

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	7
Введение .....	9
<b>Глава 1</b>	
<b>Общие вопросы производства, преобразования, передачи и потребления электроэнергии</b> .....	<b>11</b>
1.1. Основные термины, определения и понятия, используемые в электроэнергетике .....	11
1.2. Производство электроэнергии .....	16
1.3. Синхронные генераторы .....	21
1.4. Преобразование электроэнергии .....	24
1.5. Новые преобразовательные аппараты с обмотками кабельного типа .....	30
1.6. Краткая характеристика распределительных устройств .....	32
1.7. Использование электроэнергии .....	36
<b>Глава 2</b>	
<b>Общие сведения об электроэнергетических системах</b> .....	<b>42</b>
2.1. Понятия о системах электроснабжения .....	42
2.2. Энергетическая система России .....	47
2.3. Режимы работы энергосистем .....	51
2.4. Режимы работы нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ .....	55
2.5. Режимы работы нейтрали в установках напряжением до 1 кВ .....	58
2.6. Заземляющие устройства .....	59
2.7. Сопrotивление заземляющих устройств .....	62
<b>Глава 3</b>	
<b>Классификация схем и выбор напряжения электрических сетей</b> .....	<b>65</b>
3.1. Классификация схем электрических сетей напряжением выше 1 кВ .....	65
3.2. Схемы групповых электрических сетей напряжением до 1000 В .....	76
3.3. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения объекта .....	83
3.4. Выбор напряжения внутриобъектного распределения электроэнергии .....	84
	3

<b>Глава 4</b>	
<b>Расчетные электрические нагрузки промышленных электрических сетей</b>	<b>87</b>
4.1. Общие сведения о графиках электрических нагрузок ....	87
4.2. Характеристики электрических нагрузок .....	92
4.3. Показатели графиков нагрузки .....	97
4.4. Определение расчетной нагрузки .....	104
4.5. Определение расхода электроэнергии .....	109
4.6. Рекомендации по последовательности расчетов электрических нагрузок .....	110
<b>Глава 5</b>	
<b>Расчетные электрические нагрузки сельских и городских электрических сетей</b>	<b>114</b>
5.1. Расчетные электрические нагрузки сельских районов ....	114
5.2. Расчетные электрические нагрузки городской сети .....	118
<b>Глава 6</b>	
<b>Термодинамические процессы, происходящие в проводах и кабелях электрических сетей при протекании по ним тока</b>	<b>129</b>
6.1. Нагревание и охлаждение проводов .....	129
6.2. Расчет нагрева голых проводов .....	134
6.3. Выбор плавких предохранителей по условиям нагревания .....	140
<b>Глава 7</b>	
<b>Конструктивные выполнения электрических сетей</b>	<b>145</b>
7.1. Конструкции электрических воздушных линий .....	145
7.2. Конструктивное выполнение проводов и изоляторов воздушных линий .....	149
7.3. Кабельные линии электропередачи .....	152
7.4. Токопроводы напряжением 6...35 кВ .....	158
7.5. Конструктивное выполнение сетей напряжением до 1 кВ .....	161
<b>Глава 8</b>	
<b>Электрический расчет электрических сетей</b>	<b>168</b>
8.1. Омическое и активное сопротивления медных и алюминиевых проводов и кабелей .....	168
8.2. Реактивное (индуктивное) сопротивление .....	170
8.3. Реактивная (емкостная) и активная проводимости линий .....	172
8.4. Схемы замещения элементов электрических сетей .....	174
8.5. Определение потерь, отклонений, колебаний напряжения .....	182

8.6.	Определение потерь электроэнергии .....	186
8.7.	Выбор оптимальных сечений проводов и жил кабелей линий электропередач .....	190
<b>Глава 9</b>		
<b>Виды и системы электрического освещения</b>		<b>204</b>
9.1.	Основы светотехники .....	204
9.2.	Источники света.....	208
9.3.	Осветительные электроустановки .....	210
9.4.	Электрические сети осветительных установок .....	212
9.5.	Расчет электрических сетей осветительных установок .....	216
<b>Глава 10</b>		
<b>Компенсация реактивной мощности</b>		<b>221</b>
10.1.	Основные положения .....	221
10.2.	Компенсирующие устройства .....	227
10.3.	Технико-экономическое обоснование выбора средств компенсации реактивной мощности .....	232
10.4.	Размещение компенсирующих устройств .....	238
10.5.	Регулирование работы компенсирующих устройств .....	240
<b>Глава 11</b>		
<b>Надежность электроснабжения</b>		<b>243</b>
11.1.	Термины надежности .....	243
11.2.	Законы распределения случайных величин .....	244
11.3.	Показатели надежности элементов систем электроснабжения .....	245
11.4.	Категории надежности электроснабжения электроприемников .....	252
<b>Глава 12</b>		
<b>Качество электроэнергии в системах электроснабжения</b>		<b>259</b>
12.1.	Общие сведения .....	259
12.2.	Показатели качества электроэнергии .....	261
12.3.	Отклонение напряжения .....	263
12.4.	Колебания напряжения .....	264
12.5.	Несинусоидальность формы кривой напряжения и тока .....	267
12.6.	Несимметрия напряжения .....	269
12.7.	Провал напряжения .....	270
12.8.	Импульсные напряжения и временные перенапряжения .....	272
12.9.	Причины отклонения частоты в электрической системе .....	276

## Глава 13

Анализ влияния качества электроэнергии на работу электроприемников .....	279
13.1. Анализ влияния отклонения частоты в электросистеме на работу электроприемников .....	279
13.2. Анализ влияния уменьшения и увеличения напряжения на работу электроприемников .....	281
13.3. Анализ влияния колебаний напряжения на работу электроприемников .....	286
13.4. Анализ влияния несимметрии напряжения на работу электроприемников .....	287
13.5. Анализ влияния несинусоидальности напряжения на работу электроприемников .....	289
13.6. Контроль КЭ и основные требования к цифровым средствам измерений .....	290

## Глава 14

Регулирование напряжения в электрических сетях .....	293
14.1. Задачи и способы регулирования напряжения в системах электроснабжения .....	293
14.2. Способ регулирования напряжения изменением напряжения генераторов на электростанциях .....	294
14.3. Способы регулирования напряжения коэффициентом трансформации трансформаторов, автотрансформаторов и специальными регуляторами ....	295
14.4. Способы регулирования напряжения изменением параметров сети или компенсацией падения напряжения в сети .....	298
14.5. Способ регулирования напряжения изменением реактивной мощности, проходящей в сети .....	300
14.6. Способы регулирования напряжения синхронными компенсаторами и статическими конденсаторами .....	301

## Глава 15

Технико-экономические расчеты и организация эксплуатации систем электроснабжения .....	305
15.1. Технико-экономическое сравнение вариантов при строительстве и неизменных годовых издержках ....	305
15.2. Правила пользования электрической энергией .....	310
15.3. Порядок расчета стоимости поставленной абоненту электрической энергии .....	315
15.4. Организация эксплуатации систем электроснабжения и электросберегающие технологии .....	320
Литература .....	326

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Для реализации стратегических планов Правительства России на период до 2030 г. необходима перестройка экономики страны, направленная прежде всего на то, чтобы придать обществу развитию мощный импульс ускорения с помощью научно-технического прогресса, определяемого в наибольшей степени энергетикой и автоматикой всех отраслей хозяйства.

Для решения важных энергетических задач инженер должен обладать теоретическими знаниями и уметь творчески применять их в практической деятельности, то есть уметь творчески мыслить.

Курсы специальных дисциплин 140211 «Электроснабжение» и направлений 14020062, 14020068 «Электроэнергетика», а также специальность 100700 «Промышленная теплоэнергетика», читаемые в энергетических и политехнических институтах на электроэнергетических и электротехнических факультетах и изучаемые в заочных политехнических институтах, содержат много общего и могут быть представлены в двух книгах.

В книге рассматриваются методы расчета электрических нагрузок, вопросы качества электрической энергии и компенсации реактивной мощности, схемы электроснабжения объектов; излагается методика определения потерь в элементах систем электроснабжения, приведен материал, касающийся работы и расчета электрических сетей, связанный с процессом протекания электрического тока в проводах внешнего и внутреннего электроснабжения объектов. Эта часть курса названа «Электроснабжением».

Во второй части курса «Электрические подстанции» рассмотрены вопросы схем соединения и проектирования трансформаторных подстанций, выбора оборудования распределительных устройств, расчетов токов короткого замыкания и релейной защиты.

Данная книга является учебным пособием по первой части курса. В книге помещен лишь материал, требуемый программой, причем по каждому разделу даны, главным образом, основные сведения.

В целях наглядности и лучшего усвоения курса в книге приведено значительное число примеров и расчетов, а также вопросов для самопроверки.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей: «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение», «Автоматическое управление электроэнергетическими системами» и других электроэнергетических специальностей вузов для дневной, вечерней и заочной форм обучения.

Авторы будут благодарны за все замечания и предложения по данной книге, которые просим направлять в адрес издательства.

## ВВЕДЕНИЕ

Системы электроснабжения предприятий предназначены для обеспечения питания электроэнергией приемников электрической энергии, к которым относятся электродвигатели различных механизмов и машин, электрические печи, аппараты и машины для электрической сварки, осветительные установки и другие приемники электроэнергии.

Первые электрические станции сооружались в городах для освещения и питания электрического транспорта, а также при фабриках и заводах. Несколько позднее появилась возможность сооружения электрических станций в местах залежей топлива или местах использования энергии воды. Передача электрической энергии к центрам потребления стала осуществляться линиями электропередачи высокого напряжения на большие расстояния.

По мере развития электропотребления усложняются и системы электроснабжения предприятий. В них включаются сети высокого напряжения, распределительные сети, а в ряде случаев и сети промышленных ТЭЦ.

До 1960 г. самые крупные генераторы тепловых электростанций (ТЭС) имели мощность 100 МВт. На одной электростанции устанавливали 6...8 генераторов. Поэтому мощность крупных ТЭС составляла 600...800 МВт. После освоения энергоблоков (турбина — генератор) мощностью 150...200 МВт мощность крупнейших электростанций повысилась до 1200 МВт. Переход на энергоблоки мощностью 800 МВт позволил увеличить мощность некоторых ТЭС (например, Пермской ГРЭС) до 4800 МВт.

В настоящее время в энергосистемах Российской Федерации эксплуатируются более 600 тыс. км воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше и 2 млн км напряжением 0,4...20 кВ, свыше 17 тыс. подстанций напряжением 35 кВ и выше с общей трансформаторной мощностью почти 575 млн кВ·А и более полумиллиона трансформаторных пунктов 6...35/0,4 кВ. Электроэнергетика России является важнейшей жизнеобеспечивающей отраслью страны. В ее состав входят более 700 электростанций общей мощностью 216,2 млн кВт; в отрасли работают более 1 млн человек.

В современных условиях и на перспективу до 2030 г. главными задачами специалистов, осуществляющих проектирование,

монтаж и эксплуатацию современных систем электроснабжения промышленных сельскохозяйственных и гражданских объектов являются: правильное определение электрических нагрузок, рациональная передача и распределение электроэнергии, обеспечение необходимой степени надежности электроснабжения, качества электроэнергии на зажимах электроприемников, электромагнитной совместимости приемников электрической энергии с питающей сетью, экономия электроэнергии и других материальных ресурсов.



## Глава 1

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПЕРЕДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### 1.1. Основные термины, определения и понятия, используемые в электроэнергетике

Таблица 1.1

Энергетика и электрификация народного хозяйства  
и электрическая часть электрической сети. Основные термины  
и определения (ГОСТы 19431—84 и 24291—80)

Термин	Определение
Электроснабжение	Обеспечение потребителей электрической энергией
Электроустановка	Установка, в которой производится, преобразуется, передается, распределяется, потребляется электрическая энергия
Источник питания электроэнергией	Электроустановка, от которой осуществляется питание электроэнергией потребителя или группы потребителей
Резервный источник питания электроэнергией	Источник питания электроэнергией, включаемый при отключении основного источника
Линия электропередачи	Электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии
Электрическая подстанция	Электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии
Электрическая сеть	Совокупность воздушных и кабельных линий электропередачи и подстанций, работающих на одной территории
Приемник электрической энергии	Электроустановка, предназначенная для приема и использования электрической энергии

Окончание табл. 1.1

Термин	Определение
Потребитель электрической энергии	Одна или группа приемников электрической энергии предприятия или организации
Электрическое распределительное устройство (распределительное устройство)	Электроустановка, предназначенная для приема и распределения электрической энергии на одном напряжении и содержащая коммутационные аппараты, вспомогательные устройства и соединяющие их элементы
Присоединение электрического распределительного устройства (присоединение)	Часть электрического распределительного устройства, относящаяся к одному из основных элементов электрооборудования или линии электропередачи
Система сборных шин	Комплект токоведущих элементов, связывающих между собой присоединения
Заземляющее устройство электроустановки	Совокупность заземляющих проводов и (или) шин и заземлителей или их эквивалентов в электроустановке
Мачтовая трансформаторная подстанция	Трансформаторная подстанция, оборудование которой установлено на конструкциях или на опоре воздушной линии электропередачи, не требующая наземных ограждений
Распределительный пункт	Электрическое распределительное устройство с аппаратурой управления его работой, не входящей в состав подстанции
Одноцепная электрическая линия	Электрическая линия, имеющая один комплект фазных или разнополярных электрических проводов
Двухцепная электрическая линия	Электрическая линия, имеющая два комплекта фазных или разнополярных проводов
Радиальная электрическая линия	Электрическая линия, соединяющая пункт питания с пунктом потребления или распределения электрической энергии
Магистральная электрическая линия	Электрическая линия, соединяющая пункт питания с несколькими пунктами потребления или распределения электрической энергии
Распределительная электрическая сеть	Электрическая сеть, обеспечивающая распределение электрической энергии между пунктами потребления

Таблица 1.2

**Надежность в технике. Некоторые термины  
и определения (ГОСТ 27002—86)**

Термин	Определение
Надежность	Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах в условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования
Безотказность	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки
Долговечность	Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта
Ремонто-пригодность	Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов
Исправное состояние. Исправность	Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации
Работоспособное состояние. Работоспособность	Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструктивной документации
Неработоспособное состояние. Неработоспособность	Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации
Предельное состояние	Состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно

Термин	Определение
Повреждение	Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния
Отказ	Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта
Наработка	Продолжительность или объем работы объекта
Наработка до отказа	Наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа
Наработка между отказами	Наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа
Технический ресурс. Ресурс	Наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние
Срок службы	Календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние

### ***Понятия, используемые в тексте***

***Абонент*** — потребитель электрической энергии (мощности), владеющий на законных основаниях энергопринимающим оборудованием и приобретающий электрическую энергию (мощность) для собственных и (или) производственных нужд.

***Объект*** — энергопринимающее устройство, либо совокупность энергопринимающих устройств Абонента, находящееся по единому адресу поставки, относящееся к единой тарифной группе и имеющее единое организационно-хозяйственное назначение.

***Субабонент*** — лицо, имеющее в собственности энергопринимающее оборудование и не имеющее прямого договора энергоснабжения (купли-продажи электрической энергии) с ЭС, получающее электрическую энергию (мощность) с согласия ЭС и сетевой организации от Абонента, принятую последним от ЭС через присоединенную сеть.

***Сетевая организация*** — организация, оказывающая услуги по передаче электрической энергии (мощности) с использо-

ванием объектов электросетевого хозяйства, к электрическим сетям которой присоединены энергопринимающие устройства Абонента.

*Средства измерения* — совокупность устройств, обеспечивающих измерение и учет электрической энергии (мощности) (измерительные трансформаторы тока и напряжения, счетчики электрической энергии, телеметрические датчики, информационно-измерительные системы и их линии связи), соединенных между собой по установленной схеме, типы которых утверждены федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию и метрологии и внесены в Государственный реестр средств измерений.

*Точка поставки* — место в электрической сети, являющееся местом исполнения обязательства по поставке электрической энергии (мощности).

*Расчетный период* (месяц) — календарный месяц, начало которого определяется с 00.00 1-го дня календарного месяца и заканчивается в 24.00 последнего дня этого месяца. Первым расчетным периодом по Договору является период, начало которого определяется с даты вступления в силу Договора и заканчивается в 24.00 последнего дня этого месяца.

*Период платежа* — установленный Договором срок осуществления платежей, в том числе по предварительной оплате за приобретаемую электрическую энергию (мощность).

*Безучетное потребление электрической энергии* (мощности) — потребление Абонентом электрической энергии (мощности) с нарушением условий Договора о порядке учета электрической энергии (мощности), в том числе вследствие вмешательства в работу средства измерения, либо нарушения установленных Договором сроков извещения о неисправности и/или отсутствии средства измерения, либо, неустранения указанных неисправностей или отсутствия средств измерений в течение 30 календарных дней с момента их обнаружения, а также иных действий, приведших к искажению данных о фактическом объеме потребленной электрической энергии (мощности).

*Договорные величины* — согласованный сторонами плановый объем поставки (продажи) электрической энергии (мощности) за расчетный период, в пределах которого ЭС несет обязательство перед Абонентом.

*Внерегламентные отключения* — отключения и ограничения подачи электрической энергии (мощности), введенные вследствие повреждения оборудования, в том числе в результате стихийных бедствий, а также вследствие необходимости отключения подачи электрической энергии (мощности) с целью устранения угрозы жизни и здоровью людей.

## **1.2. Производство электроэнергии**

Промышленное предприятие, вырабатывающее электроэнергию и обеспечивающее передачу ее потребителям по электрической сети, называют электрической станцией (ЭС).

В зависимости от вида используемых энергетических ресурсов современные электрические станции подразделяют на тепловые, гидравлические, атомные, ветряные, геотермальные и др.

Наиболее широко распространены тепловые (ТЭС), гидравлические (ГЭС) и атомные (АЭС) электрические станции.

Тепловыми называются такие электростанции, где тепловую и электрическую энергию получают благодаря сжиганию в топках котлов или в самих двигателях твердого, жидкого или газообразного топлива. Поэтому различают электростанции угольные (где сжигается кусковой или переработанный в угольную пыль уголь), торфяные, сланцевые, дизельные, работающие на жидком топливе, а также электростанции, где в топках котлов сжигается мазут или газ, и газотурбинные, где газ сгорает не в топках котлов, а в самой турбине.

Значительной группой среди тепловых станций являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые предназначены для комбинированной выработки тепловой (пара и горячей воды) и электрической энергии. Комбинированная выработка энергии повышает КПД современных ТЭЦ до 65–70%. Многие ТЭЦ расположены на промышленных предприятиях или вблизи них, когда тепловая энергия в виде пара или горячей воды идет на производственные и коммунально-бытовые нужды. В последнем случае ТЭЦ являются городскими и их главная задача — теплофикация жилых домов и коммунально-бытовых предприятий города.

Тепловыми могут быть и конденсационные электростанции (КЭС), предназначенные в основном для выработки только электрической энергии и снабжения ею потребителей. На них

широко применяют агрегаты с единичными мощностями 200, 300, а в настоящее время 500 и 800 МВт. Коэффициент полезного действия современных КЭС достигает 40—42%. Среди тепловых станций они являются наиболее мощными (до 2400—4800 МВт и выше).

Поперечный разрез главного корпуса КЭС, в качестве примера, показан на рис. 1.1.

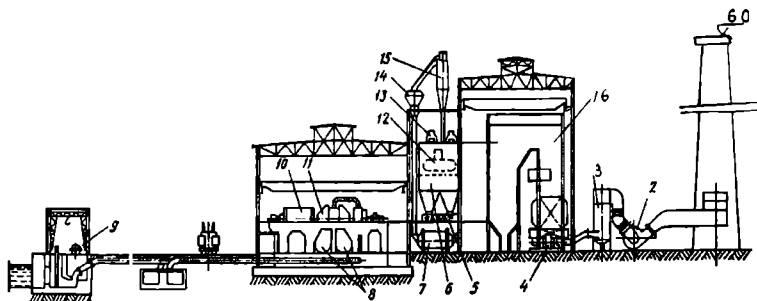


Рис. 1.1. Поперечный разрез главного корпуса КЭС:

1 — дымовая труба; 2 — дымосос; 3 — мокрый золоуловитель; 4 — дутьевой вентилятор; 5 — питатель сырого угля; 6 — бункер сырого угля; 7 — углеразмольная мельница; 8 — конденсаторы турбины; 9 — циркуляционный насос; 10 — генератор; 11 — паровая турбина; 12 — деаэрактор; 13 — транспортер угля; 14 — сепаратор; 15 — циклон; 16 — котел

С угольного склада (на рисунке не показан) кусковой уголь ленточными транспортерами 13 подается в бункер 6, взвешивается на весах для определения удельных расходов топлива на выработанный киловатт-час, а затем питателем 5 транспортируется в мельницу 7 (куда подводится горячий воздух). Здесь происходит его размол и окончательная подсушка. Отсюда угольная пыль выносится в сепаратор 14, в котором освобождается от недостаточно размолотых крупных частиц угля. Пылевоздушная смесь из сепаратора газовым потоком увлекается в циклон 15, в котором происходит отделение пыли от газов.

Полученное таким образом пылевидное топливо подается питателями пыли (шнеками) в горелки котельного агрегата 16, в топке которого и сгорает, предварительно смешиваясь с воздухом от дутьевого вентилятора 4.

Тепловая энергия, получаемая при сгорании топлива, передается воде для получения в котлоагрегате перегретого пара

высокого давления до 30 МПа и температуры до 650 °С, направляемого в турбину.

Технологическая схема преобразования полученного пара в электроэнергию показана на рис. 1.2.

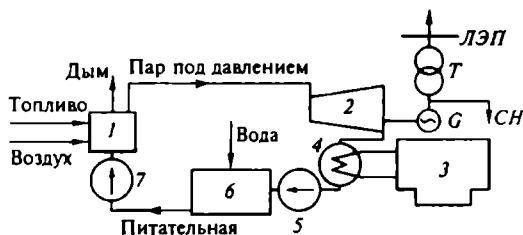


Рис. 1.2. Технологическая схема работы ТЭС:

- 1 — котлоагрегат; 2 — турбина; 3 — источник холодной воды;  
4 — конденсатор; 5 — конденсатный насос; 6 — деаэратор; 7 — насос

Атомные электростанции (АЭС) — это тоже тепловые паротурбинные станции, но использующие в качестве природного источника энергии топливо особого вида — ядерное. В технологической схеме работы АЭС (рис. 1.3) роль котла выполняет ядерный реактор. Теплота, выделяющаяся в реакторе при делении ядер урана и плутония, передается теплоносителю — тяжелой воде, гелию и др. От теплоносителя тепловая энергия передается парогенератору. Далее используется та же схема преобразования энергии пара в механическую энергию паровой турбины, а затем в электроэнергию, что и на ТЭС.

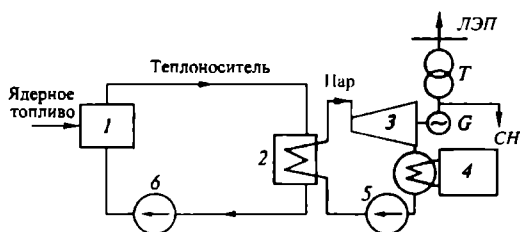


Рис. 1.3. Технологическая схема работы АЭС:

- 1 — ядерный реактор; 2 — парогенератор; 3 — турбина; 4 — источник холодной воды; 5 — конденсатный насос; 6 — насос (остальные обозначения см. на рис. 1.2)



В настоящее время основную часть всей вырабатываемой в стране электроэнергии обеспечивают ТЭС на органическом топливе.

Гидроэлектрическая станция (ГЭС), поперечный разрез здания которой показан на рис. 1.4, представляет совокупность сооружений, создающих напор воды, подводящих воду к турбинам и отводящих отработавшую воду из здания станции. Различные схемы преобразования энергии воды на ГЭС руслового, приплотинного и деривационного типов в настоящей книге не рассматриваются.

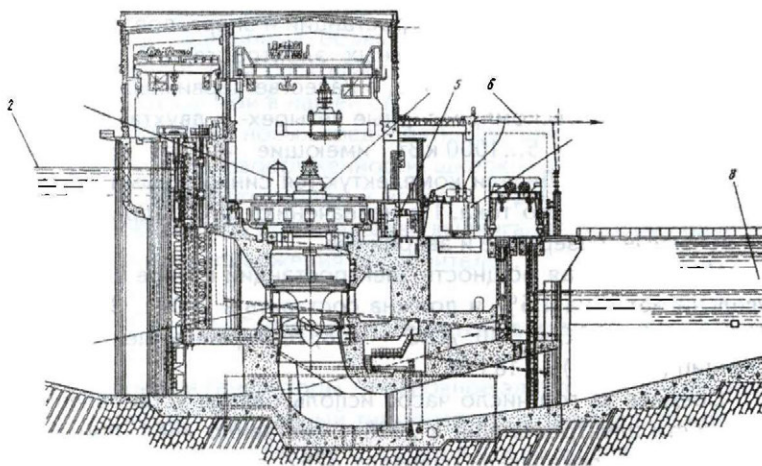


Рис. 1.4. Поперечный разрез здания ГЭС

1 — ротор гидротурбины; 2 и 8 — бьефы; 3 — затвор; 4 — ротор генератора; 5 — распределительное устройство; 6 — ЛЭП; 7 — трансформатор

Под напором воды, создаваемым разностью уровней бьефов 2 и 8, при открытии затвора 3, ротор гидротурбины 1 начинает вращаться вместе с ротором генератора 4. При подаче тока возбуждения вокруг обмотки ротора образуется магнитное поле, которое при вращении пересекает обмотку статора генератора индуцируя в ней переменный ток.

При достижении ротором номинальных оборотов частота переменного тока в статорной обмотке достигает 50 Гц. Ток от генератора 4, через внутростанционное распределительное устройство по линии 6 поступает на преобразовательную

установку для повышения напряжения и передачи энергии к потребителям.

Тип вновь сооружаемых электростанций выбирают на основании технико-экономических расчетов с учетом наличия природных ресурсов и типа существующих электростанций в данном районе, потребности в тепловой и электрической энергии и др. При этом стремятся обеспечить наиболее эффективное сочетание электростанций разного типа с учетом изменений выработки и потребления энергии в различные сезоны года.

Часто при освоении новых регионов в начальный период эксплуатации для временного электроснабжения применяют дизельные, газотурбинные электростанции и энергопоезда.

Основной элемент дизельных электростанций (ДЭС) — дизель-генератор. Как правило, в качестве первичных двигателей применяют бескомпрессорные четырех- и двухтактные дизели мощностью 5...1000 кВт, имеющие частоту вращения 375...1500 мин<sup>-1</sup>. Дизели комплектуются синхронными генераторами переменного тока. По назначению ДЭС подразделяют на основные, резервные и аварийные.

Установленная мощность электростанций в мире ежегодно увеличивается на 1,5% и должна составить в 2009 г. 3380 ГВт: ТЭС — 2174; ГЭС — 770, АЭС — 418; геотермальные электростанции (ГеоТЭС) — 18 ГВт.

Среднее за год число часов использования установленной мощности электростанций в 2008 г. составило 4464; при этом для ТЭС этот показатель равнялся 4262, для ГЭС — 3440, для АЭС — 5884 и для ГеоТЭС — 4270.

Доля атомных электростанций в общем производстве электроэнергии в мире составляет 17%.

Доля нетрадиционных возобновляемых источников в мировом производстве электроэнергии весьма незначительна — около 2%.

Электроснабжение потребителей осуществляется в основном от сетей энергосистем — через сетевые районы или сети распределительных компаний. Суммарная мощность электростанций самоснабжающихся предприятий составляет 7,0% общей мощности электростанций в мире, производство электроэнергии — 7,1%.

Более  $\frac{2}{3}$  всего мирового производства электроэнергии приходится на группу из 29 стран, входящих в состав организации

экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). К числу крупнейших в мире производителей и потребителей электроэнергии относятся США, Китай, Япония, Россия, Канада, Германия и Франция. Около  $\frac{2}{3}$  всей электроэнергии в мире вырабатывается на органическом топливе, немного менее  $\frac{1}{6}$  — на ядерном, почти  $\frac{1}{5}$  — на гидроэнергии.

Стратегия развития отечественной энергетики предусматривает дальнейший рост производства электроэнергии всеми электростанциями России. К 2015 г. намечается достичь годовой выработки электроэнергии 1460 млрд кВт·ч.

Основными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, объекты сельского хозяйства и гражданские здания. Они расходуют более 78% всей электроэнергии, вырабатываемой в нашей стране.

Ввод в действие новых предприятий, расширение существующих, рост их энерговооруженности, широкое внедрение различных видов электротехнологий во всех отраслях производств, огромное жилищное строительство выдвигают проблему рационального электроснабжения потребителей.

### 1.3. Синхронные генераторы

Синхронные генераторы — основное электрооборудование электростанций. Выбранный тип генератора определяет конструкцию всей электростанции и особенности ее эксплуатации. Тип устанавливаемых генераторов зависит главным образом от частоты вращения турбины.

Частота вращения роторов генераторов паротурбинных электростанций (ГЭС, АЭС) при частоте электрического тока 50 Гц принята равной 3000 мин<sup>-1</sup>. Сравнительно редко частота вращения принимается равной 1500 мин<sup>-1</sup>. Частота вращения гидротурбин обычно находится в пределах от 60 до 500 мин<sup>-1</sup>.

Частота вращения ротора генератора  $n$ , частота переменного тока  $f$  (в Гц) и число пар полюсов ротора  $p$  связаны известным соотношением

$$n = 60 \frac{f}{p}. \quad (1.1)$$

Следовательно, число пар полюсов ротора генератора паротурбинной электростанции (турбогенератора) при частоте  $f = 50$  Гц и частоте вращения ротора  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup> должно быть

равно 1. На роторах гидрогенераторов при  $n = 60$  и  $500 \text{ мин}^{-1}$  число пар полюсов должно быть соответственно равным  $p = 50$  и 6. Конструкция ротора генератора зависит от числа пар полюсов.

Ротор турбогенератора неявнополюсной конструкции выполняется в виде стального цилиндра с продольными пазами, в которые укладывается обмотка возбуждения из полосовой меди, изолированной миканитом. Обмотка возбуждения закрепляется в пазах клиньями, а вне пазов (на лобовых частях) стальными бандажами или каппами. Из-за воздействия на ротор, вращающийся с такой большой частотой, центробежных сил ограничены размеры ротора: диаметр — не более 1250 мм, длина бочки ротора — не свыше 6,5 м.

Ротор гидрогенератора имеет несколько пар выступающих полюсов, то есть явнополюсную конструкцию. Синхронные двигатели и компенсаторы с частотой вращения ниже  $1500 \text{ мин}^{-1}$  тоже имеют явнополюсный ротор. Обмотка возбуждения явнополюсных синхронных машин выполняется в виде катушек, располагаемых на каждом полюсе и соединяемых последовательно.

На паротурбинных электростанциях принята конструкция турбоагрегатов с горизонтальным валом. А на гидроэлектростанциях принято вертикальное расположение вала турбины и гидрогенератора; так как при большом диаметре явнополюсного ротора вертикальная конструкция обеспечивает лучшие условия работы подшипников и уменьшенные размеры машинного здания. На рис. 1.5, 1.6 показаны схемы устройства соответственно турбогенератора и гидрогенератора, а также пути прохождения охлаждающего их воздуха. Система охлаждения электрических машин необходима для отвода теплоты, создаваемой потерями мощности в стали и меди ротора и статора.

Для генераторов небольшой мощности (до 25 МВт на ТЭС) достаточно создать вентиляцию воздухом (см. рис. 1.5). Воздух под действием центробежных сил вращающегося ротора проходит через каналы в стали статора и охлаждает обмотки и магнитопроводы ротора и статора. Нагретый воздух поступает через окна в корпусе статора в трубчатые воздухоохладители. По трубкам воздухоохладителей протекает холодная вода. Охлажденный воздух снова засасывается ротором. Получается замкнутый цикл.

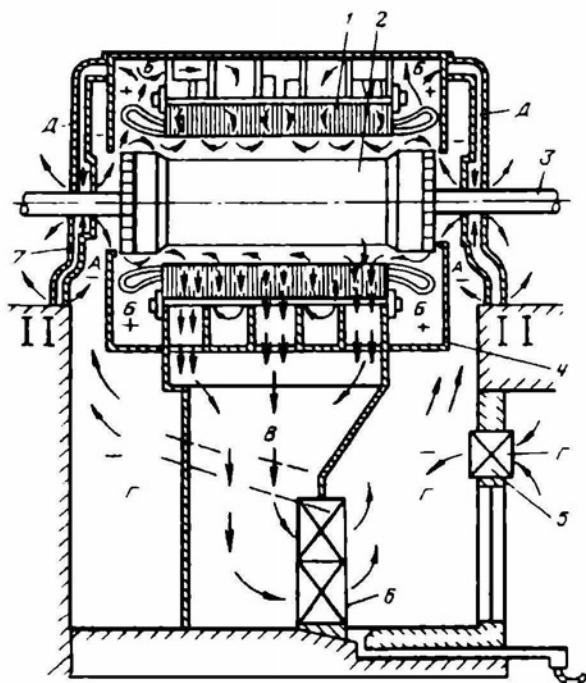


Рис 1.5. Турбогенератор и его вентиляция:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — вал; 4 — кожух; 5 — фильтр; 6 — воздухо-охладители; 7 — уплотнения; А — область разрежения в системе вентиляции; В — область движения; Б — камера горячего воздуха; Г — камера холодного воздуха; Д — подвод воздуха к уплотнениям

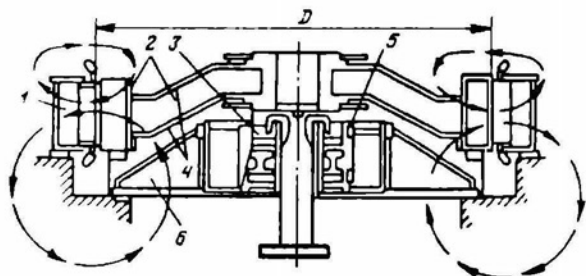


Рис. 1.6. Гидрогенератор и его вентиляция:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — подпятник; 4 — спицы ротора; 5 — направляющий подшипник; 6 — нижняя опорная крестовина; D — диаметр ротора генератора

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)