыкания и размыкания силовой электрической цепи, содержащее по крайней мере один управляемый вентильный прибор. Вентильный прибор (вентиль) — электронный прибор, проводящий ток в одном направлении. На основе двух или более вентильных приборов создаются двунаправленные ключи, проводящие ток в двух направлениях. Понятие «силовой» означает, что осуществляется управление потоком электрической энергии, а не потоком информации. К «силовым» приборам формально принято относить приборы с максимально допустимым значением среднего тока свыше 10 А или импульсным током свыше 1000 А. Функции силовых электронных ключей в настоящее время выполняют силовые полупроводниковые приборы, физической основой которых являются полупроводниковые структуры с различными типами электронной проводимости.

Распределительные устройства

На электрических станциях (ЭС) и подстанциях (ПС) для электрической

связи различных элементов электрооборудования сооружаются *распределительные устройства (РУ)*.

Распределительным устройством называется сооружение, которое служит для приема и распределения электрической энергии и содержит коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, токопроводы, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и другие установки), а также устройства релейной защиты и автоматики, измерительные и вычислительные комплексы.

В общем случае на ЭС и ПС сооружаются РУ на нескольких напряжениях, которые, как правило, связаны между собой через трансформаторы (автотрансформаторы). Различают РУ генераторного (**ГРУ**), высшего (**ВН**) и среднего (**СН**) напряжений, а также РУ собственных нужд (**с.н.**).

По способу исполнения РУ бывают *открытого (ОРУ)* и *закрытого (ЗРУ)* исполнения. Все или основное оборудование ОРУ располагается на открытом воздухе (вне помещения), тогда как оборудование ЗРУ располагается в специальном здании.

Лекция №8

Передача энергии на расстояние

Необходимость сооружения ЛЭП объясняется выработкой электроэнергии в основном на крупных электростанциях, удаленных от потребителей — относительно мелких приемников, распределенных на обширных территориях.

Электростанции размещаются с учетом совокупного влияния большого числа факторов: наличия энергоресурсов, их видов и запасов; возможности транспортировки; перспектив потребления энергии в том или ином районе и т. п. Передача электрической энергии на расстояние дает ряд преимуществ, позволяя:

- применять отдаленные источники энергии;

- уменьшать суммарную резервную мощность генераторов;
- использовать расхождение времени в разных географических широтах, при котором не совпадают максимумы расположенных в них нагрузок;
- более полно использовать мощности ГЭС;
- увеличивать надежность электроснабжения потребителей и т. д.

ЛЭП, предназначенные для распределения электроэнергии между отдельными потребителями в некотором районе и для связи энергосистем, могут выполняться как на большие, так и на малые расстояния и предназначаться для передачи мощностей различных величин. Для дальних передач большое значение имеет пропускная способность, то есть та наибольшая мощность, которую можно передавать по ЛЭП с учетом всех ограничивающих факторов.

В последнее время большое внимание уделяется созданию новых ЛЭП с полностью измененной конструкцией, более компактных и в то же время с большой пропускной способностью. Так, «закрытые» ЛЭП выполняются в виде замкнутых конструкций, заполненных электроизолирующим газом, с расположенными внутри ЛЭП высокого напряжения (порядка 500 кВ). Опытные «закрытые» ЛЭП имеют пока худшие экономические показатели по сравнению с обычными открытыми передачами.

Для передачи электрической энергии могут использоваться сверхпроводящие линии, в которых значительно может быть понижено напряжение. Эффект, близкий к сверхпроводимости, достигается глубоким охлаждением проводников. В этом случае ЛЭП называют криогенными. Этот вопрос имеет историю. Еще в 1911 г. голландский физик Г. Камерлинг-Оннес установил, что при охлаждении ртути до температуры ниже 4 K ее электрическое сопротивление исчезает вовсе. Оно скачком возникает вновь при повышении температуры сверх критического значения. Это явление называли сверхпроводимостью. Разумеется, что если бы такие материалы получили энергетики, то они заменили бы ими обычные проводники, ЛЭП доставляли бы

без потерь энергию в громадных количествах на сверхдальние расстояния.

Удалось бы заметно повысить КПД мощных энергоемких устройств (электромагнитов, трансформаторов, электромашин), избежать многих трудностей, связанных с перегревом, расплавлением, разрушением деталей.

Анализируя развитие энергосистем в ряде стран, можно выделить две основные тенденции:

- приближение электрических станций к центрам потребления в тех случаях, когда на территории, охватываемой объединенной энергосистемой, нет дешевых источников энергии или когда источники уже использованы;
- сооружение электростанций вблизи дешевых источников энергии и передача электроэнергии к центрам ее потребления.

Электропередачи, нефтепроводы и газопроводы образуют Единую систему энергоснабжения страны. Системы электро-, нефте- и газоснабжающие должны конструироваться, сооружаться и эксплуатироваться в определенной координации между собой, образуя *единую энергетическую систему (ЕЭС)*.

Преимущества объединения энергетических систем

На первой стадии развития электроэнергетика представляла собой совокупность отдельных электростанций, каждая из которых через собственную сеть передавала электроэнергию к потребителям, не связанным между собой. В дальнейшем стали создаваться энергетические системы, в которых электрические станции соединялись электрическими сетями и включались на параллельную работу. Отдельные энергетические системы в свою очередь также объединялись, образуя более крупные энергетические системы. Тенденция к образованию по возможности наиболее крупных энергетических объединений проявляется практически во всех странах.

Общее стремление к объединению энергетических систем вызвано огромными преимуществами крупных систем по сравнению с отдельными

станциями.

Создание *объединенных энергетических систем* позволяет:

1. *Уменьшить суммарную установленную мощность электростанций.*

Максимум суммарной нагрузки энергосистемы меньше, чем сумма максимумов нагрузок отдельных потребителей. Это объясняется несовпадением отдельных максимумов из-за различных условий работы потребителей. В энергетических системах, охватывающих обширные географические районы, несовпадение максимумов вызвано расположением нагрузок в различных часовых поясах. Например, объединение потребителей, размещенных в европейской и сибирской частях страны, позволит получить более равномерный суммарный график нагрузки по сравнению с графиком нагрузок отдельных потребителей. Установленная мощность электростанций в системе должна быть достаточной для покрытия максимальных нагрузок потребителей. Кроме того, исходя из требований, предъявляемых к надежности работы систем, должна быть предусмотрена резервная мощность генераторов. При параллельной работе электрических станций резервная мощность может быть уменьшена.

2. *Более полно использовать гидроэнергетические ресурсы.* Расход воды в реке колеблется в больших пределах. Для надежного снабжения электроэнергией потребителей мощность ГЭС (при изолированной ее работе) нужно выбирать исходя из обеспеченного расхода воды, который приходится принимать достаточно малым. В случае больших расходов часть воды пришлось бы сбрасывать мимо турбин.

3. *Повысить экономичность выработки электроэнергии.* Вследствие неравномерности графиков нагрузок изолированные станции должны работать в течение некоторого времени с недогрузкой, то есть в неэкономичном режиме. В энергосистемах при провалах нагрузки часть станций может быть отключена, а для оставшихся можно обеспечить наиболее экономичные режимы работы. Кроме того, различные станции имеют неодинаковые экономические показатели выработки электроэнергии. Поэтому с возрастанием нагрузки в системе стремятся в первую очередь увеличить выработку электроэнергии на

станциях с лучшими экономическими показателями.

4. *Увеличить единичные мощности агрегатов.* С возрастанием мощностей агрегатов улучшаются их технические характеристики и снижается удельная стоимость выработки электроэнергии.

5. *Повысить надежность электроснабжения потребителей.*

Управление электроэнергетическими системами

Состояние электроэнергетической системы (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**.

Понятие установившегося режима в ЭЭС условное, так как в ней всегда существует переходный режим, вызванный малыми колебаниями нагрузки. Установившийся режим понимается в том смысле, что параметры режима генераторов электростанций и крупных подстанций практически постоянны во времени.

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.

Наиболее опасными для ЭЭС являются **аварийные режимы**, вызванные короткими замыканиями и разрывами цепи передачи электроэнергии. Длительное существование аварийного режима недопустимо, так как при этом не обеспечивается нормальное электроснабжение потребителей и существует опасность дальнейшего развития аварии и распространения ее на соседние

районы. Для предотвращения возникновения аварии и прекращения ее развития применяются *средства автоматического и оперативного управления*, которыми оснащаются диспетчерские центры, электростанции и подстанции.

После ликвидации аварии ЭЭС переходит в *послеаварийный установившийся режим*, который не удовлетворяет требованиям экономичности и не полностью соответствует требованиям надежности и качества электроснабжения. Он допускается только как кратковременный для последующего перехода к нормальному режиму.

Для ЭЭС характерны *нормальные переходные режимы*, вызванные значительными изменениями нагрузки и плановым выводом оборудования в ремонт. Например включение мощных индукционных печей сталеплавильного производства или отключение силового трансформатора от сети для проведения планового ремонта.

Из перечисления возможных режимов ЭЭС следует, что этими режимами необходимо управлять, причем для разных режимов задачи управления различаются:

8. для нормальных режимов — это обеспечение экономичного и надежного электроснабжения;
9. для аварийных режимов — это максимальная локализация аварии и быстрая ликвидация ее последствий;
10. для послеаварийных режимов — быстрый и надежный переход к нормальному установившемуся режиму;
11. для нормальных переходных режимов — быстрое затухание колебаний.

Отдельные элементы энергетической системы (генераторы, трансформаторы, ЛЭП и т. д.) в результате аварий могут выходить из строя. В этих случаях часть потребителей может потерять питание. Надежность энергетической системы оценивается вероятностными показателями, так как отказы оборудования появляются под действием случайных факторов. С одной стороны, повышение надежности электроснабжения сопровождается

увеличением стоимости систем, с другой стороны, недостаточная надежность приводит к ущербам от недоотпуску электроэнергии потребителям. Поэтому целесообразные показатели надежности электрических систем должны устанавливаться с учетом этих факторов. Применение устройств релейной защиты и автоматики является эффективным средством повышения надежности. **Релейной защитой** называется система устройств, которые производят отключение поврежденных элементов или частей систем и локализацию аварий.

Реле называют электрический аппарат, который реагирует на параметры режима и срабатывает при недопустимых изменениях контролируемой величины. Из отдельных реле составляются устройства сигнализации, защиты и автоматики.

К числу автоматических устройств относятся устройства

8. *автоматического повторного включения (АПВ),*
9. *автоматической частотной разгрузки (АЧР),*
10. *автоматического ввода резерва (АВР).*

Устройства АПВ предназначены для ликвидации «переходящих» повреждений, например коротких замыканий. При появлении дугового короткого замыкания устройством АПВ создается бестоковая пауза, в течение которой дуга гаснет и восстанавливаются диэлектрические свойства воздушного промежутка. Затем вновь автоматически включается напряжение на ЛЭП, которая может продолжать успешную работу. Устройства АЧР срабатывают при дефиците активной мощности в системе. При этом часть потребителей отключается, а остальные работают с приемлемыми параметрами режима.

Управление электроэнергетическими системами наиболее просто осуществляется автоматическими регуляторами и устройствами противоаварийной автоматики. В последнее время для управления стали применять цифровые машины. Настройка автоматических систем управления производится методами синтеза в соответствии с заранее выбранными

характеристиками таким образом, чтобы обеспечить экономичность работы системы и высокие показатели качества отпускаемой потребителям электроэнергии.

Выбор видов используемых автоматических устройств, оценка их эффективности и влияния на надежность работы энергосистем производится на основе оптимизационных расчетов.

Управление режимами электроэнергетических систем должно быть оптимальным, то есть дающим наилучший технико-экономический эффект в условиях действия ряда противоположных тенденций. Например, желая увеличить передаваемую по линии мощность, можно вызвать аварийное отключение этой линии из-за нарушения устойчивости. Одна тенденция состоит в положительном эффекте, получаемом при увеличении передаваемой мощности, другая - в отрицательных последствиях, вызванных понижением надежности и возможностью полного прекращения передачи электроэнергии по линии, причем вероятность прекращения передачи возрастает с увеличением передаваемой мощности.

В системе управления электроэнергетикой важное значение имеют микропроцессорные цифровые устройства. Роль их по мере технического развития энергетических систем возрастает. При этом функции человека становятся более ответственными и творческими.

Наряду с управлением режимами электроэнергетических систем осуществляется управление их развитием — рациональным использованием расположенных на обширной территории видов энергоресурсов, выбором сочетания развития во времени и размещения по территории различных типов электростанций, внедрением новых источников электроэнергии.

Современные энергетические системы обладают высокой степенью организованности благодаря насыщенности автоматическими управляющими элементами. В результате работы устройств управления происходит упорядочение системы, приведение ее к большей организованности.

Процесс взаимодействия управляющей и управляемой систем состоит из

нескольких последовательных этапов:

- получение данных о состоянии управляемой системы, то есть информации о ее режиме;
- передача этой информации в управляющую систему;
- переработка информации управляющей системой с целью выдачи управляющего сигнала (команды управления). Выработка команды управления происходит в соответствии с законом управления— алгоритмом. Алгоритм управления определяет направление воздействия на систему для приведения ее в требуемое состояние;
- передача команды управления к исполнительному органу и выполнение ее, после чего — обратная передача информации о выполнении команды в управляющую систему.

Функции переработки информации об объекте и выдачи управляющего сигнала в различных технических системах в настоящее время в основном выполняются человеком - дежурным инженером, диспетчером. Так, дежурный инженер ТЭС, находясь в помещении главного щита управления, выполняет функции, связанные с оперативным управлением работой станции. Он получает задание от диспетчера энергосистемы, проверяет соответствие рабочего режима станции этому заданию, оценивает величину отклонения режима от заданного и отдает распоряжения об изменении нагрузки агрегатов, включает или отключает потребителей. Кроме того, он контролирует по приборам режим работы элементов электрического оборудования станции — генераторов, трансформаторов, сборных шин. При аварии дежурный инженер станции должен найти пути и средства восстановления нормального режима, произвести требуемые переключения в схеме электрических соединений станции.

Характерная особенность современного этапа управления состоит во внедрении автоматизированных систем управления, оснащенных быстродействующими микропроцессорными устройствами. Такие системы

осуществляют сбор и обработку необходимой исходной информации, поступающей в микропроцессорные устройства, где в соответствии с заложенными программами производятся расчеты и получается управляющая информация. Эта управляющая информация либо предварительно анализируется персоналом и затем используется, либо непосредственно используется в качестве управляющих воздействий.

Структура управления энергетикой имеет три основные линии - оперативное управление режимами, строительство и административно-хозяйственные дела.

Основная особенность энергетической системы, заключающаяся в единстве технологического процесса и неразрывной связи отдельных ее элементов, требует единого управления процессом работы всей системы. В связи с этим с начала развития энергетических систем стала развиваться и техника управления ими из единого центра.

Необходимость централизации управления энергосистемами выявилась еще на заре их организации. Для этой цели в первом десятилетии XX в. была создана особая должность «распределителя нагрузок» (диспетчера).

Диспетчерское управление — это вид оперативного подчинения, когда операции с тем или иным оборудованием ЭЭС проводятся только по распоряжению диспетчера (старшего дежурного персонала), в управлении которого это оборудование находится.

В основе построения диспетчерского управления ЭЭС лежит следующее:

7. разграничение диспетчерских и общехозяйственных функций, т.е. обеспечение независимости системы диспетчерского управления (в пределах ее функций) от административно-хозяйственной деятельности руководства энергокомпаний;
8. иерархическое построение системы с прямым подчинением дежурного оперативного персонала каждой ступени управления персоналу более высокой ступени;
9. представление персоналу каждой ступени максимальной

самостоятельности в выполнении всех оперативных функций, не требующих вмешательства оперативного руководителя более высокой ступени;

10. четкое разграничение функций и ответственности оперативного персонала всех ступеней управления по ведению нормальных режимов и ликвидации аварийных ситуаций;

11. строжайшая диспетчерская дисциплина.

Первоначальной задачей диспетчера было именно только распределение мощности. В дальнейшем его функции резко расширились. На диспетчера энергосистемы было возложено управление режимом или по крайней мере контроль над режимом всех элементов энергосистемы и ликвидация аварий. В настоящее время функции диспетчера энергетической системы значительно шире и охватывают регулирование всех процессов в ней, имеющих существенное значение для всей энергосистемы, а не для отдельных ее элементов.

Диспетчер системы осуществляет руководство:

- распределением активной и реактивной мощностей между отдельными электростанциями энергосистемы;
- регулированием частоты во всей энергосистеме и напряжений в основных ее точках;
- регулированием потоков мощности по отдельным участкам электрической сети;
- производством всех коммутационных переключений в основных сетях системы и на электростанциях;
- вводом в работу и выводом из работы отдельных агрегатов электростанций и сетей как для целей ремонта, так и в резерв;
- ликвидацией аварий на электростанциях и в основных сетях энергосистемы;
- регулированием режима и водотока ГЭС;
- изменением настройки релейной защиты и т. д.

Диспетчеру энергетической системы подчиняется весь старший оперативный персонал электростанций и электрических сетей.