

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович

Должность: И.о. ректора

Дата подписания: 21.08.2023 14:20:05

Уникальный программный ключ:

2a04bb882d7edb7f479cb266e5baa4e0e5ca849

Министерство науки и высшего образования РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

**курс лекций для студентов направления подготовки магистров
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» и аспирантов
направления подготовки 13.06.01 – Электро- и теплотехника**

Махачкала – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Тема 1. Энергетические ресурсы Земли и развитие электроэнергетики.....	6
1.1. Развитие энергетики в ее взаимосвязи с окружающей средой...	6
1.2. Запасы энергетических ресурсов.....	11
1.3. Тенденции энергопотребления, производства и распределения электрической и тепловой энергии.....	18
Тема 2 Современное состояние энергетики России.....	26
2.1. Энергетическая стратегия Российской Федерации.....	26
2.2. Анализ энергетического сектора экономических районов России.....	33
2.3. Распределение и передача электроэнергии на расстояние.....	37
Тема 3 Традиционные способы получения электрической энергии.....	40
3.1. Тепловые электростанции (ТЭС, КЭС, ТЭЦ).....	40
3.2. Гидроэнергетика (ГЭС, ГАЭС).....	49
3.3. Атомная энергетика, атомные электрические станции (АЭС).....	56
Тема 4 Способы получения электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии.....	63
4.1. Приливные и волновые электрические станции.....	63
4.2. Геотермальные электростанции.....	67
4.3. Солнечные электростанции.....	69
4.4. Ветровые электростанции.....	72
4.5. Биоэнергетика.....	78
Тема 5 Нетрадиционные способы получения электрической энергии.....	81
5.1. Термоядерная энергетика.....	81
5.2. Магнитогидродинамическое преобразование энергии.....	87
5.3. Радиоизотопные источники энергии.....	90
5.4. Термоэмиссионные преобразователи.....	95
5.5. Термоэлектрические генераторы.....	97

Тема 6	Системы электроснабжения, диагностика ЭЭС и качество электроэнергии.....	101
	6.1. Виды систем электроснабжения.....	101
	6.2. Качество электроэнергии в системах электроснабжения.....	103
	6.3. Диагностика электроэнергетического оборудования.....	110
Тема 7	Энергосбережение.....	116
	7.1. Особенности и закономерности энергосбережения, энергоэффективность.....	116
	7.2. Перспективы развития энергосбережения и ее управление.....	125
	7.3. Стимулирование энергосбережения.....	132
Тема 8	Экологические проблемы электроэнергетики.....	138
	8.1. Влияние электроэнергетики на окружающую среду.....	138
	8.2. Влияние электромагнитных полей устройств электроэнергетики на человека и оборудование.....	143

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития науки и хозяйственной деятельности человечества нет более важной проблемы, чем развитие энергетики. Этот прогресс необходим человечеству и с научной, и с экономической точки зрения, поскольку современный миропорядок немислим без источников энергии.

На сегодня основные проблемы энергетики связаны с возрастающим ростом народонаселения Земли, дефицитом энергии и ограниченностью топливных ресурсов, увеличивающимся загрязнением окружающей среды.

Важнейшими задачами являются максимально возможная экономия и рациональное использование всех видов ресурсов, повышение коэффициента полезного действия энергетических установок и внедрение новых способов генерации электрической энергии.

Производство электроэнергии за последние годы подвергается сильным изменениям: на ископаемые энергоносители смотрят все критичнее в силу их баланса по углекислому газу и уменьшающихся запасов. И это при том, что современное энергоснабжение более чем на 80 % базируется на невозобновляемых источниках энергии. В атомной энергетике как в альтернативе сомневаются по соображениям безопасности, в частности после аварии на реакторе в Японии. В некоторых странах предпринимаются попытки дать ощутимые преимущества возобновляемым источникам энергии и стимулируют их развитие путем принятия государственных программ или налоговых послаблений.

Необходимо отметить, что в течение следующих десятилетий ожидается значительное увеличение энергопотребления, связанное с развитием экономики и приростом населения. Это приведет к росту экономической активности опережающими темпами по отношению к энергопотреблению, увеличению давления на систему энергоснабжения и потребует повышенного внимания к эффективности использования энергии. Очевидно, что никакой режим экономии невозобновляемых источников энергии не в состоянии исключить того момента в будущем, когда они будут полностью исчерпаны. В этом отношении переход к новым источникам электроэнергии, в том числе к термоядерной, термоэлектрической энергии и другим - единственный из реально известных выходов из грядущего тупика. Это проблемы современной энергетики, которые надо решать прямо сейчас.

В курсе лекций описаны основные тенденции развития электроэнергетики в мире и в России, рассмотрены традиционные и нетрадиционные способы генерации электроэнергии, приведены основные показатели качества электроэнергии, тенденции энергосбережения и экологические проблемы в электроэнергетике.

Тема 1.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ И РАЗВИТИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

1.1. Развитие энергетики в ее взаимосвязи с окружающей средой

Планирование и проектирование энергетических систем, их развитие и эксплуатация должны осуществляться с учетом всех аспектов влияния на окружающую среду. В этой связи специалисту-энергетику предъявляются новые требования больших знаний о природе и происходящих в ней явлениях.

Энергосистема, в которой производится электрическая и тепловая энергия, непосредственно связана с системой обеспечения первичными энергоресурсами (рис. 1.1). Сооружение энергосистемы и условия ее работы во многом определяются природными факторами, например, наличием водоемов и географическим расположением энергоресурсов и потребителей. Состояние биосферы, уровень ее загрязнения, связанный с работой энергетических установок, накладывают определенные ограничения на технические характеристики и условия работы энергосистем. Здесь прослеживаются прямые и обратные связи между биосферой и энергосистемой.

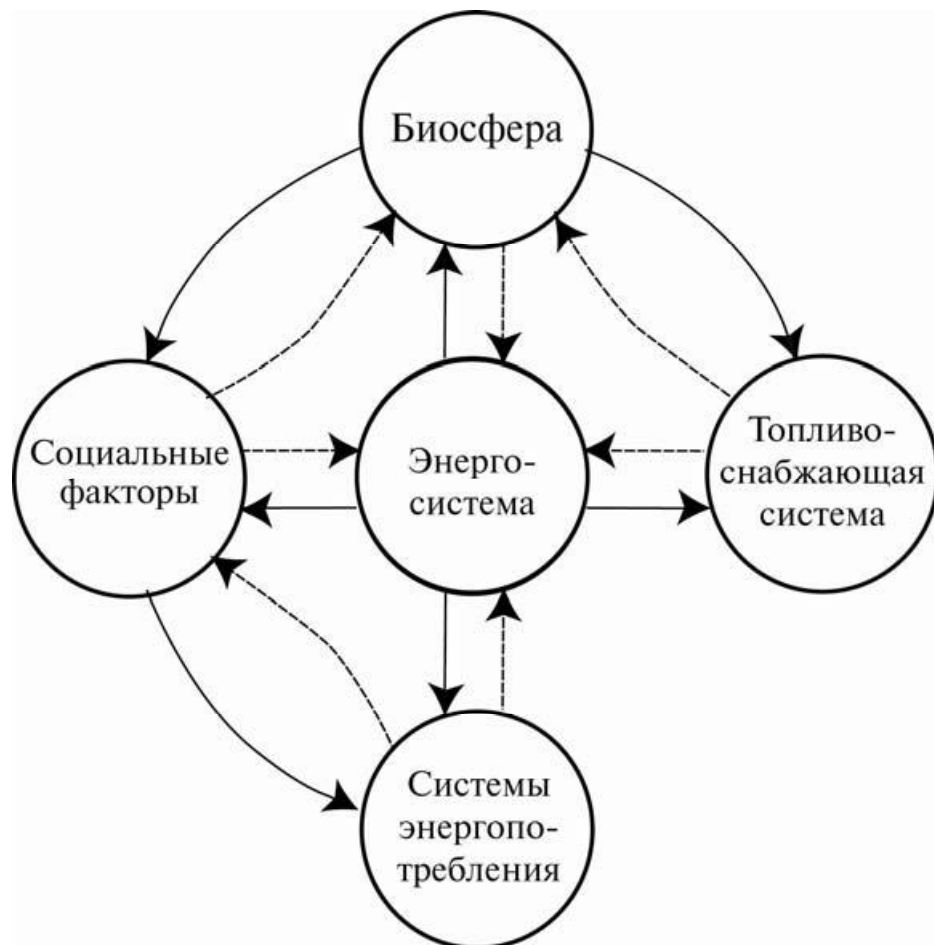


Рис. 1.1. Различные факторы, влияющие на работу энергосистемы

Управление энергосистемой должно производиться как с учетом влияния ее на биосферу, так и с учетом социальных функций топливоснабжающей системы, потребностей промышленности и транспорта в энергии, а также других факторов. Управление производится не только выработкой энергии в энергосистеме, но и потреблением ее в различных отраслях хозяйства.

Современные энергетические системы находятся в тесной взаимосвязи с многогранными аспектами всей деятельности человека. Они прямо влияют на самые различные отрасли хозяйства (промышленность, транспорт, сельское хозяйство), на экономику, социальные условия, состояние биосферы и т. п. Существует также обратное влияние различных факторов деятельности человека на состояние и развитие энергетики. Именно поэтому энергетические системы и следует рассматривать как подсистемы единой глобальной системы функционирования человеческого общества (рис. 1.2 а, б).

При управлении работой энергетической системы, при прогнозировании и проектировании ее развития, а также проведении научных исследований необходимо учитывать взаимовлияние энергетической системы, связанных с ней систем хозяйства и биосферы. Развитие энергетики оказывает непосредственное влияние на общий уровень развития техники. В свою очередь достижения в различных областях техники отражаются на состоянии энергетики. Энергетика, биосфера, социальная и экономическая деятельность человека взаимосвязаны.

Важное различие возобновляемых и невозобновляемых источников энергии состоит в их влиянии на биосферу. Энергетика на невозобновляемых источниках приводит к дополнительному нагреву среды обитания, т. е. их энергия добавляется к энергии нагрева планеты, который обеспечивается Солнцем. Использование возобновляемых источников энергии не приводит к дополнительному нагреву планеты, поэтому такая энергия называется недобавляющей. Действительно, в этом случае, например, забирая солнечные лучи в энергетические установки, расположенные на Земле, мы изымаем энергию из цикла нагрева планеты, а затем, после использования, возвращаем планете в том же количестве в виде тепла. То же самое относится к ветровой и океанической энергии – сколько взято их из энергетического фона, столько и вернулось в среду обитания в виде тепла. Недобавляющую энергию можно назвать безотходной, добавляющая должна рассматриваться как засоряющая среду обитания.

Расчеты показывают, что производство добавляющей энергии, например, химической, ядерной, термоядерной в количестве, составляющем всего один процент от той, которую получает Земля от Солнца, приведет к увеличению средней температуры биосферы примерно на один градус. Такое повышение средней температуры биосферы ведет к глобальным катастрофическим последствиям как для географии и климата Земли, так и для всего живого и растительного мира. Потепление непредсказуемо изменит темп и характер всех происходящих на Земле процессов, приведет к значительному изменению атмосферной циркуляции и условий увлажнения почвы. И, как следствие,

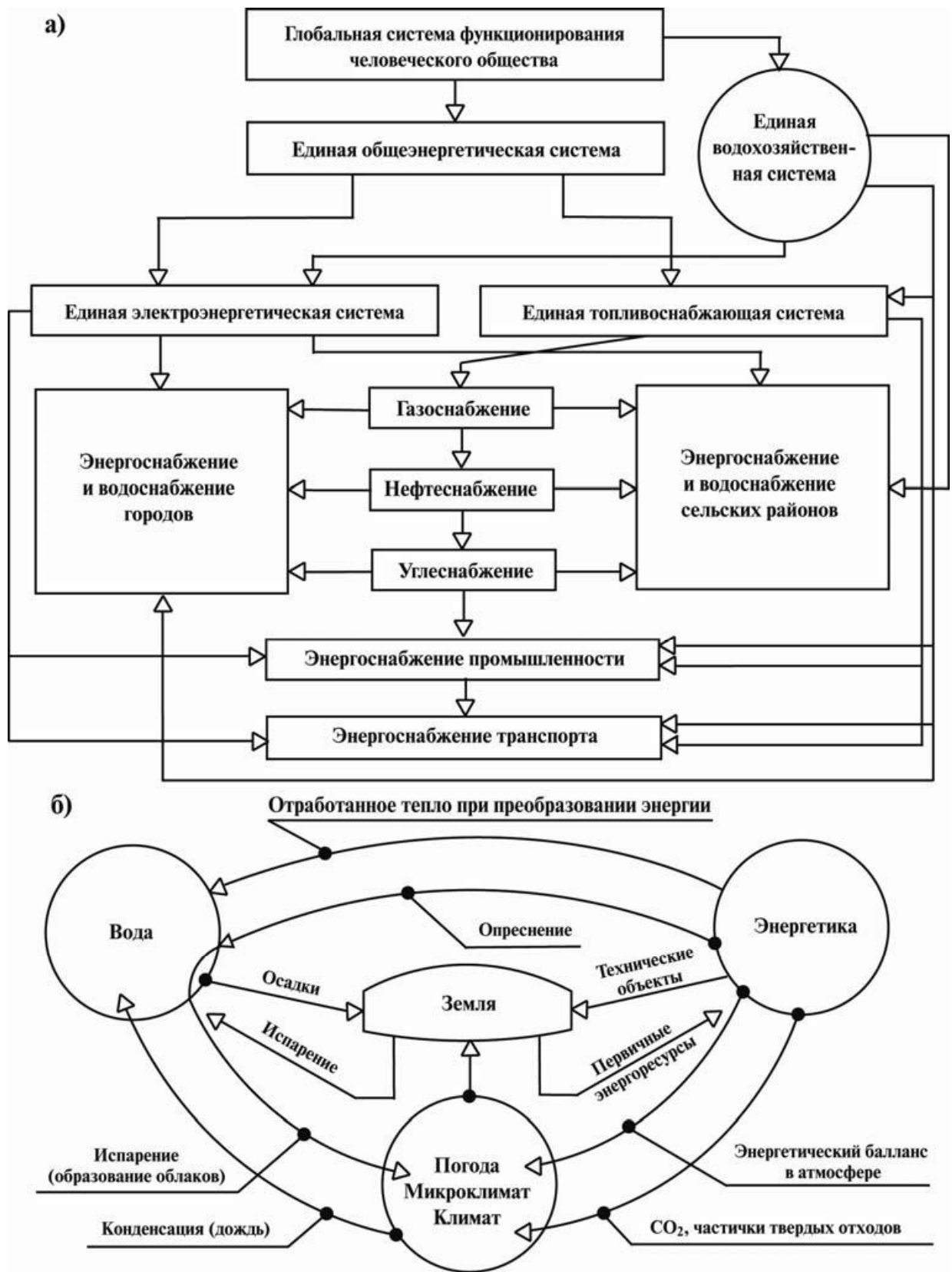


Рис. 1.2. Энергетическая система и ее связи:
 а – энергетика как составная часть глобальной системы народного хозяйства;
 б – энергетика как составная часть биосферы

к сильному смещению зон, оптимальных для земледелия и других видов хозяйственной деятельности. Эти изменения затронули бы жизненные интересы миллиардов людей, вызвали бы массовые миграции населения (в том числе и с пересечением национальных границ), к переселению людей в зоны без сложившейся инфраструктуры и, в конечном итоге, к тяжелым социальным потрясениям. В применении к нашей стране это означало бы, в частности, прекращение производства зерна на десятках миллионов гектаров в зонах традиционного земледелия. Необходимо отметить то, что все эти изменения происходят очень быстро в историческом масштабе времени и к ним трудно приспособиться.

Проблема глобального парникового эффекта в последние годы стала предметом пристального внимания ученых. При удвоении количества углекислого газа наиболее вероятным считается повышение средней температуры планеты на два с половиной – три градуса.

Насколько же быстро будет происходить накопление углекислого? Если бы оно шло нынешними темпами, то через 50 лет концентрация углекислого газа увеличилась бы на 15–20 % против нынешнего уровня. Но так как потребление ископаемого топлива растет, более вероятным кажется достижение к сороковым годам нынешнего века концентраций, превышающих современные на 25 % и более. В рамках наиболее вероятного прогноза этому соответствовало бы повышение температуры, приближающееся к одному градусу, что уже было бы очень опасно. По-видимому, безопасный предел использования добавляющей энергии может составить не более одной десятой процента от мощности падающей на Землю солнечной энергии, т. е. около 100 млрд киловатт. Сейчас земная цивилизация производит для своих нужд (промышленность, быт, транспорт) добавляющую энергию мощностью 10 млрд киловатт – всего в 10 раз меньше допустимого предела.

Уже многие десятилетия ежегодный прирост энергопроизводства составляет около 3 % в год. При сохранении такого темпа прироста добавляющей энергии допустимый тепловой предел будет достигнут через 60 лет. Тогда в середине XXI столетия рост производства этих видов энергии должен быть прекращен. При этом неизбежно возникнет трудный вопрос о квотах энергопроизводства государства. Это будет тяжелым глобальным кризисом цивилизации, имеющим геополитическое значение. Что же делать? Ответ на этот вопрос пытаются дать ученые, специалисты, политики, журналисты, общественность.

Человечество задумывается о том, как изменить технологии, чтобы создавать меньше экологических проблем, усовершенствовать их, потреблять меньше энергии, эффективно использовать природные ресурсы. По мнению ученых и исследователей, работающих в этом направлении, решение заключается в том, чтобы использовать энергию, воду, топливо, материалы, плодородные земли и т. п. более эффективно, часто без дополнительных затрат и даже с выгодой.

Об энергосберегающей политике, квинтэссенцией которой можно считать

известную надпись на стенах учреждений «Уходя, гасите свет!» рассуждают давно. Так что продуктивное использование ресурсов – не такая уж новость. Новостью является то, как много существует нереализованных возможностей. Исследователи приводят десятки примеров – от гиперавтомобилей до видеоконференций, от новых подходов в сельском хозяйстве до экономичных моделей холодильников. При этом они не только дают рекомендации, порой достаточно простые, но и реализуют многие из них на практике.

Один из основных барьеров на пути более эффективного использования ресурсов – противоречия между развитыми и развивающимися странами. Для последних экономия ресурсов и бережное отношение к природе часто отступают на второй план перед сиюминутными задачами борьбы с бедностью, которые они пытаются решить на пути развития по западному образцу, увы, не лишенному множественных ошибок.

Важнейшую роль в сохранении нашей планеты имеет путь осознанного самоограничения, путь изменения стиля жизни. Жизнь в развитых странах отличается необыкновенно высокой скоростью расходования природных ресурсов. В частности, эти страны сжигают более половины ископаемого топлива, тогда как их население составляет лишь 20 % населения Земли. Такая скорость расходования ресурсов определяется тем жизненным стандартом, который достигнут значительной частью населения этих стран, и к достижению которого стремится оставшаяся часть: отдельный довольно большой дом и один, а лучше два автомобиля на каждую семью, возможность много путешествовать и т. п. Этот стандарт и определяет в конечном итоге потребности общества в черных и цветных металлах, цементе, пластмассе, древесине и прочем, а через необходимость все это добыть, обработать, доставить – в энергии.

Возникает вопрос: «А нельзя ли несколько изменить стиль жизни населения развитых стран?» Таким ли уж привлекательным останется старый стандарт (большой дом, две машины и т. п.), если учесть, что следование ему скоро превратит нашу Землю в пустыню?

Нет ли ему приемлемой замены? Ведь стремление иметь свободу перемещения можно удовлетворить и с помощью развитой системы общественного транспорта, которая будет заведомо более экономичной, чем индивидуальные автомобили. А что касается большого дома, то, может быть, привлекательнее будет жизнь в маленьких (или даже многоквартирных) домах, но стоящих на фоне относительно нетронутой природы? Такого рода вопросы сейчас вызывают усмешку, но есть опасение, что они вскоре будут жестоко поставлены самим ходом событий.

Кстати, переход к этому стилю жизни в развитых странах вовсе не обязательно будет связан с появлением у их жителей субъективного «чувства утраты». Скорее всего, разумное самоограничение в сочетании с использованием «высоких технологий» только повысит общее качество жизни в этих странах, хотя и благодаря новым (по сравнению с сегодняшним днем) компонентам.

1.2. Запасы энергетических ресурсов

Из большого разнообразия энергоресурсов, встречающихся в природе, выделяют основные, используемые в больших количествах для практических нужд. Доля различных видов энергетических ресурсов в общемировой выработке первичной энергии на конец XX столетия показана на рис. 1.3., а мировые запасы энергетических ресурсов на тот же период представлены в табл. 1.1.

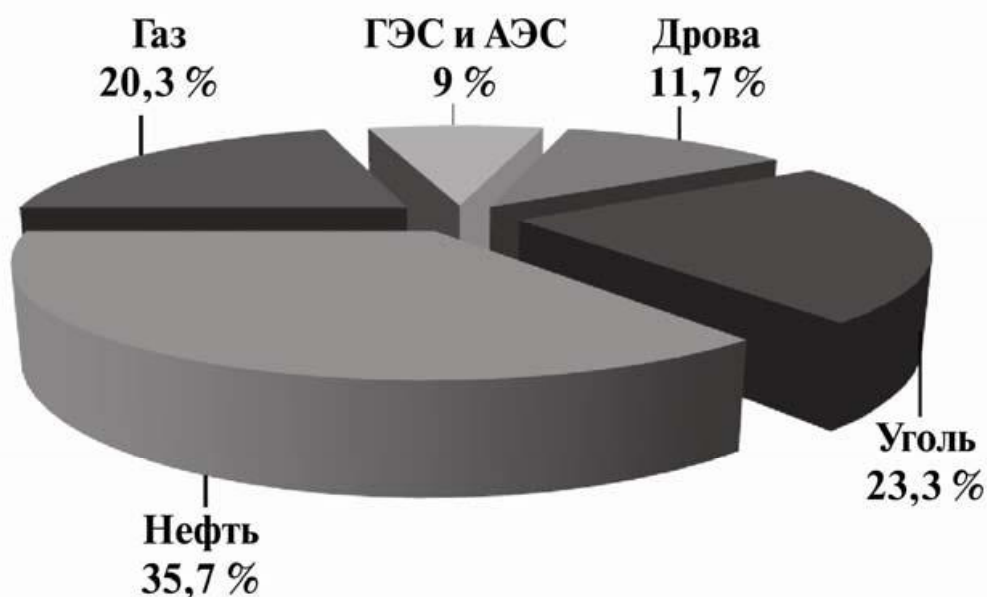


Рис. 1.3. Доля различных видов энергетических ресурсов в общемировой выработке первичной энергии (1998) в %.

Получение энергии необходимого вида и снабжение этой энергией потребителей происходит 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.

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.

Схема использования энергии показана на рис. 1.4. Примерная (средняя) структура потребления энергетических ресурсов в мире приведена на рис. 1.4.б. При этом надо учесть, что если общую энергию используемых первичных

Таблица 1.1. Мировые запасы энергетических ресурсов, млрд. т.
условного топлива

Источники энергии	Энергетические ресурсы	
	Теоретические	Технические
Невозобновляемые		
1. Энергия горючих ископаемых:		
уголь	17900	637
нефть	1290	179
газ	398	89,6
торф	500	100
2. Атомная энергия	67200	1340
Возобновляемые		
1. Энергия солнца:		
на верхней границе атмосферы	197000	
на поверхности Земли	81700	6140
на поверхности суши	28400	2460
на поверхности мирового океана	53300	3690
2. Энергия ветра	21300	22
3. Глубинное тепло Земли (до 10 км):		
геотермальный тепловой поток, достигающий поверхности земли	3,69	0,35
гидротермальные ресурсы	1350	147
метрогеотермальные ресурсы	36900	3070
4. Энергия мирового океана:		
градиента солености	43000	430
тепловая (температурная градиента)	12,3	0,61
течений	8,6	0,12
приливов	3,2	0,86
прибоя	1	0,02
морских ветровых волн	2,7	0,1
5. Горючие энергоресурсы:		
на суше	44,2	4,9
в мировом океане	23,3	1,84
органические отходы	2,5	1,23
6. Гидроэнергия крупных водотоков	4,1	1,84

энергоресурсов принять за 100 %, то полезно используемая энергия составляет на сегодня только 35–40 %. Остальная часть теряется, причем большая часть в виде тепла. Возможности уменьшения потерь энергии ограничиваются техническими характеристиками энергетических машин, существующими в настоящее время. Для выработки электроэнергии кроме основных энергоресурсов используются механическая энергия ветра («голубой уголь»),

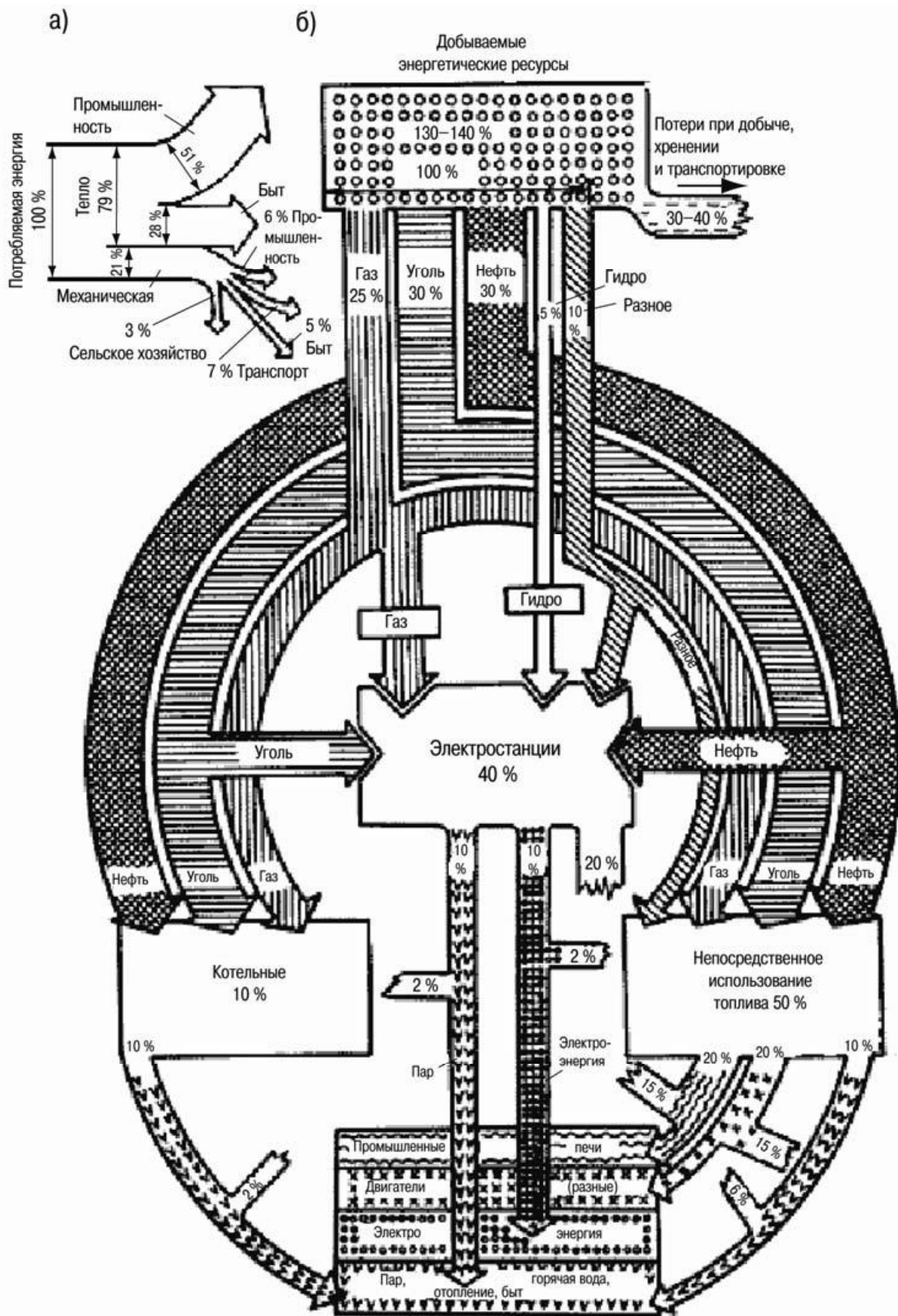


Рис. 1.4. Использование энергии:
 а – распределение механической энергии и тепла, доставленных потребителям, б – общее распределение энергетических ресурсов

энергия приливов и отливов («синий уголь»), тепловая энергия земных недр (геотермальная энергия), лучистая энергия Солнца («желтый уголь»).

Различные виды энергоресурсов неравномерно распределены по районам Земли, по странам, а также внутри стран. Места их наибольшего сосредоточения обычно не совпадают с местами потребления, что наиболее заметно для нефти. Больше половины всех мировых запасов нефти сосредоточено в районах Среднего и Ближнего Востока, а потребление энергоресурсов в этих районах в четыре с лишним раз ниже среднемирового.

Концентрация потребления энергоресурсов в наиболее развитых странах привела к такому положению, когда 30 % всего населения в мире потребляет 90 % всей вырабатываемой энергии, а 70 % населения – только 10 %. Тенденция к увеличению неравномерности общего потребления энергии на душу населения сохраняется на протяжении многих десятилетий. Целесообразность передачи на расстояние тех или иных носителей энергии определяется их энергоемкостью, под которой понимается количество энергии, приходящееся на единицу массы физического тела.

Органическое тепло в силу его специфических свойств и исторически сложившихся условий пока остается основным источником используемой человечеством энергии. Запасы всех видов топлива, которое может быть извлечено из недр Земли, ограничены и оцениваются по данным Мировой энергетической конференции (МИРЭК) в 28,3 млн. ТВт·ч, или в 3480 млрд. т. у. т. Как известно, за единицу условного топлива принимают такое топлива, при сгорании 1 кг которого выделяется 29,3 МДж (8,12 кВт·ч) тепла. Эта условная единица используется для сопоставления различных видов топлива. Рассмотрим основные виды энергоресурсов.

Уголь. Общие геологические запасы угля в мире оцениваются в 61–114 млн. ТВт·ч (7500–14000 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, 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, из 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. В таблице 1.2, составленной по данным международного журнала «Oil and Journal», приведены мировые разведанные запасы нефти и газа на конец XX столетия.

Таблица 1.2. Мировые разведанные запасы нефти и газа

Страна, регион	Запасы нефти, млрд. т.	Запасы газа, трлн. м ³
Россия	6,653	48,0
США	2,888	4,6
Канада	0,675	1,8
Мексика	3,4	0,8
Западная Европа	2,5	4,3
Африка	7,0	7,3
Страны Ближнего и среднего Востока	56,0	42,0
Азиатско-Тихоокеанский регион	5,9	9,5
Восточная Европа и страны, входившие в СССР (без России)	1,3	6,0
Южная и Центральная Америка	12	6,3
ВСЕГО	139,183	144,0

Оценки достоверных запасов нефти по своей природе динамичны. Их величина изменяется по мере проведения разведок новых месторождений.

Геологические разведки, осуществляемые в широких масштабах, приводят, как правило, к увеличению достоверных запасов нефти. Все имеющиеся в литературе оценки запасов являются условными и характеризуют только порядок величин. По мнению российских ученых, запасы нефти в России существенно выше, приведенных в литературных источниках.

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) стремлением получить возможно большие прибыли за счет эксплуатации нефтяных месторождений.

Несоответствие между размещением нефтяных ресурсов и местами их потребления или центрами производительных сил привело к бурному прогрессу в развитии средств транспортировки нефти, в частности, к созданию трубопроводов большого диаметра (больше 1 м) и танкеров большой тоннажности.

Природный газ. Мировые геологические запасы оцениваются в 140–160 трлн. м³, из которых около 50 трлн. м³ приходится на долю России и 42 трлн. м³

– на долю стран Ближнего и Среднего Востока. Распределение запасов газа по странам и регионам приведено в табл. 1.2.

Эти цифры, как и в случае нефти, следует рассматривать как весьма приближенные, изменяющиеся по мере проведения разведок.

Гидроэнергетические ресурсы. В отличие от невозобновляемой химической энергии, запасенной в органическом топливе, кинетическая энергия движущейся в реках воды возобновляема. На гидростанциях она превращается в электрическую энергию. Гидроэнергетические ресурсы на Земле оцениваются величиной в 32900 ГВт·ч в год, из которых только 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. В табл. 1.3 содержатся данные о гидроэнергоресурсах в различных странах.

Таблица 1.3. Гидроэнергетические ресурсы отдельных стран

Государства	Мощность, ГВт		Государства	Мощность, ГВт	
	При среднегодовых расходах воды	При минимальных расходах воды		При среднегодовых расходах воды	При минимальных расходах воды
Россия и страны СНГ	249,4	79,5	Франция	5,8	3,4
США	53,9	25,0	Италия	5,2	2,8
Канада	25,1	15,85	Швейцария	3,8	2,4
Япония	13,2	5,6	Испания	5,0	2,9
Норвегия	20,0	12,0	Германия	3,7	1,5
Швеция	8,9	2,9	Англия	1,2	0,6

Ядерная энергия. Среди энергоносителей, применяемых в настоящее время, наибольшей энергоемкостью обладают радиоактивные изотопы урана и тория. Их энергоемкость достигает 2,22 ГВт·ч/кг ($8 \cdot 10^{12}$ Дж/кг). Вследствие огромной энергоемкости атомного топлива практически не существует проблемы транспорта его на расстояние, так как для работы мощных энергетических установок требуются сравнительно малые его количества. Энергоемкость применяемого сейчас топлива в среднем по всем видам составляет 0,834 кВт·ч/кг ($3 \cdot 10^6$ Дж/кг).

Тепловое содержание геологических запасов урана в мире оценивается величиной, превышающей в 320 раз тепловое содержание всех мировых запасов минерального топлива. Однако общегеологическая оценка имеет 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 при полном использовании энергии ядерного топлива энергетические ресурсы мира увеличатся примерно в два раза. Однако при очевидных достоинствах развития атомной энергетики необходимо иметь в виду три серьезных ее недостатка:

- а) малая доля «выгорающего» топлива;
- б) малая, но, как показала история, конечной величины вероятность аварии;
- в) проблемы захоронения радиоактивных отходов.

Поскольку цепная реакция в современных атомных установках осуществляется в урановых стержнях или смеси графита и урана, но не во всей массе, а только в изотопе ^{235}U , содержащемся в количестве 0,7 % в основном элементе ^{238}U , то уже в самом начале «атомной эры» возникла проблема поисков путей более экономного использования урана. Уже в 1949–1950 гг. наметилась в перспективе возможность создания реакторов-размножителей на быстрых нейтронах. В настоящее время в СССР, США, Англии и Франции разработаны новые типы реакторов на быстрых нейтронах, позволяющие использовать значительно большую (примерно в 20 раз) часть делящегося материала, чем в обычных котлах, работающих на тепловых нейтронах. Таких реакторов-размножителей мощностью в 250–350 МВт во всем мире имеется три. Один из них работает с 1972 г. на полуострове Мангышлак (Казахстан).

Авария на Чернобыльской АЭС, случившаяся 26 апреля 1986 г., унесла жизни десятков и здоровье десятков тысяч людей. Она похоронила миф об абсолютной противоаварийной устойчивости (безопасности) АЭС. Реакция простых людей была практически однозначной – страх перед этим источником электричества и тепла. Специалисты сделали единственно правильный вывод – дорабатывать конструкцию реактора и всех систем его функционирования, обеспечивающую реальную, а не мифическую безопасность его работы. Мощное антиядерное движение во многих странах вынудило правительства некоторых из них практически полностью отказаться от развития атомной энергетики (например, Германия) и даже закрывать действующие АЭС. Напротив, другие страны, как например, Франция, продолжают развивать атомную энергетику, доведя долю электроэнергии, выработанной на АЭС до чрезвычайно высоких значений. Наибольшую долю атомной энергетики в суммарном энергопроизводстве имеют Литва – 91,5 %, Франция – 78,2 %, Бельгия – 60,1 %, Украина – 46,8 %, Швеция – 46,2 %, Болгария – 45,4 %, Словакия – 44 %, Швейцария – 40,6 %, Словения и Венгрия – 40 %. АЭС обеспечивают примерно 17 % общемирового производства электроэнергии.

Существенную проблему для атомной энергетики в последние годы стала представлять защита атомных объектов от террористических актов (в особенности после терактов в США 11.09.2001 г. и в России в октябре 2002 г.).

Захоронение и переработка радиоактивных отходов атомных объектов (АЭС, атомных надводных и подводных кораблей и др.) также представляют собой серьезные проблемы. Экологи приводят убедительные доводы в подтверждение угрозы биосфере, исходящие от таких отходов. Физики-атомщики приводят противоположные доводы и одновременно работают над совершенствованием систем переработки и захоронения радиоактивных отходов.

Современные концепции безопасности АЭС основаны на трех принципах: управления, глубокоэшелонированной защиты и инженерно-технических средств безопасности. Ведущими энергетическими корпорациями и фирмами индустриальных стран разрабатывается более 20 проектов АЭС нового поколения, радикально отличающихся не только по мощности и типу реактора, но и по технологическим, схемным и конструктивным решениям.

По срокам коммерческой реализации и степени самозащищенности АЭС условно делят на три поколения. Проекты АЭС нового поколения основаны на использовании освоенных и проверенных в эксплуатации технологий и конструкций. Они имеют активные и пассивные системы безопасности, что позволяет снизить вероятность тяжелых аварий и уменьшить на 20 % капиталовложения и себестоимость электроэнергии.

Научная и инженерная мысль сейчас усиленно работает также над созданием еще одного ядерного источника энергии. Речь идет об осуществлении термоядерного контролируемого синтеза, который может стать для будущих поколений практически неисчерпаемым источником электроэнергии и тепла.

Значительны запасы еще одного источника энергии – торфа. Ориентировочно они составляют 225–261 млрд. т. из расчета 25 % влажности. Вследствие малой теплотворной способности торф пока не нашел применения в большой энергетике.

Следует иметь в виду, что первичные энергоресурсы, имеющиеся в природе, используются человеком для получения энергии только после преобразований к виду, удобному для практического применения. Как уже отмечалось, примерно 30–40 % от добытых и предназначенных к полезному использованию ресурсов теряется при добычи, транспортировке и хранении. Распределение топливных ресурсов потребителям – для выработки электроэнергии, получения горячей воды и пара в котельных установках, непосредственного использования в промышленности и на транспорте – происходит по довольно сложной схеме с возможной взаимозаменяемостью. Это распределение также сопровождается потерями энергии.

1.3. Тенденции энергопотребления, производства и распределения электрической и тепловой энергии

Потребление энергоресурсов быстро растет, что вызывается непрерывным увеличением мирового промышленного производства. По данным Международного института прикладного системного анализа

(МИРЭС), потребление первичной энергии к 2030 г. по миру в целом составит приблизительно 24 млрд. т. у. т. в год, т. е. возрастет вдвое по сравнению с уровнем 1988 г. Увеличение потребления первичной энергии составляет примерно 1,5–2 % в год. Оставшихся мировых запасов невозобновляемых энергоресурсов без учета возможностей ядерной и термоядерной энергетики, видимо, хватит еще на 100–250 лет. Эти данные, конечно, ориентировочны, однако все же они дают некоторую картину будущего.

В табл. 1.4. приведены данные о мировом потреблении важнейших энергоносителей в 1990 г. и прогноз на 2020 г.

Таблица 1.4. Сводка данных по максимальному и минимальному вариантам прогноза мировой энергетики

Общие данные	Фактические данные за 1990 г.	Прогноз на 2020 г.	
		Макс-ный вариант	Мин-ный вариант
Численность населения, млн. чел.	5292	8092	8092
Экономический рост:			
ВВП, трлн. долларов США	21,0	64,7	55,7
ВВП на одного жителя, долларов США	3972	8001	6884
Потребность в первичных энергоресурсах:			
суммарные, млн. т у.т.	12593	24610	16120
удельные, т у.т./чел.	2374	3060	1988
Потребности в электроэнергии, млрд. кВт·ч	11608	23000	23000
Энергоемкость экономики, кг у.т./долл.	0,55	0,41	0,41

Первыми источниками тепла были различные органические остатки 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 вскоре может почти 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 %. Среди используемых видов топлива уголь занимал наибольшую долю (порядка 70 %) от всех используемых энергоресурсов в начале XX в. По мере увеличения потребления нефти, газа и электроэнергии доля угля уменьшалась, хотя общее количество добываемого угля существенно возрастало.

Эволюция расходной части мирового энергетического баланса определяется действием двух зачастую противоположных тенденций:

а) постепенного приближения структуры производства энергоресурсов к структуре имеющихся запасов;

б) повышения качества потребляемых энергоресурсов и энергоносителей. Первая тенденция определяет сдвиг в мировом энергобалансе в сторону угля. Вторая – в сторону нефти, газа, ядерного топлива. Увеличение мирового потребления первичных энергоресурсов будет проходить при снижении удельного веса трех основных видов органического топлива, но их преобладание в структуре мирового энергобаланса сохранится до середины XXI в., а возможно и далее.

Разумное сочетание различных энергоресурсов и плавное развитие энергетики, несомненно, позволили бы избежать тех трудностей, приобретающих иногда катастрофический характер, которые возникли в 1973–1975 гг. в ряде стран. Эти трудности, получившие название «энергетического кризиса», были вызваны многолетним хищническим использованием международными монополиями сырьевых ресурсов стран и континентов.

Так, международный нефтяной картель, состоящий из семи монополий (пять из которых американские), практически полностью контролировал добычу нефти в странах Арабского Востока и прочно захватил доминирующие позиции на рынках государств – потребителей нефти. Этот картель в целях извлечения максимальных прибылей тормозил работы по использованию других видов энергии. В странах Западной Европы сокращалась добыча каменного угля, закрывались шахты, часто неоправданно придерживалось развитие атомной энергетики. Монополии, картели не останавливались ни перед какими средствами, чтобы сохранить свои позиции. В ряде стран, например, они давали огромные взятки, чтобы провалить законы о национализации энергетики (США) или дискредитировать и затормозить программу строительства атомных станций (Италия) и т. д. Ориентация энергетики на нефть, дававшую монополиям огромные прибыли, требует в перспективе значительного увеличения ее добычи. В то же время, начиная с 1973 г., страны – производители нефти стали требовать все большую долю прибылей: они повысили на нее закупочные цены и заявили о намерении держать прирост добычи нефти в определенных пределах, поставив тем самым развитие стран перед необходимостью пересмотра их энергетической политики.

Все соображения и данные о мировых запасах энергоресурсов следует рассматривать как приближенные, поскольку все еще недостаточно изучены земные недра (под дном Мирового океана), имеется неудовлетворительного качества статистический материал о залегании энергоресурсов, в различных странах существуют разные методики учета запасов. Кроме того, используются различные подходы к оценке запасов. Например, по данным Мировой энергетической конференции, общегеологические запасы топлива планеты оценивались примерно в 200 млн. ТВт·ч, а далее было показано, что с помощью

современных технологических методов может быть добыто при оправданных экономических затратах более 28 000 млн ГВт·ч, что в 380000 раз превышает современный уровень годовой добычи в мире всех видов топлива. Характерно то обстоятельство, что, несмотря на быстрое расходование энергоресурсов, их потенциальные запасы по мере проведения разведки не уменьшаются, а увеличиваются.

Значения запасов энергоресурсов и показателей их добычи определяются эффективностью их полезного потребления. Усовершенствования технических установок, позволяющие более полно (т. е. с большим КПД) использовать первичные энергоресурсы, означают, 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 существу, то придется констатировать, что преобразование их в электроэнергию на станциях различных типов происходит с крайне низким коэффициентом полезного действия (КПД). При этом наибольший КПД соответствует атомным станциям, а наименьший – гидроэлектростанциям. Значения расхода энергоносителей и КПД, приведенные в табл. 1.5, определены для электростанций одинаковой мощности (1 ГВт), вырабатывающих за сутки 24 ГВт·ч.

Таблица 1.5. Расход энергоносителей и КПД различного типа электростанций одинаковой мощности (1 ГВт)

Тип станции (мощность 1 ГВт)	Требуемое количество энергоносителей для выработки 33,4 ГВт·ч ($120 \cdot 10^{12}$ Дж) электроэнергии	КПД по веществу, вовлеченному в энергетический процесс, %
ГЭС	Вода – $700 \cdot 10^6$ т.	$0,19 \cdot 10^{-12}$
ТЭС	Уголь – 6400 т. Нефть – 4600 м ³ Газ – 536000 м ³	$0,2 \cdot 10^{-5}$
АЭС	Уран – 1,5-2 кг	10^{-2}

Расчет КПД по существу может производиться следующим образом. Через турбины ГЭС мощностью 1 ГВт для получения энергии $120 \cdot 10^{12}$ Дж необходимо пропустить $700 \cdot 10^6$ т воды. Эта масса воды обладает внутренней энергией $630 \cdot 10^{26}$ Дж. Следовательно, КПД по веществу $\eta = (120 \cdot 10^{12} / 630 \cdot 10^{26}) \cdot 100\% = 0,19 \cdot 10^{-12}$. Аналогично находится КПД для ТЭС и АЭС.

Вопрос об увеличении КПД процессов получения энергии является очень острым. В целом это увеличение непрерывно происходит. Так, производство электроэнергии в мире за 10 лет (1955–1965 гг.) выросло в 1,97 раза, за 15 лет (1950–1965 гг.) в 3,5 раза. За этот период производство первичных энергоресурсов возросло только в 2 раза. Это произошло вследствие

повышения КПД энергетических установок и увеличения доли расходования первичных ресурсов для выработки электроэнергии.

Масштабы выработки электроэнергии в мире увеличиваются с 11,5 трлн кВт·ч в 1990 г. до 19,4–24,4 млрд кВт·ч в 2020 г. или в 1,7–2,1 раза.

Опережающий рост выработки электроэнергии по отношению к потреблению первичных энергоресурсов сохраняется во всех вариантах на протяжении всего периода. Сохраняется тенденция роста потребления электроэнергии на душу населения. Этот показатель увеличивается с 2,17 тыс. кВт·ч/человек в 1990 г. до 2,4–3,03 тыс. кВт·ч/человек в 2020 г. Однако, наряду с этим формируется новая тенденция – снижение электроемкости глобального ВВП (на 8–27 % к 2020 г. по сравнению с уровнем 1990 г.).

Отличительной чертой будущей мировой электроэнергетики явится нарастающая централизация распределения энергии и диверсификация источников ее производства. Характерным будет сочетание крупных концентрированных и относительно малых энергоисточников, работающих на единую сеть: применение разнообразных комбинированных схем производства электроэнергии и тепла, совмещение энергетических и производственных технологий с полным использованием отходов и вторичных ресурсов, формирование интегрированных энергопроизводственных систем.

Особое значение приобретает наметившаяся в последнее десятилетие тенденция – создание крупных государственных и межгосударственных энергообъединений. Накоплен положительный опыт создания и функционирования крупных энергообъединений в Западной Европе, Северной Америке, на территории бывшего СССР и стран Восточной Европы.

В формировании единого электроэнергетического пространства Евроазиатского континента особую роль играет Россия, обладающая большими топливно-энергетическими ресурсами и крупнейшими в мире централизованно управляемым энергообъединением РАО «ЕЭС России».

До разделения СССР на независимые государства на Европейском континенте было три крупных энергообъединения:

- энергообъединение 12 стран Западной Европы (Бельгии, ФРГ, Испании, Франции, Греции, Италии, Югославии, Люксембурга, Нидерландов, Австрии, Швейцарии, Португалии) UCРTE;
- энергообъединение четырех стран Северной Европы (Норвегии, Дании, Финляндии, Швеции) Nordel System;
- энергообъединение «Мир» (стран – бывших членов Совета Экономической Взаимопомощи).

Асинхронно с UCРTE через кабель постоянного тока работает энергосистема Великобритании.

Установленная мощность электростанций, входящих в UCРTE, составляет более 390 млн кВт, в Nordel System – 85 млн кВт, в энергообъединение «Мир» – более 400 млн кВт. Энергообъединение «Мир» было связано с UCРTE тремя вставками постоянного тока суммарной мощностью 1750 МВт и с Nordel System – вставкой постоянного тока мощность

1100 МВт. Электрические связи между энергосистемами стран Восточной Европы и ЕЭС бывшего СССР включали три воздушные линии электропередачи (ВЛ) напряжением 750 кВ, четыре ВЛ напряжением 400 кВ и четыре ВЛ напряжением 220 кВ, по которым осуществлялись значительные поставки электроэнергии из СССР в страны Восточной Европы. В отдельные годы они составляли около 40 млрд кВт·ч.

В настоящее время в энергообъединениях UCPTE и Nordel System интеграционные процессы усиливаются. В течение 1994 г. была введена в коммерческую эксплуатацию кабельная линия электропередачи постоянного тока между Швейцарией и Германией длиной около 250 км, мощностью 600 МВт. Рассматриваются два проекта межсистемных связей между Норвегией и континентальной Европой. Одна из них соединит Норвегию и Германию, другая – Норвегию и Голландию. Выполнено технико-экономическое обоснование межсистемной линии электропередачи постоянного тока между Швецией и Польшей. В дальнейшем рассматривается возможность присоединения энергосистем Латвии, Литвы и Эстонии к Nordel System и UCPTE.

В 1994 г. объем обменов электроэнергией, включая третьи страны, в UCPTE составил 155,9 млрд кВт·ч, или 10 % производимой электроэнергии в странах UCPTE, а Nordel System – 39,3 млрд кВт·ч или 11,2 %. Иная картина оказалась в энергообъединении «Мир», где после разделения СССР на независимые государства начались дезинтеграционные процессы, а взаимовыгодные обмены электроэнергией внутри энергообъединения стали сокращаться. В 1994 г. объем экспорта электроэнергии из стран СНГ в страны Восточной Европы составил всего 1,7 млрд кВт·ч и уменьшился более чем в 20 раз по сравнению с концом 80-х гг.

В октябре 1995 г. к UCPTE присоединилось энергообъединение CENTREL, включающее энергосистемы Венгрии, Чехии, Словакии и Польши и энергосистему восточной части Германии. При этом установленная мощность расширенного энергообъединения UCPTE стала составлять более 470 млн кВт. Имеются планы присоединения к UCPTE энергосистемы Болгарии и Румынии. В конце сентября–начале октября 1995 г. энергосистема Болгарии отключилась от ОЭС Украины и переключилась на синхронную работу с энергосистемами Румынии, Греции, Албании, бывшей СФРЮ. Этот эксперимент рассматривается как этап по подключению энергосистем стран южной части Европы к UCPTE. Следующий кандидат на подключение к UCPTE – Турция. Рассматривается развитие связей энергосистемы Турции с энергосистемами стран, входящих в экономическую зону Mashreq (от Сирии до Египта). После ввода в эксплуатацию в 1996 г. подводного кабеля переменного тока между Испанией и Марокко к UCPTE присоединятся энергосистемы Марокко, Алжира, Туниса и Ливии (страны зоны Maghreb). Проводятся исследования по развитию связей между энергосистемами стран Mashreq и Maghreb. Таким образом, стоит вопрос о создании большого энергообъединения стран бассейна Средиземного моря, которое будет работать параллельно с UCPTE. Намечается

проведение исследований по оценке возможностей совместной работы энергосистемы Турции с энергосистемами Закавказских республик: Армении, Грузии и Азербайджана.

Вместе с тем продолжает функционировать ЕЭС России, которая работает синхронно с энергосистемами стран Балтии, Беларуси, Украины, Молдовы и Казахстана. Сохранили возможность параллельной работы ЕЭС России энергосистемы Азербайджана, Армении и Грузии.

В этих условиях центральной проблемой сотрудничества стран на Европейском континенте в области электроэнергетики стало использование уже существующих 11 ВЛ между странами СНГ и Восточной Европы, в строительстве которых были вложены значительные средства, предполагаются различные варианты дальнейшего развития этих связей. Одним из вариантов предусматривается перенос вставок постоянного тока на границы стран СНГ и стран Восточной Европы.

Выбор наилучшего пути развития сотрудничества на Евроазиатском континенте должен быть направлен на создание общего рынка электроэнергии и мощности как основы единого энергетического пространства. На решение этой задачи направлен ряд международных проектов.

Проект «Балтийское электроэнергетическое кольцо» имеет целью создание мощной электрической сети, связывающей энергосистемы 11 стран региона Балтийского моря: Дании, Швеции, Норвегии, Финляндии, России, Эстонии, Латвии, Литвы, Беларуси, Польши, Германии. По существу, частью этого проекта является другой проект энергомоста Восток–Запад, предусматривающий сооружение электропередачи постоянного тока мощностью 4000 МВт, связывающей энергосистемы России, Беларуси, Польши и Германии. Предполагается, что «Балтийское кольцо» позволит улучшить эффективность работы энергосистем участвующих стран и будет в целом способствовать экономическому развитию стран региона Балтийского моря.

Необходимо отметить, что к настоящему времени накоплен положительный опыт совместной работы ЕЭС России с энергообъединением Nordel System. Ведутся работы по увеличению мощности вставки постоянного тока с Финляндией до 1400, а в перспективе – до 2000 МВт.

Рассматривается возможность создания новых связей Карельской и Кольской энергосистем со странами, входящими в Nordel System.

Проект «Черноморское энергообъединение». При активной поддержке большинства стран – участниц Черноморского экономического сообщества (ЧЭС), включая Украину, Румынию и Болгарию, начата проработка предложения РАО «ЕЭС России» по проблеме создания объединенной энергосистемы ЧЭС. Создание этой объединенной энергосистемы имеет целью объединение энергосистем региона в мощные электрические сети, часть из которых уже существует. Такое объединение могло бы позволить оптимальным образом развивать электроэнергетику всего региона, рационально использовать энергоресурсы, повысить надежность электроснабжения потребителей, осуществлять взаимовыгодные обмены мощностью и электроэнергией и

оказать в целом положительное влияние на экономику всех стран региона. Основу объединенной энергосистемы Черноморско-Каспийского региона должны составить электрические сети высших классов напряжения, созданные странами-членами Совета Экономической Взаимопомощи: на Юго-западе это сети напряжением 400 и 750 кВ, связывающие Россию, Украину, Молдову, Болгарию и Румынию; на Юго-востоке – сети напряжением 330 и 500 кВ, связывающие Россию, Грузию, Армению и Азербайджан, и ВЛ напряжением 220 кВ между странами Закавказья и Турцией.

Другие электроэнергетические проекты. Рассматриваются варианты развития связей между объединенными энергосистемами Средней Азии и энергосистемами Ирана и Турции, прорабатываются вопросы развития связей между энергообъединениями России и Китая, Японии, Кореи, энергообъединениями России и США.

Электроэнергетика Китая развивается быстрыми темпами; производство электроэнергии увеличивается ежегодно на 7–9 %. Общее ежегодное производство электроэнергии в Китае превысило 900 млрд кВт·ч. Китайской стороной проявлен интерес к передаче электроэнергии из России.

Главные предпосылки для импорта электроэнергии Японией состоят в отсутствии собственных топливно-энергетических ресурсов и чрезвычайно высокой плотности населения. Потенциальные источники электроэнергии в России для экспорта в Японию: тепловые электростанции на Сахалине, сжигающие шельфовый газ или южно-сахалинский уголь; ГЭС и АЭС в объединенной энергосистеме Дальнего Востока; приливная электростанция на юге Охотского моря.

Реализация рассмотренных международных проектов, а также намечаемых вариантов усиления межсистемных связей позволит сформировать мощную протяженную цепь: Япония–Китай–Сибирь–Казахстан–Европейская часть России–Западная Европа и явится важным этапом в создании Единого энергообъединения на Евразийском континенте, суммарная мощность которого составит порядка 60 % мощности всех электростанций мира и в котором ЕЭС России в силу своего геополитического положения может стать центральным связующим звеном.

Необходимую пропускную способность межсистемных связей в этом энергообъединении можно приближенно оценить на основе рекомендаций, апробированных практикой создания ЕЭС бывшего СССР, согласно которым суммарная пропускная способность межсистемных связей в сечениях, делящих мощное энергообъединение на две части, должна составлять порядка 2–3 % максимума нагрузки меньшей из рассматриваемых частей энергообъединения. С учетом этого условия необходимые пропускные способности межсистемных связей в Евразийском энергообъединении на территории России и Казахстана составляют более 10 ГВт. Достижение таких пропускных способностей возможно лишь с использованием линий электропередачи сверхвысокого напряжения (1150 кВ переменного и 1500 постоянного тока).

Тема 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

2.1. Энергетическая стратегия Российской Федерации

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

В 2000 г. Правительство РФ одобрило «Основные положения Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2020 года», сформулировав вместе с тем задания по ее доработке. В 2001 г. вышла из печати полная версия Энергетической стратегии России, включающая обосновывающие материалы и расчеты, выполненные при ее разработке.

Генеральная схема «2020» представляла собой план размещения объектов электроэнергетики до 2020 года, увязанный с развитием смежных отраслей и планами развития регионов.

Целью создания данного документа являлось – обеспечение надежного и эффективного энергоснабжения потребителей и экономики страны в электрической и тепловой энергии.

Генеральная схема «2020» призвана была решать следующие задачи:

1. Обеспечение заданных Правительством РФ уровней электропотребления 1426 млрд. кВт·ч в базовом варианте и 1600 млрд. кВт·ч в максимальном варианте в 2015 г. С достижением к 2020 г. 1710 и 2000 млрд. кВт·ч соответственно.
2. Вывод электроэнергии России на новый технологический уровень с увеличением среднеотраслевого КПД, снижением удельных расходов топлива и повышением маневренности и управляемости.
3. Оптимизация структуры топливообеспечения электроэнергетики с учетом согласования со схемами развития топливных отраслей и РЖД.
4. Создание сетевой инфраструктуры, обеспечивающей полноценное участие энергокомпаний в рынке электроэнергии и мощности, а также усилением межсистемных связей, гарантирующих надежность обмена энергией и мощностью между регионами страны

Главными векторами перспективного развития отраслей топливно-энергетического комплекса, предусмотренными Энергетической стратегией России на период до 2020 года, являются:

- переход на путь инновационного и энергоэффективного развития;
- изменение структуры и масштабов производства энергоресурсов;
- создание конкурентной рыночной среды;
- интеграция в мировую энергетическую систему.

Энергетическая стратегия России на тот момент формировалась под долгосрочную программу социально-экономического развития страны, причем

основной сценарий соответствовал ежегодному росту экономики в среднем на 5– 5,5 % за 20-летний период. Наряду с этим прорабатывался и менее оптимистичный (пониженный) сценарий с тем, чтобы быть готовым к разного рода неприятностям. В ходе реализации Энергетической стратегии России на период до 2020 года была подтверждена адекватность большинства ее важнейших положений реальному процессу развития энергетического сектора страны даже в условиях резких изменений внешних и внутренних факторов, определяющих основные параметры функционирования топливно-энергетического комплекса России. При этом предусматривалось осуществлять внесение необходимых изменений в указанную Стратегию не реже одного раза в 5 лет.

На сегодняшний день энергетическая стратегия России определяет:

- цели и задачи долгосрочного развития энергетического сектора страны на предстоящий период до 2030 г.;
- приоритеты и ориентиры развития энергетического сектора в рамках перехода российской экономики на инновационный путь развития;
- механизмы государственной энергетической политики на отдельных этапах ее реализации, обеспечивающие достижение намеченных целей.

Энергетическая стратегия базируется как на оценке опыта реализации Энергетической стратегии России на период до 2020 года, так и на анализе существующих тенденций и новых системных вызовов развитию энергетики, учитывает возможные колебания внешних и внутренних условий экономического развития России.

Главной целью настоящей Стратегии (на период до 2030 г.) является создание инновационного и эффективного энергетического сектора страны, адекватного как потребностям растущей экономики в энергоресурсах, так и внешнеэкономическим интересам России, обеспечивающего необходимый вклад в социально ориентированное инновационное развитие страны.

Достижение указанной цели требует последовательного продвижения в решении следующих **основных задач**:

- повышение эффективности воспроизводства, добычи и переработки топливно-энергетических ресурсов для удовлетворения внутреннего и внешнего спроса на них;
- модернизация и создание новой энергетической инфраструктуры на основе масштабного технологического обновления энергетического сектора экономики страны;
- формирование устойчиво благоприятной институциональной среды в энергетической сфере;
- повышение энергетической и экологической эффективности российской экономики и энергетики, в том числе за счет структурных изменений и активизации технологического энергосбережения;
- дальнейшая интеграция российской энергетики в мировую энергетическую систему.

Прогнозный топливно-энергетический баланс России на период до 2030

года предусматривает:

- снижение доли газа в потреблении первичных топливно-энергетических ресурсов с 52 % в 2005 году до 46 - 47 % к 2030 году;
- увеличение доли нетопливных источников энергии в потреблении первичных топливно-энергетических ресурсов с 11 % до 13 - 14 % к 2030 году;
- масштабное снижение удельной энергоемкости экономики и энергетики (в 2,1 - 2,3 раза) при незначительном росте внутреннего потребления (в 1,4 - 1,6 раза), экспорта (в 1,1 - 1,2 раза) и производства энергоносителей (в 1,3 - 1,4 раза).

Одним из главных приоритетов является развитие рыночной инфраструктуры энергетики (рыночные механизмы, институты открытой торговли энергоносителями, инфраструктура их транспорта). Особое значение придается программе повышения цен на газ и механизмам минимизации негативных социально-экономических последствий общего роста цен на энергоносители. Поддержка и стимулирование стратегических инициатив в энергетике являются основой для реализации крупных энергетических проектов в будущем.

Большинство представленных в Энергетической стратегии России на период до 2020 года направлений реализуются на практике, при этом задействованы все предусмотренные ею механизмы государственной энергетической политики. В частности, осуществлена реформа электроэнергетики, происходят либерализация рынка электроэнергии и реформа атомной энергетики, созданы более благоприятные налоговые условия в нефтегазовом комплексе, стимулируется развитие нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, развивается биржевая торговля энергоносителями, устраняются избыточные административные барьеры в деятельности энергетических компаний. Активно реализуются инфраструктурные проекты, являющиеся основой развития отечественной энергетики.

Вместе с тем пока не в полной мере обеспечивается достижение запланированных Энергетической стратегией России на период до 2020 года итоговых качественных результатов первого этапа ее реализации, а именно - создания базы для устойчивого поступательного развития энергетического сектора, включающей:

- формирование целостной и апробированной нормативно-законодательной базы, создание энергетических рынков с высоким уровнем конкуренции и справедливыми принципами организации торговли;
- завершение преобразований, выводящих смежные сектора экономики на новый уровень энергоэффективности;
- переход от лидирующей роли топливно-энергетического комплекса в экономике страны к естественной функции эффективного и стабильного поставщика топливно-энергетических ресурсов для нужд экономики и

населения.

С учетом принципа преемственности необходимо обеспечить достижение этих качественных ориентиров в рамках настоящей Стратегии.

За время, прошедшее с начала реализации Энергетической стратегии России на период до 2020 года, российский энергетический сектор развивался преимущественно в рамках основных прогнозных тенденций, предусмотренных указанным документом, несмотря на существенные отклонения базовых экономических индикаторов развития страны и внешнеэкономических условий от их значений, прогнозирувавшихся в 2003 году.

Так, при росте мировых цен на нефть с 27 долларов США за баррель в 2000 году до 94 долларов США в 2008 году и почти 4-кратном превышении последним показателем прогнозных оценок Энергетической стратегии России на период до 2020 года фактический объем экспорта топливно-энергетических ресурсов за тот же период вырос в 1,6 раза при отклонении от прогнозов экспорта по Энергетической стратегии России на период до 2020 года на 9,6 процента.

При фактическом росте валового внутреннего продукта страны на 65 % к уровню 2000 года и отклонении от прогнозов Энергетической стратегии России на период до 2020 года на 11 % фактический прирост добычи и производства топливно-энергетических ресурсов составил 26 % к уровню 2000 года при отклонении от прогнозов Энергетической стратегии России на период до 2020 года на 2,6 %.

При этом внутреннее потребление топливно-энергетических ресурсов выросло на 10 % к уровню 2000 года при отклонении от прогнозов Энергетической стратегии России на период до 2020 года на 5 % главным образом за счет сокращения спроса в 2008 году вследствие глобального экономического кризиса.

Цели настоящей Стратегии определяются основными внутренними и внешними вызовами предстоящего долгосрочного периода (до 2030 г.).

Главный внутренний вызов заключается в необходимости выполнения энергетическим сектором страны своей важнейшей роли в рамках предусмотренного Концепцией перехода на инновационный путь развития экономики. Гарантированное удовлетворение внутреннего спроса на энергоресурсы должно быть обеспечено с учетом следующих требований:

- обеспечение Россией стандартов благосостояния, соответствующих развитым странам мира;
- достижение научного и технологического лидерства России по ряду важнейших направлений, обеспечивающих ее конкурентные преимущества и национальную, в том числе энергетическую, безопасность;
- трансформация структуры экономики страны в пользу менее энергоемких отраслей;
- переход страны от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию с качественным обновлением энергетики (как топливной, так и

нетопливной) и смежных отраслей;

- рациональное снижение доли топливно-энергетического комплекса в общем объеме инвестиций в экономику страны при увеличении абсолютных объемов инвестиций в энергетику, необходимых для развития и ускоренной модернизации этого сектора и роста масштабов его деятельности;
- необходимость повышения энергоэффективности и снижения энергоемкости экономики до уровня стран с аналогичными природно-климатическими условиями (Канада, страны Скандинавии);
- последовательное ограничение нагрузки топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и климат путем снижения выбросов загрязняющих веществ, сброса загрязненных сточных вод, а также эмиссии парниковых газов, сокращения отходов производства и потребления энергии.

Главный внешний вызов заключается в необходимости преодоления угроз, связанных с неустойчивостью мировых энергетических рынков и волатильностью мировых цен на энергоресурсы, а также обеспечения вклада энергетического сектора страны в повышение эффективности ее внешнеэкономической деятельности и усиление позиций России в мировой экономической системе. Это означает, что должны быть обеспечены:

- достижение устойчивых результатов внешнеэкономической деятельности в сфере топливно-энергетического комплекса в условиях усиления глобальной конкуренции за ресурсы и рынки сбыта;
- минимизация негативного влияния глобального экономического кризиса и его использование для коренного обновления и диверсификации структуры экономики в пользу менее энергоемких отраслей, стимулирования перехода российского энергетического сектора на ускоренное инновационное развитие и новый технологический уклад;
- увеличение стратегического присутствия России на рынках высокотехнологичной продукции и интеллектуальных услуг в сфере энергетики, в том числе за счет развертывания глобально ориентированных специализированных производств;
- географическая и продуктовая диверсификация российского энергетического экспорта в условиях стабильных и расширяющихся поставок энергоресурсов крупнейшим мировым потребителям;
- рациональное снижение доли топливно-энергетических ресурсов в структуре российского экспорта, переход от продажи первичных сырьевых и энергетических ресурсов за рубеж к продаже продукции их глубокой переработки, а также развитие продажи нефтепродуктов, выпускаемых на зарубежных нефтеперерабатывающих заводах, принадлежащих российским нефтяным компаниям;
- развитие крупных узлов международной энергетической инфраструктуры на территории России, осуществляемое с использованием новых энергетических технологий.

Необходимость адекватного ответа на важнейшие внутренние и внешние вызовы долгосрочного развития в сочетании с имеющимися проблемами в энергетической сфере формирует цели и задачи настоящей Стратегии. Соответствующие риски подлежат учету в системе стратегических приоритетов и ориентиров, а также в рамках процесса поэтапной реализации настоящей Стратегии.

Главными стратегическими ориентирами долгосрочной государственной энергетической политики являются:

- энергетическая безопасность;
- энергетическая эффективность экономики;
- бюджетная эффективность энергетики;
- экологическая безопасность энергетики.

К числу основных составляющих государственной энергетической политики относятся:

- недропользование и управление государственным фондом недр;
- развитие внутренних энергетических рынков;
- формирование рационального топливно-энергетического баланса;
- региональная энергетическая политика;
- инновационная и научно-техническая политика в энергетике;
- социальная политика в энергетике;
- внешняя энергетическая политика.

Научно-техническая и инновационная политика в энергетическом секторе должна основываться на современных достижениях и прогнозе приоритетных направлений фундаментальной и прикладной отечественной и мировой науки в указанной сфере, обеспечивая создание и внедрение новых высокоэффективных технологий в энергетическом секторе российской экономики. В качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению "Электроэнергетика" можно выделить следующие:

- создание газотурбинных установок мощностью 300 - 350 МВт и на их основе высокоэффективных конденсационных парогазовых установок мощностью 500 - 1000 МВт, работающих на природном газе, с коэффициентом полезного действия выше 60 %;
- создание типовых модульных когенерационных парогазовых установок мощностью 100 и 170 МВт с коэффициентом полезного действия 53 - 55 % на теплоэлектроцентралях;
- создание экологически чистых угольных конденсационных энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара с коэффициентом полезного действия 43 - 46 % мощностью 660 - 800 МВт;
- создание экологически чистых парогазовых установок мощностью 200 - 600 МВт с газификацией твердого топлива и с коэффициентом полезного действия 50 - 52 % и парогазовой установки на угольном синтез-газе;
- разработка, создание головных образцов и освоение

энерготехнологических комплексов совместной выработки электроэнергии и синтетического жидкого топлива при работе на газообразном и твердом топливе;

- создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети - Smart Grids);
- создание электрического транзита ультравысокого напряжения постоянного и переменного тока Сибирь - Урал - Европейская часть России;
- создание проводников с использованием новых композитных материалов, позволяющих увеличить токонесущую способность, уменьшить затраты на сооружение линий электропередачи, уменьшить потери в сетях;
- организация производства высокотемпературных сверхпроводниковых материалов и устройств на их основе;
- использование низкотемпературных сверхпроводниковых индукционных накопителей электрической энергии для электрических сетей и гарантированного электроснабжения ответственных потребителей;
- широкое развитие распределенной генерации;
- развитие силовой электроники и устройств на их основе, прежде всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибкие системы передачи переменного тока - FACTS);
- создание высокоинтегрированного информационно-управляющего комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчетными системами принятия решений;
- создание высоконадежных магистральных каналов связи между различными уровнями диспетчерского управления и дублированных цифровых каналов обмена информацией между объектами и центрами управления;
- создание и широкое внедрение централизованных систем противоаварийного управления, охватывающих все уровни Единой энергетической системы России;
- создание автоматизированных систем управления спросом на электроэнергию;
- создание комплекса высокоэффективного экологически чистого силового гидроэнергетического оборудования для приливных электростанций и средств их сооружения с помощью наплавных блоков;
- создание централизованной системы контроля безопасности напорных гидротехнических сооружений на гидрогенерирующих электростанциях и каскадов гидрогенерирующих электростанций на основе компьютерных систем диагностики гидротехнических сооружений;
- создание гибридной парогазовой установки;
- развитие технологий производства водорода (в том числе жидкого) из

воды с использованием электроэнергии от атомных, тепловых электростанций и возобновляемых источников энергии;

- создание водородных систем аккумулирования энергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки с коэффициентом рекуперации электроэнергии не менее 50 % для атомных электростанций, угольных тепловых электростанций и энергоустановок с использованием возобновляемых источников энергии.

2.2. Анализ энергетического сектора экономических районов России

В настоящее время Российская Федерация территориально разделена на 13 экономических районов: 1. Центральный, 2. Центрально-Чернозёмный, 3. Восточно-Сибирский, 4. Дальневосточный, 5. Северный, 6. Северо-Кавказский, 7. Северо-Западный, 8. Поволжский, 9. Уральский, 10. Волго-Вятский, 11. Западно-Сибирский, 12. Калининградская область, Крымский (рис. 2.1, не содержит республику Крым).

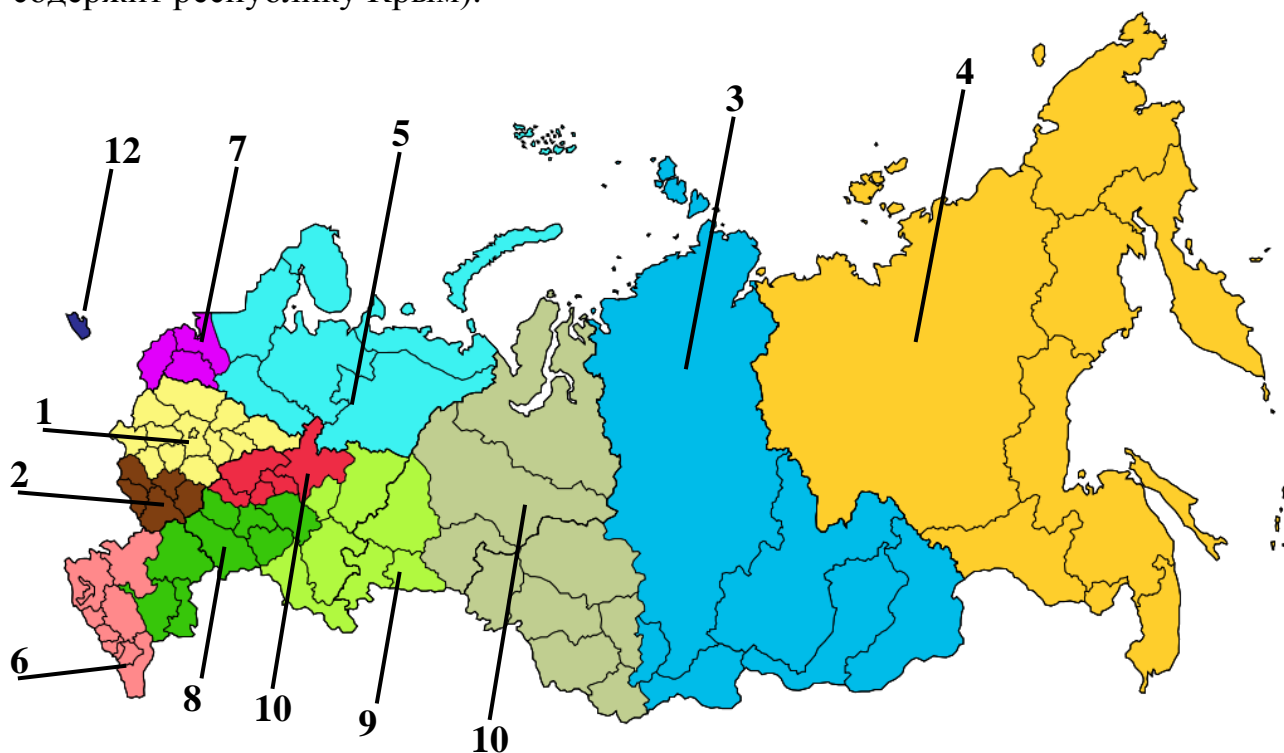


Рис. 2.1. Экономическое районирование России

Можно выделить районы, в которых вырабатывается значительное количество электроэнергии. Их пять: Центральный, Поволжский, Урал, Западная Сибирь и Восточная Сибирь. Но не во всех регионах есть возможности вывоза электроэнергии. Например, в Центральном экономическом районе в 1995 году было произведено огромное количество электроэнергии – 19% от общероссийских показателей (154,7 млрд. кВт), но она вся расходуется внутри региона, и даже ощущается дефицит. Наряду с Центральным районом,

дефицит электроэнергии отмечается в Центрально-Черноземном, Волго-Вятском и Северо-Западном экономических районах.

Центральный экономический район имеет довольно выгодное экономическое положение, но не обладает значительными ресурсами. Запасы топливных ресурсов крайне малы, хотя по их потреблению район занимает одно из первых мест в стране. Он расположен на пересечении сухопутных и водных дорог, которые способствуют возникновению и укреплению межрайонных связей.

Запасы топлива представлены Подмосковным бурогольным бассейном. Условия добычи в нем неблагоприятны, а угли - невысокого качества. Но с изменением энерго- и транспортных тарифов его роль повысилась, так как привозной уголь стал слишком дорогим. Район обладает достаточно большими, но значительно выработанными ресурсами торфа. Запасы гидроэнергии невелики, созданы системы водохранилищ на Оке, Волге и других реках. Также разведаны запасы нефти, но до добычи еще далеко. Энергетические ресурсы ЦЭР имеют местное значение, и электроэнергетика не является отраслью его рыночной специализации.

В хозяйстве Центрального экономического района преобладает промышленность. К отраслям рыночной специализации относятся: машиностроение и металлообработка, легкая промышленность, химическая и полиграфическая промышленность.

В структуре электроэнергетики Центрального экономического района преобладают крупные тепловые электростанции. Конаковская и Костромская ГРЭС, имеющие мощность по 3,6 млн. кВт, работают, в основном, на мазуте, Рязанская ГРЭС (2,8 млн. кВт) – на угле. Также достаточно крупными являются Новомосковская, Черепетская, Щекинская, Ярославская, Каширская, Шатурская тепловые электростанции и ТЭЦ Москвы.

ГЭС Центрального экономического района невелики и немногочисленны. В районе Рыбинского водохранилища построена Рыбинская ГЭС на Волге, а также Угличская и Ивановская ГЭС. Гидроаккумулирующая электростанция построена около Сергиева Посада.

В районе есть две крупные атомные электростанции: Смоленская (3 млн. кВт) и Калининская (2 млн. кВт), а также Обнинская АЭС.

Все названные электростанции входят в объединенную энергосистему, которая не удовлетворяет потребности района в электроэнергии. К Центру сейчас подключены энергосистемы Поволжья, Урала, Юга.

Электростанции в районе распределены достаточно равномерно, хотя большинство сконцентрировано в центре региона.

В перспективе электроэнергетика ЦЭР будет развиваться за счет расширения действующих тепловых электростанций и атомной энергетики.

Поволжский экономический район специализируется на нефтяной и нефтеперерабатывающей, химической, газовой, обрабатывающей промышленности, производстве строительных материалов и электроэнергетике. В структуре хозяйства выделяется межотраслевой машиностроительный

комплекс. АПК района имеет всероссийское значение.

Важнейшими полезными ископаемыми района являются нефть и газ. Крупные месторождения нефти находятся в Татарстане (Ромашкинское, Первомайское, Елабужское и др.), в Самарской (Мухановское), Саратовской и Волгоградской областях. Ресурсы природного газа обнаружены в Астраханской области (формируется газопромышленный комплекс), в Саратовской (Курдюмо-Елшанское и Степановское месторождения) и Волгоградской (Жирновское, Коробовское и др. месторождения) областях.

В структуре электроэнергетики выделяются крупная Заинская ГРЭС (2,4 млн. кВт), расположенная на севере района и работающая на мазуте и угле, а также ряд крупных ТЭЦ. Отдельные более мелкие тепловые электростанции обслуживают населенные пункты и промышленность в них.

В районе построено две атомных электростанции: Балаковская (3 млн. кВт) и Димитровградская АЭС.

На Волге построены Самарская ГЭС (2,3 млн. кВт), Саратовская ГЭС (1,3 млн. кВт), Волгоградская ГЭС (2,5 млн. кВт). На Каме сооружена Нижнекамская ГЭС (1,1 млн. кВт) в районе города Набережные Челны. Гидроэлектростанции работают в объединенной системе.

Энергетика Поволжья имеет межрайонное значение. Электроэнергия передается на Урал, в Донбасс и Центр.

Особенностью Поволжского экономического района является то, что большая часть промышленности сосредоточена по берегам Волги, важной транспортной артерии. И этим объясняется концентрация электростанций у рек Волги и Камы.

Уральский экономический район. Индустриальный комплекс Урала – один из самых мощных в стране. Отраслями рыночной специализации района являются черная металлургия, цветная металлургия, обрабатывающая, лесная промышленность и машиностроение.

Топливные ресурсы Урала очень разнообразны: уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы, торф. Нефть, в основном, сосредоточена в Башкортостане, Удмуртии, Пермской и Оренбургской областях. Природный газ добывается в крупнейшем в европейской части России Оренбургском газоконденсатном месторождении. Запасы угля невелики.

В Уральском экономическом районе в структуре электроэнергетики преобладают тепловые электростанции. В регионе три крупных ГРЭС: Рефтинская (3,8 млн. кВт), Троицкая (2,4 млн. кВт) работают на угле, Ириклинская (2,4 млн. кВт) – на мазуте. Отдельные города обслуживают Пермская, Магнитогорская, Оренбургская тепловые электростанции, Яйвинская, Южноуральская и Кармановская ТЭС.

Гидроэлектростанции построены на реке Уфе (Павловская ГЭС) и Каме (Камская и Воткинская ГЭС).

На Урале есть атомная электростанция – Белоярская АЭС (0,6 млн. кВт) около города Екатеринбурга.

Наибольшая концентрация электростанций – в центре экономического

района.

Западно-Сибирский экономический район относится к районам с высокой обеспеченностью природными ресурсами при дефиците трудовых ресурсов. Она расположена на перекрестке железнодорожных магистралей и великих сибирских рек в непосредственной близости от индустриально развитого Урала.

В регионе к отраслям специализации относятся топливная, добывающая, химическая промышленность, электроэнергетика и производство строительных материалов.

В Западной Сибири ведущая роль также принадлежит тепловым электростанциям. Сургутская ГРЭС (3,1 млн. кВт) расположена в центре региона. Основная же часть электростанций сосредоточена на юге: в Кузбассе и прилегающих к нему районам. Там расположены электростанции, обслуживающие Томск, Бийск, Кемерово, Новосибирск, а также Омск, Тобольск и Тюмень.

Гидроэлектростанция построена на Оби около Новосибирска. Атомных электростанций в районе нет.

На территории Тюменской и Томской областей формируется крупнейший в России программно-целевой ТПК на основе уникальных запасов нефти и природного газа в северной и средней частях Западно-Сибирской равнины и значительных лесных ресурсов.

Восточно-Сибирский экономический район отличается исключительным богатством и разнообразием природных ресурсов. Здесь сосредоточены огромные запасы угля и гидроэнергетических ресурсов. Наиболее изученными и освоенными являются Канско-Ачинский, Иркутский и Минусинский угольные бассейны. Есть менее изученные месторождения (на территории Тывы, Тунгусский угольный бассейн). Есть запасы нефти.

По богатствам гидроэнергетических ресурсов Восточная Сибирь занимает в России первое место. Высокая скорость течения Енисея и Ангары создает благоприятные условия для строительства электростанций.

К отраслям рыночной специализации Восточной Сибири относятся электроэнергетика, цветная металлургия, добывающая и топливная промышленность.

Важнейшей областью рыночной специализации является электроэнергетика. Еще сравнительно недавно эта отрасль была развита слабо и тормозила развитие промышленности региона. За последние 30 лет на базе дешевых угольных и гидроэнергетических ресурсов была создана мощная электроэнергетика, и район занял ведущее место в стране по производству электроэнергии на душу населения.

На Енисее построены Усть-Хантайская ГЭС, Курейская ГЭС, Майнская ГЭС, Красноярская ГЭС (6 млн. кВт) и Саяно-Шушенская ГЭС (6,4 млн. кВт). Большое значение имеют гидравлические электростанции, сооруженные на Ангаре: Усть-Илимская ГЭС (4,3 млн. кВт), Братская ГЭС (4,5 млн. кВт) и Иркутская ГЭС (600 тыс. кВт). Строится Богучановская ГЭС. Также сооружены

Мамаканская ГЭС на реке Витим и каскад Вилюйских гидроэлектростанций.

В районе построены мощные Назаровская ГРЭС (6 млн. кВт), работающая на угле; Березовская (проектная мощность – 6,4 млн. кВт), Читинская и Ирша-Бородинская ГРЭС; Норильская и Иркутская ТЭЦ.

Также тепловые электростанции построены для обслуживания таких городов, как Красноярск, Ангарск, Улан-Удэ. Атомных электростанций в районе нет. Электростанции входят в объединенную энергосистему Центральной Сибири.

Электроэнергетика в Восточной Сибири создает особо благоприятные условия для развития в регионе энергоемких производств: металлургии легких металлов и ряда отраслей химической промышленности.

Для более рационального, комплексного и экономичного использования общего потенциала России создана **Единая энергетическая система (ЕЭС)**. В ней работают свыше 700 крупных электростанций, имеющих общую мощность более 250 млн. кВт (84% мощности всех электростанций страны). Управление ЕЭС осуществляется из единого центра.

Единая энергетическая система имеет ряд очевидных экономических преимуществ. Мощные ЛЭП (линии электропередачи) существенно повышают надежность снабжения народного хозяйства электроэнергией. Они выравнивают годовые и суточные графики потребления электроэнергии, улучшают экономические показатели электростанций и создают условия для полной электрификации районов, где ощущается недостаток электроэнергии.

В состав ЕЭС бывшего СССР входили электростанции, которые распространяли свое влияние на территорию свыше 10 млн. км² с населением около 220 млн. человек.

Объединенные энергетические системы (ОЭС) Центра, Поволжья, Урала, Северо-Запада, Северного Кавказа входят в ЕЭС европейской части. Их объединяют высоковольтные магистрали Самара – Москва (500 кВт), Москва - Санкт-Петербург (750 кВт), Волгоград - Москва (500 кВт), Самара - Челябинск и др.

Здесь действуют многочисленные тепловые электростанции (КЭС и ТЭЦ) на угле (подмосковном, уральском и др.), сланцах, торфе, природном газе и мазуте, и атомные электростанции. ГЭС имеют большое значение, покрывая пиковые нагрузки крупных промышленных районов и узлов. Формирование ЕЭС европейской части завершено. Россия экспортирует электроэнергию в Беларусь и на Украину, откуда она идет в страны Восточной Европы, и в Казахстан.

2.3. Распределение и передача электроэнергии на расстояние

Победное шествие переменного тока началось с изобретения в 1890 году русским инженером Михаилом Доливо-Добровольским трехфазного электродвигателя, конструкция ротора которого стремя обмотками, расположенными под углом 120 градусов по отношению друг к другу, в виде

«беличьего колеса», в целом сохранилась и до наших дней.

Главное преимущество переменного тока – гибкость в подключении нагрузок и генераторов на всем протяжении маршрута передачи электроэнергии. При этом нет необходимости, как в случае с постоянным током, в возведении дорогих преобразовательных подстанций на ответвлениях от линии передачи. Это особенно ценно, если маршрут ЛЭП пролегает по густонаселенным регионам, а выработка энергии производится во многих местах вдоль этого маршрута. Главный недостаток – сильное удорожание при строительстве линий переменного тока протяженностью свыше 500 км.

Передать значительную мощность на большое расстояние можно, только существенно повысив напряжение источника тока. Но доступных технологий повышения напряжения постоянного тока тогда не существовало – по сети передавали ток с генераторным напряжением, оно составляло несколько сот вольт и с точки зрения транспортировки высоким не было. Но и это напряжение оказывалось слишком высоким для потребителей, и им для его понижения приходилось включать у себя дома еще один генератор с меньшим выходным напряжением, который крутился двигателем, работающим от сети с высоким входным напряжением. Уже в девяностых годах XIX века обе российские столицы, испытывавшие стремительный рост потребления, оказались энергодефицитными.

Высокая стоимость прокладки протяженных ЛЭП переменного тока складывается из нескольких взаимосвязанных составляющих. Прежде всего, для них требуется отвод площадей, значительно больших, чем для ППТ. И дело тут даже не в стоимости самой земли (едва ли ее стоимость может быть серьезным фактором удорожания строительства, скажем, где-нибудь в сибирской тайге), а в цене подготовки площадки под возведение опор ЛЭП. Требование к широким площадкам связано с тем, что на линиях переменного тока не удастся полностью использовать пропускную способность линий, определяемую из предельно допустимого нагрева проводов. Нагрев этот, сопровождаемый соответственным увеличением сетевых потерь, происходит в результате действия так называемого скин-эффекта (поверхностного эффекта), именно его и учитывал в своих расчетах Михаил Доливо-Добровольский, предсказывая ограничение протяженности линий переменного тока. Суть эффекта в том, что при проникновении электромагнитных волн в глубь проводящей среды происходит их затухание, в результате чего переменный ток «не распределяется» по всему сечению проводника, а концентрируется преимущественно в поверхностном слое, вызывая его повышенный нагрев. «Коэффициент концентрации» тем больше, чем больше частота тока. Необходимость параллельных линий определяет намного большую материалоемкость у ЛЭП переменного тока.

Специалисты АBB посчитали, что для передачи 12 000 МВт – кстати, мощности вполне сопоставимой с той, что в России планируется со временем передавать от Эвенкийской (Туруханской) ГЭС, – потребовалось бы восемь линий переменного тока при напряжении 800 кВ. или – всего две линии

постоянного тока при таком же напряжении. Еще одно огромное преимущество ППТ заключается в малой величине потерь – всего около 5 % при передаче энергии на расстояние свыше 2000 км. Чтобы достичь столь же малых потерь, в обустройство линий переменного тока той же протяженности пришлось бы инвестировать почти в полтора раза больше, а это миллиарды долларов.

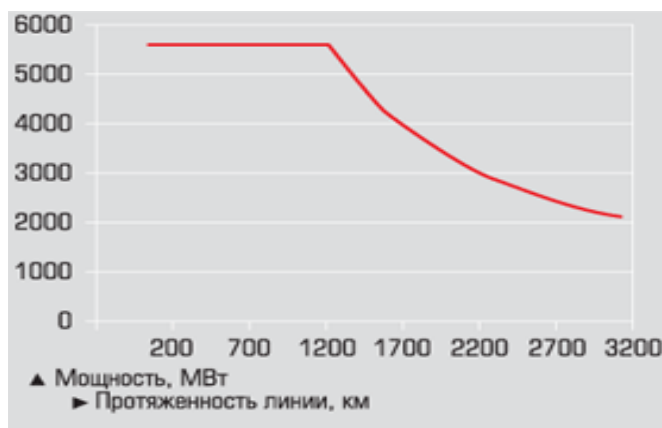


Рис. 2.2. Зависимость пропускной способности линии переменного тока при напряжении 1000 кВ от протяженности

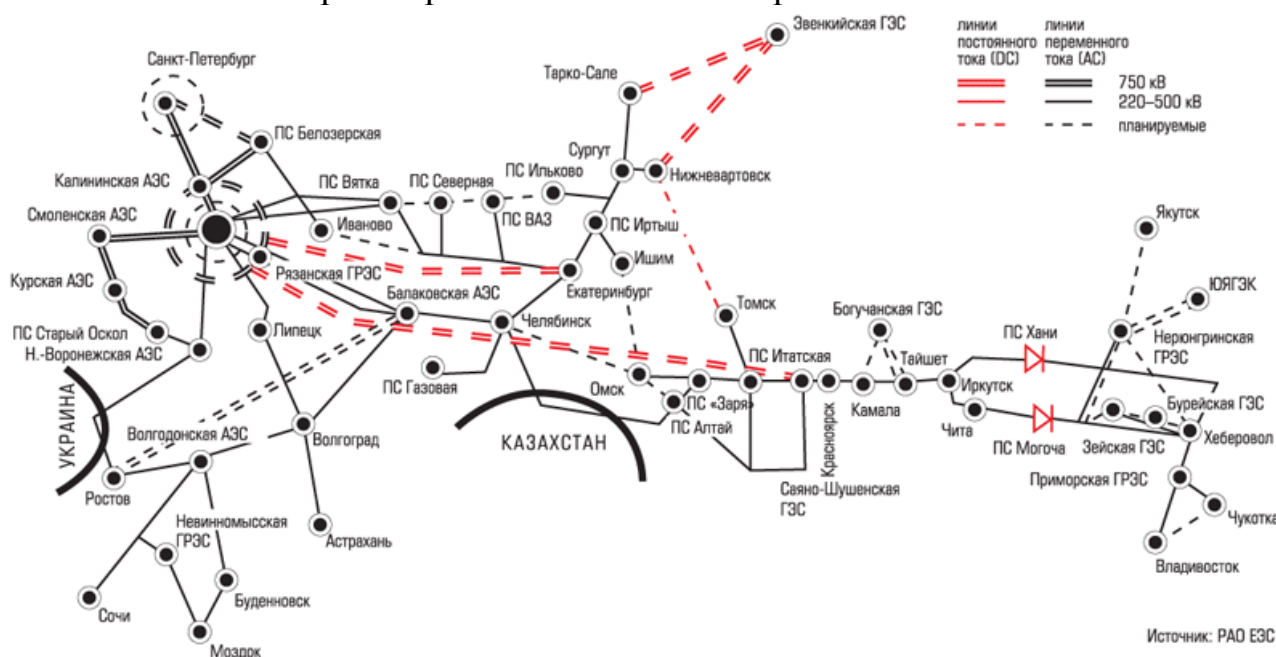


Рис. 2.3. Развитие электрических сетей РФ до 2020 года

Передавать электроэнергию по кабельным линиям при длинах 30–40 км и по воздушным линиям передачи протяженностью свыше 500 км выгоднее с помощью постоянного тока. В 1919 г. 500-километровые ЛЭП казались еще диковинкой.

Уже в 1945 году «для решения проблем, связанных с внедрением в энергетику электропередачи постоянного тока и созданием Единой энергосистемы страны» распоряжением советского правительства в Ленинграде

был образован Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения (НИИПТ). В 1965 году была введена по всей 500–километровой длине намного более мощная 790–мегаваттная ППТ напряжением 800 кВ Волгоград – Донбасс, сооруженная уже целиком из отечественного оборудования и включенная в объединенную энергетическую систему СЭВ «Мир», куда входила и энергосистема ГДР. По словам Льва Кощева, «она работает до сих пор, хотя в некотором смысле это уже музейная линия передачи».

Тема 3. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. Тепловые электростанции (ТЭС, КЭС, ТЭЦ)

Основным типом электростанций в России являются тепловые (ТЭС). Эти установки вырабатывают примерно 67% электроэнергии России. На их размещение влияют топливный и потребительский факторы. Наиболее мощные электростанции располагаются в местах добычи топлива. ТЭС, использующие калорийное, транспортабельное топливо, ориентированы на потребителей.

Тепловые электростанции используют широко распространенные топливные ресурсы, относительно свободно размещаются и способны вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний. Их строительство ведется быстро и связано с меньшими затратами труда и материальных средств. Но у ТЭС есть существенные недостатки. Они используют невозобновимые ресурсы, обладают низким КПД (30-35%), оказывают крайне негативное влияние на экологическую обстановку. ТЭС всего мира ежегодно выбрасывают в атмосферу 200-250 млн. т золы и около 60 млн. т сернистого ангидрида⁶, а также поглощают огромное количество кислорода. Установлено, что уголь в микродозах почти всегда содержит U^{238} , Th^{232} и радиоактивный изотоп углерода. Большинство ТЭС России не оснащены эффективными системами очистки уходящих газов от оксидов серы и азота. Хотя установки, работающие на природном газе экологически существенно чище угольных, сланцевых и мазутных, вред природе наносит прокладка газопроводов (особенно в северных районах).

Тепловой электрической станцией называется комплекс оборудования и устройств, преобразующих энергию топлива в электрическую и (в общем случае) тепловую энергию.

Тепловые электростанции характеризуются большим разнообразием и их можно классифицировать по различным признакам.

1. По назначению и виду отпускаемой энергии электростанции разделяются на районные и промышленные.

Районные электростанции – это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т.д.). Районные

конденсационные электростанции, вырабатывающие в основном электроэнергию, часто сохраняют за собой историческое название – ГРЭС (государственные районные электростанции). Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). ТЭЦ представляют собой установки по комбинированному производству электроэнергии и теплоты. Их КПД доходит до 70% против 30-35% на КЭС. ТЭЦ привязаны к потребителям, т.к. радиус передачи теплоты (пара, горячей воды) составляет 15-20 км. Максимальная мощность ТЭЦ меньше, чем КЭС.

Как правило, ГРЭС и районные ТЭЦ имеют мощность более 1 млн. кВт.

Промышленные электростанции – это электростанции, обслуживающие тепловой и электрической энергией конкретные производственные предприятия или их комплекс, например завод по производству химической продукции. Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают. Их мощность определяется потребностями промышленных предприятий в тепловой и электрической энергии и, как правило, она существенно меньше, чем районных ТЭС. Часто промышленные электростанции работают на общую электрическую сеть, но не подчиняются диспетчеру энергосистемы. Ниже рассматриваются только районные электростанции.

2. По виду используемого топлива тепловые электростанции разделяются на электростанции, работающие на органическом топливе и ядерном горючем.

Тепловые электростанции, работающие на органическом топливе, называют **конденсационными электростанциями (КЭС)**. Ядерное горючее используют атомные электростанции (АЭС). Именно в таком смысле ниже будет употребляться этот термин, хотя и ТЭЦ, и АЭС, и газотурбинные электростанции (ГТЭС), и парогазовые электростанции (ПГЭС) также являются тепловыми электростанциями, работающими на принципе преобразования тепловой энергии в электрическую.

Первостепенную роль среди тепловых установок играют конденсационные электростанции (КЭС). Они тяготеют и к источникам топлива, и к потребителям, и поэтому очень широко распространены. Чем крупнее КЭС, тем дальше она может передавать электроэнергию, т.е. по мере увеличения мощности возрастает влияние топливно-энергетического фактора.

В качестве органического топлива для ТЭС используют газообразное, жидкое и твердое топливо. Ориентация на топливные базы происходит при наличии ресурсов дешевого и нетранспортабельного топлива (бурые угли Канско-Ачинского бассейна) или в случае использования электростанциями торфа, сланцев и мазута (такие КЭС обычно связаны с центрами нефтепереработки). Большинство ТЭС России, особенно в европейской части, в качестве основного топлива потребляют природный газ, а в качестве резервного топлива – мазут, используя последний ввиду его дороговизны только в крайних случаях; такие ТЭС называют газомазутными. Во многих регионах, в основном в азиатской части России, основным топливом является

энергетический уголь – низкокалорийный уголь или отходы высококалорийного каменного угля (антрацитовый штыб – АШ). Поскольку перед сжиганием такие угли размалываются в специальных мельницах до пылевидного состояния, то такие ТЭС называют пылеугольными.

3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции.

Основой паротурбинных электростанций являются паротурбинные установки (ПТУ), которые для преобразования тепловой энергии в механическую используют самую сложную, самую мощную и чрезвычайно совершенную энергетическую машину – паровую турбину. ПТУ – основной элемент ТЭС, ТЭЦ и АЭС.

Газотурбинные тепловые электростанции (ГТЭС) оснащаются газотурбинными установками (ГТУ), работающими на газообразном или, в крайнем случае, жидком (дизельном) топливе. Поскольку температура газов за ГТУ достаточно высока, то их можно использовать для отпуска тепловой энергии внешнему потребителю. Такие электростанции называют ГТУ-ТЭЦ. В настоящее время в России функционирует одна ГТЭС (ГРЭС-3 им. Классона, г. Электрогорск Московской обл.) мощностью 600 МВт и одна ГТУ-ТЭЦ (в г. Электросталь Московской обл.).

Парогазовые тепловые электростанции комплектуются парогазовыми установками (ПГУ), представляющими комбинацию ГТУ и ПТУ, что позволяет обеспечить высокую экономичность. ПГУ-ТЭС могут выполняться конденсационными (ПГУ-КЭС) и с отпуском тепловой энергии (ПГУ-ТЭЦ). В России имеется только одна работающая ПГУ-ТЭЦ (ПГУ-450Т) мощностью 450 МВт. На Невинномысской ГРЭС работает энергоблок ПГУ-170 мощностью 170 МВт, а на Южной ТЭЦ Санкт-Петербурга – энергоблок ПГУ- 300 мощностью 300 МВт.

4. По технологической схеме паропроводов ТЭС делятся на блочные ТЭС и на ТЭС с поперечными связями.

Блочные ТЭС состоят из отдельных, как правило, однотипных энергетических установок – энергоблоков. В энергоблоке каждый котел подает пар только для своей турбины, из которой он возвращается после конденсации только в свой котел. По блочной схеме строят все мощные ГРЭС и ТЭЦ, которые имеют так называемый промежуточный перегрев пара. Работа котлов и турбин на ТЭС с поперечными связями обеспечивается по-другому: все котлы ТЭС подают пар в один общий паропровод (коллектор) и от него питаются все паровые турбины ТЭС. По такой схеме строятся КЭС без промежуточного перегрева и почти все ТЭЦ на докритические начальные параметры пара.

5. По уровню начального давления различают ТЭС докритического давления и сверхкритического давления (СКД).

Критическое давление – это 22,1 МПа (225,6 ат). В российской теплоэнергетике начальные параметры стандартизованы: ТЭС и ТЭЦ строятся

на докритическое давление 8,8 и 12,8 МПа (90 и 130 ат), и на СКД – 23,5 МПа (240 ат). ТЭС на сверхкритические параметры по техническим причинам выполняются с промежуточным перегревом и по блочной схеме. Часто ТЭС или ТЭЦ строят в несколько этапов – очередями, параметры которых улучшаются с вводом каждой новой очереди.

Рассмотрим типичную конденсационную ТЭС, работающую на органическом топливе (рис. 3.1).

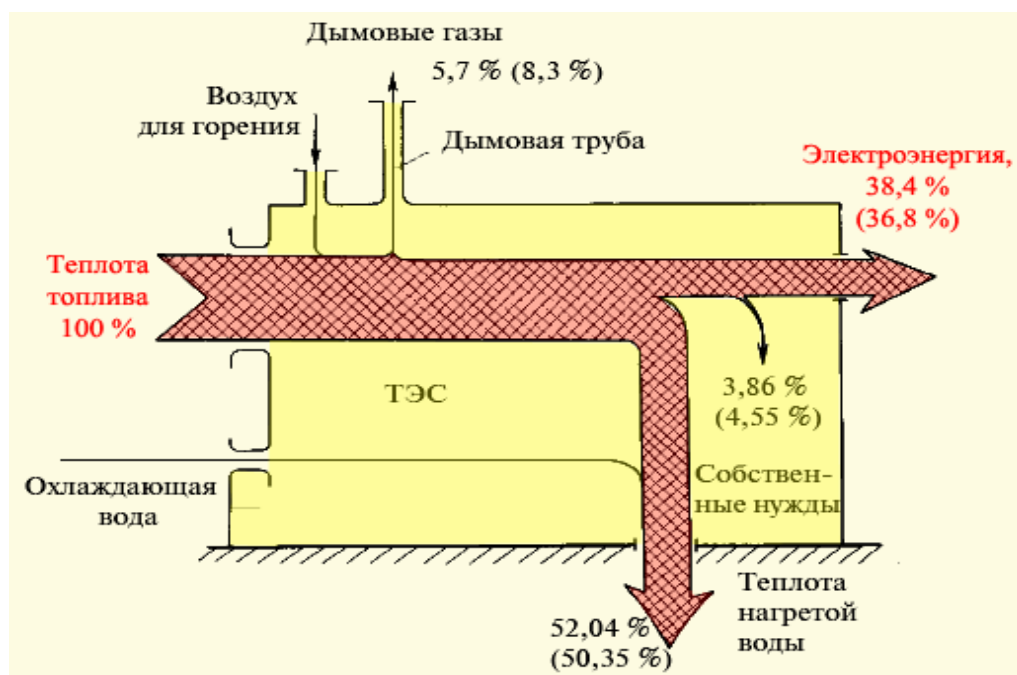


Рис. 3.1. Тепловой баланс газомазутной и пылеугольной (цифры в скобках) ТЭС

Топливо подается в котел и для его сжигания сюда же подается окислитель – воздух, содержащий кислород. Воздух берется из атмосферы. В зависимости от состава и теплоты сгорания для полного сжигания 1 кг топлива требуется 10–15 кг воздуха и, таким образом, воздух – это тоже природное «сырье» для производства электроэнергии, для доставки которого в зону горения необходимо иметь мощные высокопроизводительные нагнетатели. В результате химической реакции сгорания, при которой углерод С топлива превращается в оксиды CO_2 и CO , водород H_2 – в пары воды H_2O , сера S – в оксиды SO_2 и SO_3 и т.д., образуются продукты сгорания топлива – смесь различных газов высокой температуры. Именно тепловая энергия продуктов сгорания топлива является источником электроэнергии, вырабатываемой ТЭС.

Далее внутри котла осуществляется передача тепла от дымовых газов к воде, движущейся внутри труб. К сожалению, не всю тепловую энергию, высвободившуюся в результате сгорания топлива, по техническим и экономическим причинам удается передать воде. Охлажденные до температуры 130–160 °С продукты сгорания топлива (дымовые газы) через дымовую трубу покидают ТЭС. Часть теплоты, уносимой дымовыми газами, в зависимости от вида используемого топлива, режима работы и качества эксплуатации,

составляет 5– 15 %.

Часть тепловой энергии, оставшаяся внутри котла и переданная воде, обеспечивает образование пара высоких начальных параметров. Этот пар направляется в паровую турбину. На выходе из турбины с помощью аппарата, который называется конденсатором, поддерживается глубокий вакуум: давление за паровой турбиной составляет 3– 8 кПа (напомним, что атмосферное давление находится на уровне 100 кПа). Поэтому пар, поступив в турбину с высоким давлением, движется к конденсатору, где давление мало, и расширяется. Именно расширение пара и обеспечивает превращение его потенциальной энергии в механическую работу. Паровая турбина устроена так, что энергия расширения пара преобразуется в ней во вращение ее ротора. Ротор турбины связан с ротором электрогенератора, в обмотках статора которого генерируется электрическая энергия, представляющая собой конечный полезный продукт (товар) функционирования ТЭС.

Для работы конденсатора, который не только обеспечивает низкое давление за турбиной, но и заставляет пар конденсироваться (превращаться в воду), требуется большое количество холодной воды. Это – третий вид «сырья», поставляемый на ТЭС, и для функционирования ТЭС он не менее важен, чем топливо. Поэтому ТЭС строят либо вблизи имеющихся природных источников воды (река, море), либо строят искусственные источники (пруд-охладитель, воздушные башенные охладители и др.).

Основная потеря тепла на ТЭС возникает из-за передачи теплоты конденсации охлаждающей воде, которая затем отдает ее окружающей среде. С теплом охлаждающей воды теряется более 50 % тепла, поступающего на ТЭС с топливом. Кроме того, в результате происходит тепловое загрязнение окружающей среды.

Часть тепловой энергии топлива потребляется внутри ТЭС либо в виде тепла (например, на разогрев мазута, поступающего на ТЭС в густом виде в железнодорожных цистернах), либо в виде электроэнергии (например, на привод электродвигателей насосов различного назначения). Эту часть потерь называют собственными нуждами.

Для нормальной работы ТЭС, кроме «сырья» (топливо, охлаждающая вода, воздух) требуется масса других материалов: масло для работы систем смазки, регулирования и защиты турбин, реагенты (смолы) для очистки рабочего тела, многочисленные ремонтные материалы.

Наконец, мощные ТЭС обслуживаются большим количеством персонала, который обеспечивает текущую эксплуатацию, техническое обслуживание оборудования, анализ технико-экономических показателей, снабжение, управление и т.д. Ориентировочно можно считать, что на 1 МВт установленной мощности требуется 1 персона и, следовательно, персонал мощной ТЭС составляет несколько тысяч человек. Любая конденсационная паротурбинная электростанция включает в себя четыре обязательных элемента:

- энергетический котел, или просто котел, в который подводится питательная вода под большим давлением, топливо и атмосферный воздух для

горения. В топке котла идет процесс горения – химическая энергия топлива превращается в тепловую и лучистую энергию. Питательная вода протекает по трубной системе, расположенной внутри котла. Сгорающее топливо является мощным источником теплоты, которая передается питательной воде. Последняя нагревается до температуры кипения и испаряется. Получаемый пар в этом же котле перегревается сверх температуры кипения. Этот пар с температурой 540°C и давлением 13– 24 МПа по одному или нескольким трубопроводам подается в паровую турбину;

- турбоагрегат, состоящий из паровой турбины, электрогенератора и возбuditеля. Паровая турбина, в которой пар расширяется до очень низкого давления (примерно в 20 раз меньше атмосферного), преобразует потенциальную энергию сжатого и нагретого до высокой температуры пара в кинетическую энергию вращения ротора турбины. Турбина приводит электрогенератор, преобразующий кинетическую энергию вращения ротора генератора в электрический ток. Электрогенератор состоит из статора, в электрических обмотках которого генерируется ток, и ротора, представляющего собой вращающийся электромагнит, питание которого осуществляется от возбuditеля;

- конденсатор служит для конденсации пара, поступающего из турбины, и создания глубокого разрежения. Это позволяет очень существенно сократить затрату энергии на последующее сжатие образовавшейся воды и одновременно увеличить работоспособность пара, т.е. получить большую мощность от пара, выработанного котлом;

- питательный насос для подачи питательной воды в котел и создания высокого давления перед турбиной.

Таким образом, в ПТУ над рабочим телом совершается непрерывный цикл преобразования химической энергии сжигаемого топлива в электрическую энергию.

Кроме перечисленных элементов, реальная ПТУ дополнительно содержит большое число насосов, теплообменников и других аппаратов, необходимых для повышения ее эффективности. Технологический процесс производства электроэнергии на ТЭС, работающей на газе, представлен на рис. 3.2.

Основными элементами рассматриваемой электростанции (рис.3.2) являются котельная установка, производящая пар высоких параметров; турбинная или паротурбинная установка, преобразующая теплоту пара в механическую энергию вращения ротора турбоагрегата, и электрические устройства (электрогенератор, трансформатор и т.д.), обеспечивающие выработку электроэнергии.

Основным элементом котельной установки является котел. Газ для работы котла подается от газораспределительной станции, подключенной к магистральному газопроводу (на рисунке не показан), к газораспределительному пункту (ГРП) 1. Здесь его давление снижается до нескольких атмосфер и он подается к горелкам 2, расположенным в поде котла (такие горелки называются подовыми).

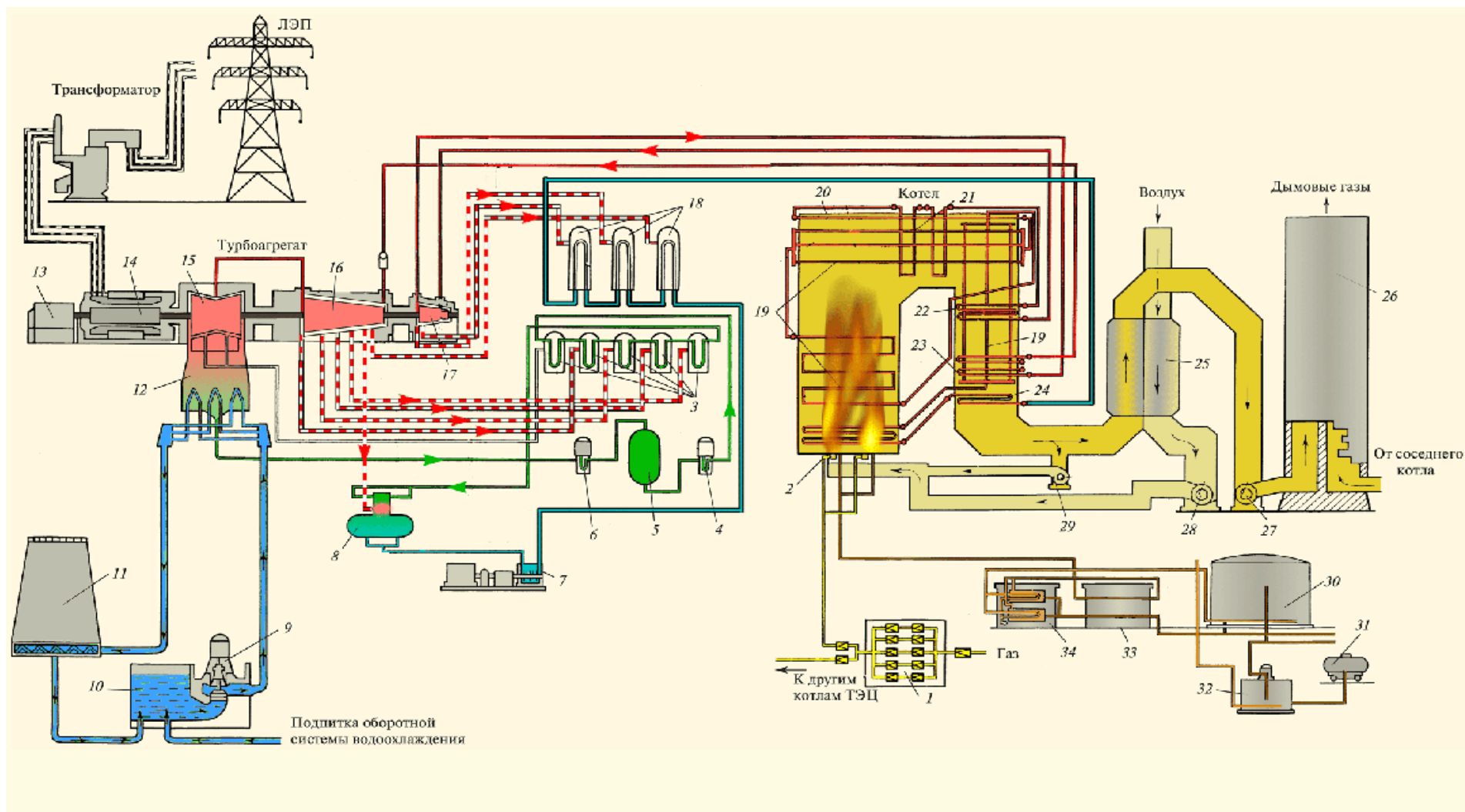


Рис. 3.2. Технологический процесс производства электроэнергии на ТЭС, работающей на газе

Собственно котел представляет собой П-образную конструкцию с газоходами прямоугольного сечения. Левая ее часть называется топкой. Внутренняя часть топки свободна, и в ней происходит горение топлива, в данном случае газа. Для этого к горелкам специальным дутьевым вентилятором 28 непрерывно подается горячий воздух, нагреваемый в воздухоподогревателе 25. На рис. 3.2 показан так называемый вращающийся воздухоподогреватель, теплоаккумулирующая набивка которого на первой половине оборота обогревается уходящими дымовыми газами, а на второй половине оборота она нагревает поступающий из атмосферы воздух. Для повышения температуры воздуха используется рециркуляция: часть дымовых газов, уходящих из котла, специальным вентилятором рециркуляции 29 подается к основному воздуху и смешивается с ним. Горячий воздух смешивается с газом и через горелки котла подается в его топку – камеру, в которой происходит горение топлива. При горении образуется факел, представляющий собой мощный источник лучистой энергии. Таким образом, при горении топлива его химическая энергия превращается в тепловую и лучистую энергию факела.

Стены топки облицованы экранами 19 – трубами, к которым подается питательная вода из экономайзера 24. На схеме изображен так называемый прямоточный котел, в экранах которого питательная вода, проходя трубную систему котла только 1 раз, нагревается и испаряется, превращаясь в сухой насыщенный пар. Широкое распространение получили барабанные котлы, в экранах которых осуществляется многократная циркуляция питательной воды, а отделение пара от котловой воды происходит в барабане.

Пространство за топкой котла достаточно густо заполнено трубами, внутри которых движется пар или вода. Снаружи эти трубы омываются горячими дымовыми газами, постепенно остывающими при движении к дымовой трубе 26.

Сухой насыщенный пар поступает в основной пароперегреватель, состоящий из потолочного 20, ширмового 21 и конвективного 22 элементов. В основном пароперегревателе повышается его температура и, следовательно, потенциальная энергия. Полученный на выходе из конвективного пароперегревателя пар высоких параметров покидает котел и поступает по паропроводу к паровой турбине.

Мощная паровая турбина обычно состоит из нескольких как бы отдельных турбин – цилиндров.

К первому цилиндру – цилиндру высокого давления (ЦВД) 17 пар подводится прямо из котла, и поэтому он имеет высокие параметры (для турбин СКД – 23,5 МПа, 540 °С, т.е. 240 ат/540 °С). На выходе из ЦВД давление пара составляет 3–3,5 МПа (30–35 ат), а температура – 300–340 °С. Если бы пар продолжал расширяться в турбине дальше от этих параметров до давления в конденсаторе, то он стал бы настолько влажным, что длительная работа турбины была бы невозможной из-за эрозионного износа его деталей в последнем цилиндре. Поэтому из ЦВД относительно холодный пар возвращается обратно в котел в так называемый промежуточный

пароперегреватель 23. В нем пар попадает снова под воздействие горячих газов котла, его температура повышается до исходной (540 °С). Полученный пар направляется в цилиндр среднего давления (ЦСД) 16. После расширения в ЦСД до давления 0,2–0,3 МПа (2–3 ат) пар поступает в один или несколько одинаковых цилиндров низкого давления (ЦНД) 15.

Таким образом, расширяясь в турбине, пар вращает ее ротор, соединенный с ротором электрического генератора 14, в статорных обмотках которого образуется электрический ток. Трансформатор повышает его напряжение для уменьшения потерь в линиях электропередачи, передает часть выработанной энергии на питание собственных нужд ТЭС, а остальную электроэнергию отпускает в энергосистему.

И котел, и турбина могут работать только при очень высоком качестве питательной воды и пара, допускающем лишь ничтожные примеси других веществ. Кроме того, расходы пара огромны (например, в энергоблоке 1200 МВт за 1 с испаряется, проходит через турбину и конденсируется более 1 т. воды). Поэтому нормальная работа энергоблока возможна только при создании замкнутого цикла циркуляции рабочего тела высокой чистоты.

Пар, покидающий ЦНД турбины, поступает в конденсатор 12 – теплообменник, по трубкам которого непрерывно протекает охлаждающая вода, подаваемая циркуляционным насосом 9 из реки, водохранилища или специального охладительного устройства (градирни).

Градирня – это железобетонная пустотелая вытяжная башня (рис. 3.3) высотой до 150 м и выходным диаметром 40–70 м, которая создает самотягу для воздуха, поступающего снизу через воздухо-направляющие щиты.

Внутри градирни на высоте 10–20 м устанавливают оросительное (разбрызгивающее устройство). Воздух, движущийся вверх, заставляет часть капель (примерно 1,5–2 %) испаряться, за счет чего охлаждается вода, поступающая из конденсатора и нагретая в нем. Охлажденная вода собирается внизу в бассейне, перетекает в аванкамеру 10, и оттуда циркуляционным насосом 9 она подается в конденсатор 12 (рис.3.2).

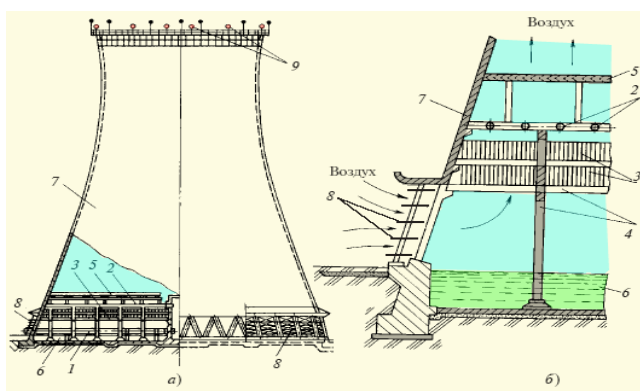


Рис. 3.3. Устройство градирни с естественной тягой

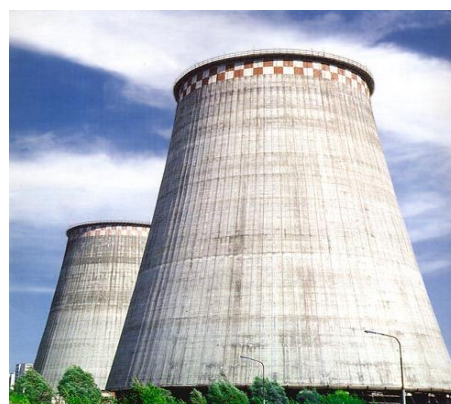


Рис. 3.4. Внешний вид башенной градирни

Наряду с оборотной, используют прямоточное водоснабжение, при

котором охлаждающая вода поступает в конденсатор из реки и сбрасывается в нее ниже по течению. Пар, поступающий из турбины в межтрубное пространство конденсатора, конденсируется и стекает вниз; образующийся конденсат конденсатным насосом 6 подается через группу регенеративных подогревателей низкого давления (ПНД) 3 в деаэратор 8. В ПНД температура конденсата повышается за счет теплоты конденсации пара, отбираемого из турбины. Это позволяет уменьшить расход топлива в котле и повысить экономичность электростанции. В деаэраторе 8 происходит деаэрация – удаление из конденсата растворенных в нем газов, нарушающих работу котла. Одновременно бак деаэратора представляет собой емкость для питательной воды котла.

Из деаэратора питательная вода питательным насосом 7, приводимым в действие электродвигателем или специальной паровой турбиной, подается в группу подогревателей высокого давления (ПВД).

Регенеративный подогрев конденсата в ПНД и ПВД – это основной и очень выгодный способ повышения КПД ТЭС. Пар, который расширился в турбине от входа до трубопровода отбора, выработал определенную мощность, а поступив в регенеративный подогреватель, передал свое тепло конденсации питательной воде (а не охлаждающей!), повысив ее температуру и тем самым сэкономив расход топлива в котле. Температура питательной воды котла за ПВД, т.е. перед поступлением в котел, составляет в зависимости от начальных параметров 240–280°C. Таким образом замыкается технологический пароводяной цикл преобразования химической энергии топлива в механическую энергию вращения ротора турбоагрегата.

3.2. Гидроэнергетика (ГЭС, ГАЭС)

Электростанции составляют на сегодня основу той части энергетики, которая использует возобновляемые источники энергии. За почти столетнюю историю гидроэнергетики накоплен огромный опыт строительства гидравлических электрических станций на горных и равнинных реках, на реках с гигантским водосбросом и на маленьких речках, а сама гидроэнергетика отнесена к числу наиболее значимых достижений XX века.

В настоящее время в мире используется около 30 % экономически эффективного гидроэнергетического потенциала. Удельный вес гидроэнергетики в общем производстве электроэнергии достаточно высок во многих странах: в Норвегии и Бразилии этот показатель выше 90 %, от 50 до 80 % – в Канаде и Венесуэле, около 20 % – в Индии, Египте, Италии, Китае.

Гидроэнергетический потенциал России составляет 2900 млрд кВт·ч/г. Потенциал крупных и средних рек оценивается в 2400 млрд кВт·ч/г. Технически достижимый уровень этого потенциала – 1670 млрд кВт·ч/г. По экономическому гидроэнергетическому потенциалу – 850 млрд кВт·ч/г. (или по топливному эквиваленту 300 млрд т усл. т. в год Россия занимает второе место после Китая. По установленной мощности гидроагрегатов на ГЭС и выработке электроэнергии Россия находится на пятом месте после США,

Китая, Канады и Бразилии, по мощности гидроагрегатов на строящихся ГЭС – на четвертом месте после Китая, Бразилии и Индии.

В России в настоящее время освоено около 20 % имеющегося гидроэнергетического потенциала: на Европейскую часть приходится 50 %, на Сибирь – 19 %, на Дальний Восток – 4% освоенных гидроэнергетических мощностей страны. В 2000 г. на электростанциях России было выработано 857 млрд кВт·ч электроэнергии, в том числе на тепловых электростанциях – 549 млрд кВт·ч, на ГЭС – 157,5 млрд кВт·ч, на АЭС – 103,5 млрд кВт·ч [9].

Гидроэлектростанции (ГЭС) являются весьма эффективными источниками энергии. Они используют механическую энергию падающей воды. Гидроэнергетическая установка (ГЭУ) предназначена для преобразования механической энергии водного потока в электрическую энергию или, наоборот.

Гидроэнергетическая установка состоит из гидротехнических сооружений, энергетического и механического оборудования. Необходимый для этого напор воды создается плотинами, которые воздвигают на реках и каналах. Гидравлические установки позволяют сокращать перевозки и экономить минеральное топливо (на 1 кВт·ч расходуется примерно 0,4 т угля). Они достаточно просты в управлении и обладают очень высоким КПД (более 80%). Себестоимость этого типа установок в 5-6 раз ниже, чем ТЭС, и они требуют намного меньше обслуживающего персонала.

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

- гидроэлектростанции (ГЭС);
- насосные станции (НС);
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);
- комбинированные электростанции ГЭС– ГАЭС;
- приливные электростанции (ПЭС).

Их размещение во многом зависит от природных условий, например, характера и режима реки. В горных районах обычно возводятся высоконапорные ГЭС, на равнинных реках действуют установки с меньшим напором, но большим расходом воды. Гидростроительство в условиях равнин сложнее из-за преобладания мягких оснований под плотинами и необходимости иметь крупные водохранилища для регуляции стока. Сооружение ГЭС на равнинах вызывает затопление прилегающих территорий, что приносит значительный материальный ущерб.

Неоспоримыми преимуществами гидроэнергетики являются также низкая себестоимость производства электроэнергии, мобильность мощности для покрытия пиковой части графика нагрузки, инфляционная устойчивость, экологическая чистота производства. Себестоимость электроэнергии на ГЭС в России в 2000 г. в среднем была почти в 6 раз ниже, чем на ГРЭС. Сегодня накопленные знания позволяют больше внимания уделять экологическим факторам, в частности тем положительным эффектам, которые могут быть достигнуты при сооружении объекта гидроэнергетики. Всесторонний анализ дает возможность более полно оценить влияние ГЭС на окружающую среду.

Территория, с которой стекает вода в реку, называется водосборным

бассейном данной реки (рис. 3.5). Линия – а, б, в, г, д, проходящая по повышенным местам и отделяющая друг от друга соседние бассейны, называется водораздельной линией или водоразделителем.

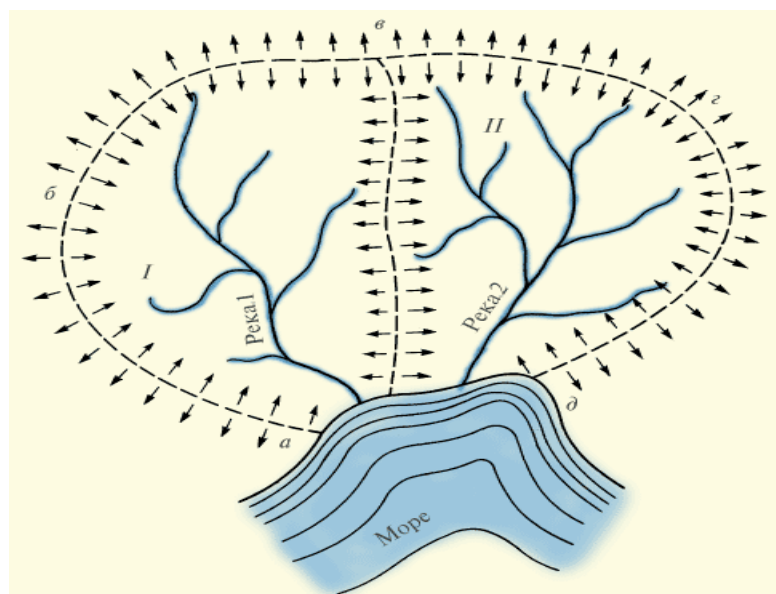


Рис. 3.5. Водосборы (бассейны) рек

Среднегодовой сток всех рек мира составляет 32 тыс. км³; в таблице 3.1 приведены данные о речном стоке отдельных стран мира.

Таблица 3.1. Речной сток отдельных стран мира

Страна	Площадь территории, млн км ²	Суммарный средний многолетний объем стока, км ³ /год	Удельная водность в среднем за год с 1 км ² , л/с
Россия	17,075	4000	7,4
Бразилия	8,51	5300	11,9
США	9,36	2850	9,8
Китай	9,90	2600	8,3
Канада	9,98	1500	24,0
Норвегия	0,32	368	35,8
Франция	0,551	343	19,7
Югославия	0,256	123	15,2
Польша	0,312	58	5,9

Запасы поверхностного стока по территории России распределены неравномерно, что весьма неблагоприятно для народного хозяйства, в том числе и для энергетики. Более 80 % речного стока российских рек приходится на еще мало освоенные территории бассейнов Северного Ледовитого и Тихого океанов. Особенностью стока реки является его неравномерное распределение как по годам, так и в течение года.

Многолетняя неравномерность стока неблагоприятна для всех отраслей народного хозяйства и прежде всего для энергетики. Различают: многоводные, средневодные и маловодные годы. В маловодные годы обычно значительно снижается выработка энергии на гидроэлектростанциях.

Неравномерность стока в течение года неблагоприятна для энергетики. Для большинства рек России маловодный период наблюдается зимой, когда потребность в электроэнергии наибольшая.

Гидроэлектростанция – это предприятие, на котором гидравлическая энергия преобразуется в электрическую.

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются плотина, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т.е. напор, и здание ГЭС, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование. В случае потребности строятся водосбросные и судоходные сооружения, водозаборы для систем орошения и водоснабжения, рыбопропускные сооружения и т.п.

Вода под действием тяжести по водоводам движется из верхнего бьефа в нижний, вращая рабочее колесо турбины (рис. 3.6). Гидравлическая турбина соединена валом с ротором генератора. Турбина и генератор вместе образуют гидроагрегат. В турбине гидравлическая энергия преобразуется в механическую энергию вращения на валу агрегата, а генератор преобразует эту энергию в электрическую. Возможно создание на реке каскадов ГЭС. В России построены и успешно эксплуатируются Волжский, Камский, Ангарский, Енисейский и другие каскады ГЭС.

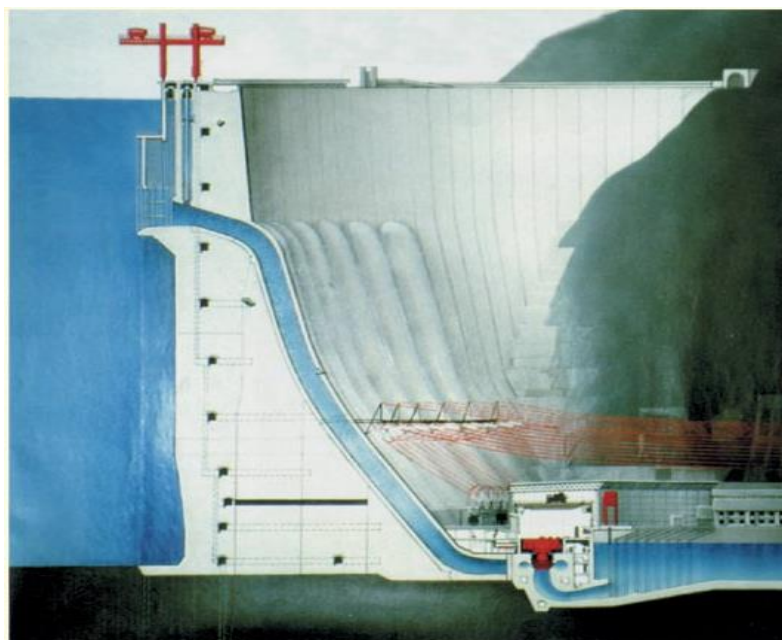


Рис. 3.6. Разрез по станционной плотине и зданию ГЭС

Среди типов гидроэнергетических установок ГЭС являются наиболее крупными. В России построена на Енисее Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С.Непорожнего (рис. 3.7) мощностью 6,4 млн. кВт.

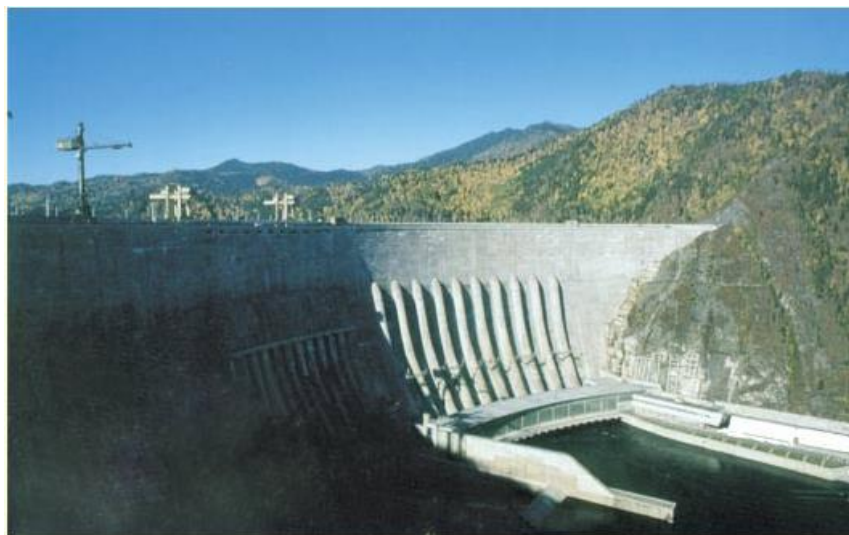


Рис. 3.7. Общий вид Саяно –Шушенской ГЭС имени П.С. Непорожного

Все построенные ГЭС, особенно обладающие крупными водохранилищами, играют решающую роль в обеспечении надежности, устойчивости и живучести Единой энергетической системы России.

Большой интерес в мире и в России в настоящее время вызывает возможность создания **малых ГЭС**.

В настоящее время принята следующая классификация ГЭС по их мощности: станции мощностью до 100 кВт – микрогэс, от 100 до 1000 кВт – мини-ГЭС, от 1000 до 10000 кВт – малые ГЭС и свыше 10000 кВт – крупные гидроэлектростанции.

Основные направления развития малой гидроэнергетики в России на ближайшие годы следующие: строительство малых ГЭС при сооружаемых комплексных гидроузлах; модернизация и восстановление ранее существующих малых ГЭС, сооружение малых ГЭС на небольших реках, возведение малых ГЭС на существующих водохранилищах, на каналах, трубопроводах подвода и отвода воды на объектах различного хозяйственного назначения.

Малые ГЭС (мощностью до 30 МВт) могут создаваться в короткие сроки с использованием унифицированных гидроагрегатов и строительных конструкций с высоким уровнем автоматизации систем управления. Экономическая эффективность их использования существенно возрастает при комплексном использовании малых водохранилищ (рекреация, рыбоводство, водозаборы для систем орошения и водоснабжения и т.п.).

Насосная станция предназначена для перекачки воды с низких отметок на высокие и транспортировки воды в удаленные пункты.

На насосной станции устанавливаются насосные агрегаты, состоящие из насоса и двигателя. Насосная станция является потребителем электрической энергии. Они используются для водоснабжения тепловых и атомных электростанций, коммунально-бытового и промышленного

водоснабжения, в ирригационных системах, судоходных каналах, пересекающих водоразделы, и т.п.

Суммарное потребление электроэнергии также неравномерно. В утренние и вечерние часы коммунальная нагрузка наибольшая. График нагрузки некоторого района или города, представляющий собой изменение во времени суммарной мощности всех потребителей, имеет провалы и максимумы. Это означает, что в одни часы суток потребуется большая суммарная мощность генераторов, а в другие часы часть генераторов или электростанций должна быть отключена, или должна работать с уменьшенной нагрузкой. Количество электростанций и их мощность определяются относительно непродолжительным максимумом нагрузки потребителей. Это приводит к недоиспользованию оборудования и к удорожанию энергосистем. Так, снижение числа часов использования установленной мощности крупных ТЭС с 6000 до 4000 ч в год приводит к возрастанию себестоимости вырабатываемой энергии на 30–35 %.

Энергетики по возможности принимают меры по выравниванию графика суммарной нагрузки потребителей. Так, вводится дифференцированная стоимость электроэнергии в зависимости от того, в какой период времени она потребляется. Если электроэнергия потребляется в моменты максимумов нагрузки энергосистемы, то и стоимость ее устанавливается выше. Это повышает заинтересованность потребителей в таких перестройках своей работы, которые бы способствовали уменьшению электрической нагрузки в моменты максимумов потребления в энергосистеме. В целом возможности выравнивания потребления электроэнергии невелики. Следовательно, электроэнергетические системы должны быть достаточно маневренными, способными быстро изменять мощность электростанций. В этом случае успешно используются гидроаккумулирующие электростанции.

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) предназначена для перераспределения во времени энергии и мощности в энергосистеме. В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. Она за счет потребляемой энергии перекачивает воду из нижнего водохранилища в верхнее и создает запасы гидроэнергии. В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как гидроэлектростанция. Вода из верхнего водохранилища пропускается через турбины в нижнее водохранилище, и ГАЭС вырабатывает и выдает электроэнергию в энергосистему. ГАЭС потребляет дешевую электроэнергию, а выдает более дорогую энергию в период пика нагрузки, заполняет провалы нагрузки и снижает пики нагрузки в энергосистеме, позволяет работать агрегатам атомных и тепловых электростанций в наиболее экономичном и безопасном равномерном режиме, резко снижая при этом удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии в энергосистеме.

ГАЭС мало зависят от естественных колебаний речного стока и, в отличие от ТЭС, их строительство вызывает меньшее затопление земель.

Мощность ГАЭС зависит от расхода воды и напора. При ограниченном

объеме верхнего бассейна увеличение мощности может быть получено за счет большого напора. Поэтому горные районы удобны для сооружения ГАЭС. Например, огромную величину напора (около 1800 м) имеет ГАЭС Рейссек в Австрии. Там, где это возможно, стремятся использовать в качестве верхнего бассейна естественные водоемы. Например, в Англии для ГАЭС Лох-Ламанд используется высокогорный пруд.

К наиболее крупным ГАЭС относятся Лорх-на-Рейне (ФРГ) – 2400 МВт, Корнуэлл (США) – 2000 МВт, Лох-Ломонд (Англия) – 1200 МВт. В России построена Загорская ГАЭС (1,2 млн. кВт) и строится Центральная ГАЭС (3,6 млн. кВт).

Реконструкция ГЭС в ГЭС–ГАЭС, как показывает зарубежный опыт, весьма эффективна в энергосистемах, где мала доля ГЭС и ГАЭС.

Самые мощные ГЭС сооружены на Волге, Каме, Ангаре, Енисее, Оби и Иртыше.

Гидроузлы – соединения нескольких сооружений по использованию вод реки для производства электроэнергии, судоходства, водоснабжения и орошения земель – также широко распространены. Каскад гидроузлов сооружен на Волге.

Каскад гидроэлектростанций представляет собой группу ГЭС, расположенных ступенями по течению водного потока с целью полного последовательного использования его энергии. Установки в каскаде обычно связаны общностью режима, при котором водохранилища верхних ступеней регулирующие влияют на водохранилища нижних ступеней.

В составе каскада, созданного на Волге, действуют такие гидроэлектростанции, как: Ивановская, Угличская, Рыбинская, Городецкая, Чебоксарская, Волжская (вблизи Самары), Саратовская (1,4 млн. кВт), Волжская (вблизи Волгограда).

Каскады гидроэлектростанций на реках европейской части страны находятся в районах с огромным промышленным потенциалом, а их значение состоит в том, чтобы свести к минимуму дефицит электроэнергии. Но массовое строительство ГЭС на равнинных реках повлекло за собой негативные последствия, связанные с возникновением крупных водохранилищ и затоплением ценных сельскохозяйственных земель, нарушением экологического равновесия, переносом населенных пунктов.

На основе ГЭС восточных районов формируются промышленные комплексы, специализирующиеся на энергоемких производствах.

В Сибири сосредоточены наиболее эффективные по технико-экономическим показателям ресурсы. Одним из примеров этого может служить Ангаро-Енисейский каскад, в состав которого входят самые крупные гидроэлектростанции страны: Саяно-Шушенская (6,4 млн. кВт), Красноярская (6 млн. кВт), Братская (4,6 млн. кВт), Усть-Илимская (4,3 млн. кВт). Строится Богучановская ГЭС (4 млн. кВт). Общая мощность каскада в настоящее время – более 20 млн. кВт.

3.3. Атомная энергетика, атомные электрические станции (АЭС)

История атомной энергетики охватывает период менее полувека, и к настоящему времени доля выработки электроэнергии на АЭС во многих странах достигала достаточно больших значений.

Атомные электростанции (АЭС) в качестве топлива используют уран. Он легко транспортабелен, что исключает зависимость АЭС от топливно-энергетического фактора. Установки ориентированы на потребителей и расположены в районах с ограниченными энергетическими ресурсами или напряженным топливно-энергетическим балансом. Количество теплоты, полученное при расходе 1 кг урана (U^{235}), равно получаемому при сжигании 2,5 т лучшего угля.

В настоящее время в мире работает 436 АЭС. Установленная мощность АЭС в США составляет 90 млн. кВт, в России – более 22 млн. кВт.

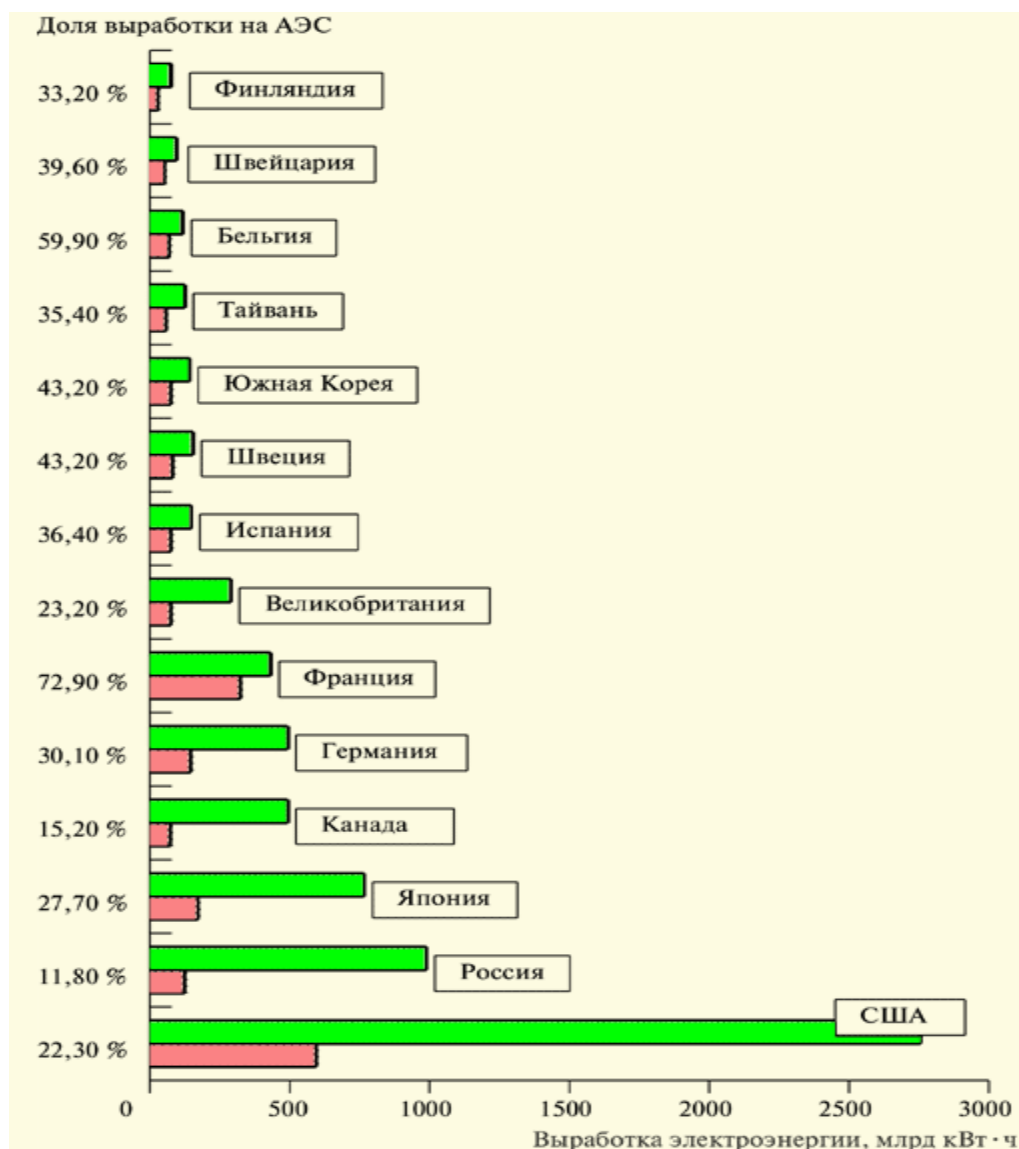


Рис. 3.8. Доля выработки электроэнергии на АЭС в общей выработке в некоторых странах мира в 1992 г.

На рис. 3.8 показаны гистограммы абсолютной суммарной выработки электроэнергии, а также доли выработки на АЭС для различных стран мира. Хотя эти данные относятся к 1992 г., они отражают с достаточной точностью положение и в настоящее время. Определенные отклонения могут быть только для небольших стран, где ввод даже одного энергоблока на АЭС мощностью 1 млн. кВт может существенно изменить ситуацию.

Главенствующее положение по доле выработки электроэнергии на АЭС занимает Франция, а по абсолютному производству электроэнергии на АЭС она уступает лишь США.

Россия вырабатывала на АЭС в 1992 г. около 12 % электроэнергии, сейчас эта цифра достигла примерно 15 %. Почти все АЭС России сконцентрированы в европейской части, где имеется серьезный дефицит органического топлива. И если оценить долю выработки АЭС для европейской части России, то она достигает примерно 30 %. Еще большее значение АЭС имеют в некоторых регионах: в Северо-Западном регионе России они обеспечивают 40 % энергопотребления, а в Центрально-Черноземном – более 60 %.

В настоящее время в России работает 10 АЭС, структура установленной мощности которых приведена в таблице 3.2

Таблица 3.2. Структура АЭС России

АЭС	Суммарная мощность, МВт	Структура установленной мощности	Тип реактора
Балаковская	4000	4 энергоблока по 1000 МВт	ВВЭР-1000
Нововоронежская	1880	2 энергоблока по 440 МВт 1 энергоблок 1000 МВт	ВВЭР-440 ВВЭР-1000
Кольская	1760	4 энергоблока по 440 МВт	ВВЭР-440
Ростовская	1000	1 энергоблок 1000 МВт	ВВЭР-1000
Калининская	2000	2 энергоблока по 1000 МВт	ВВЭР-1000
Ленинградская	4000	4 энергоблока по 1000 МВт	РБМК-1000
Смоленская	3000	3 энергоблока по 1000 МВт	РБМК-1000
Курская	4000	4 энергоблока по 1000 МВт	РБМК-1000
Билибинская	48	4 энергоблока по 12 МВт	ЭГП-6
Белоярская	600	1 энергоблок 600 МВт	БН-600

Главное отличие АЭС от ТЭС состоит в использовании ядерного горючего вместо органического топлива. Ядерное горючее получают из природного урана, который добывают либо в шахтах (Франция, Нигер, ЮАР), либо в открытых карьерах (Австралия, Намибия), либо способом

подземного выщелачивания (США, Канада, Россия). Природный уран – это смесь в основном неделящегося изотопа урана ^{238}U (более 99 %) и делящегося изотопа ^{235}U (0,71 %), который соответственно и представляет собой ядерное горючее. Для работы реакторов АЭС требуется обогащение урана. Для этого природный уран направляется на обогатительный завод, после переработки на котором 90 % природного обедненного урана направляется на хранение, а 10 % приобретают обогащение до нескольких процентов (3,3– 4,4 % для энергетических реакторов).

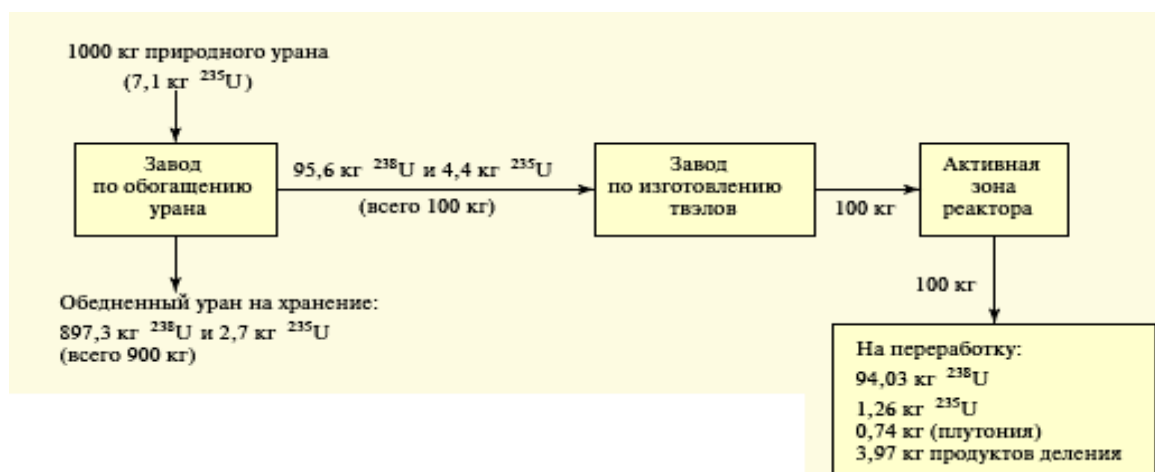


Рис. 3.9. Превращения ядерного горючего в топливном цикле (для водо-водяного реактора ВВЭР -1000)

Обогащенный уран (точнее – диоксид урана) направляется на завод, изготавливающий твэлы – тепловыделяющие элементы. Из диоксида урана изготавливают цилиндрические таблетки диаметром около 9 мм и высотой 15– 30 мм. Эти таблетки помещают в герметичные тонкостенные циркониевые трубки длиной почти в 4 м. Это и есть твэлы. Твэлы собирают в тепловыделяющие сборки (ТВС) по несколько сотен штук, которые удобно помещать и извлекать из активной зоны реактора.

Все дальнейшие процессы «горения» – расщепления ядер ^{235}U с образованием осколков деления, радиоактивных газов, распуханием таблеток и т.д. происходят внутри трубки твэла, герметичность которой должна быть гарантирована.

После постепенного расщепления ^{235}U и уменьшения его концентрации до 1,26 %, когда мощность реактора существенно уменьшается, ТВС извлекают из реактора, некоторое время хранят в бассейне выдержки, а затем направляют на радиохимический завод для переработки.

Таким образом, в отличие от ТЭС, где топливо сжигается полностью (по крайней мере, к этому стремятся), на АЭС добиться 100 % расщепления ядерного горючего невозможно. Отсюда – невозможность оценивать КПД АЭС с помощью удельного расхода условного топлива. Здесь же подчеркнем, что АЭС не использует воздух для окисления топлива, отсутствуют какие-либо выбросы золы, оксидов серы, азота, углерода и так далее, характерных для ТЭС. Мало того, даже радиоактивный фон вблизи

АЭС меньше, чем у ТЭС (этот фон создается элементами, содержащимися в золе). Результатом деления ядер расщепляющихся элементов в ядерном реакторе является выделение огромного количества тепла, которое используется для получения пара. Принцип работы АЭС приведен на рис. 3.10. Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передается теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

Компенсатор давления представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, которая служит для выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счёт теплового расширения теплоносителя. Давление в 1-м контуре может достигать до 160 атмосфер (ВВЭР-1000).

Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя могут применяться также расплавы металлов: натрий, свинец, эвтектический сплав свинца с висмутом и др. Использование жидкометаллических теплоносителей позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора (в отличие от водяного контура, давление в жидкометаллическом контуре не превышает атмосферное), избавиться от компенсатора давления.

В случае невозможности использования большого количества воды для конденсации пара, вместо использования водохранилища вода может охлаждаться в специальных охлаждающих башнях (градирнях), которые благодаря своим размерам обычно являются самой заметной частью атомной электростанции.

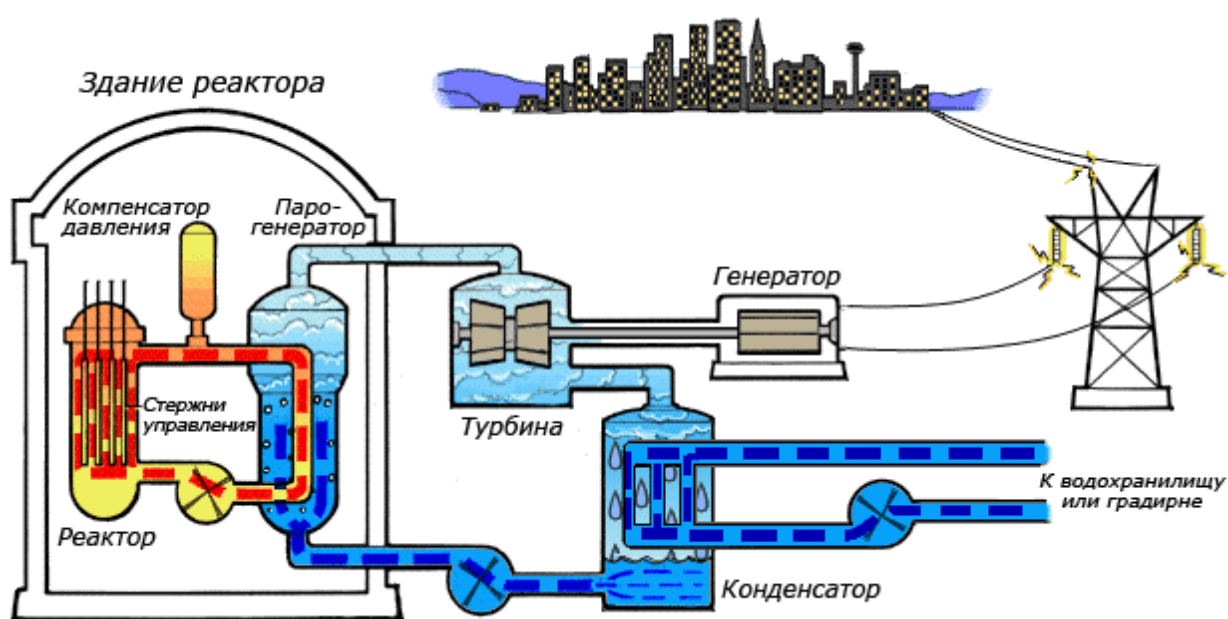


Рис. 3.10. Принцип работы атомной электростанции (ВВЭР)

Таким образом, ядерный реактор АЭС – это аналог парового котла в ПТУ ТЭС. Сама ПТУ АЭС принципиально не отличается от ПТУ ТЭС: она также содержит паровую турбину, конденсатор, систему регенерации, питательный насос, конденсатоочистку. Так же, как и ТЭС, АЭС потребляет громадное количество воды для охлаждения конденсаторов.

Принципиальная схема ядерного реактора на так называемых тепловых (медленных) нейтронах показана на рис. 3.11. Перед тем, как перейти к описанию его работы, напомним, что расщепление ядра делящегося элемента происходит вследствие попадания в него нейтрона. При этом возникают движущиеся с большой скоростью осколки деления (ядра других элементов) и 2–3 новых нейтрона. Последние способны вызывать деление новых ядер и характер дальнейшего процесса будет зависеть от характера изменения баланса нейтронов. Если из образующихся после каждого акта расщепления ядра 2–3 нейтронов, 1–2 нейтрона будут «погибать» (т.е. не вызывать акта следующего деления), то оставшийся и расщепивший следующее ядро 1 нейтрон будет постоянно «поддерживать» их существование.

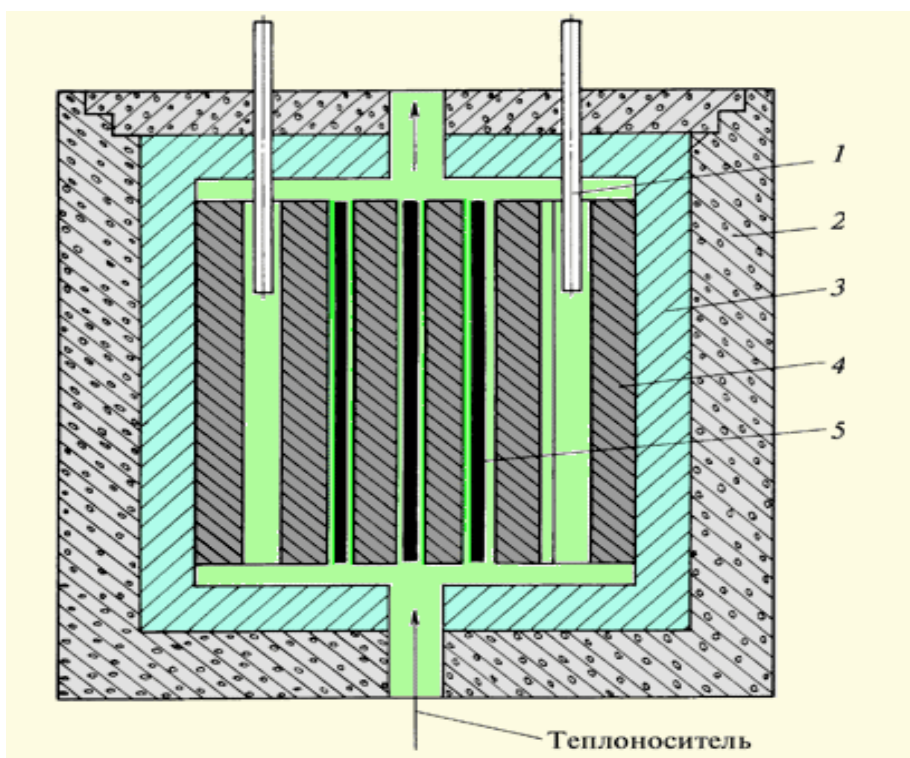


Рис.3.11. Принципиальная схема ядерного реактора
1 – управляющие стержни; 2 – защита; 3 – отражатель;
4 – замедлитель; 5 – ядерное топливо

Если, например, в некоторый начальный момент существовало 100 нейтронов, то при описанных выше условиях этот уровень нейтронов будет поддерживаться постоянным, и реакция деления будет носить стационарный характер. Если число нейтронов будет увеличиваться, то произойдет

тепловой взрыв, если уменьшаться, то реакция прекратится (или перейдет на меньший уровень тепловыделения). Чем выше стационарный уровень числа существующих нейтронов, тем больше мощность реактора.

Образующиеся в результате деления нейтроны могут быть быстрыми (т.е. иметь большую скорость) и медленными (тепловыми). Вероятность захвата медленного нейтрона ядром и его последующего расщепления больше, чем быстрого нейтрона. Поэтому твэлы окружают замедлителем (обычно это вода, графитовая кладка и другие материалы). Быстрые нейтроны замедляются, и поэтому рассматриваемые ниже энергетические реакторы относятся к реакторам на медленных (тепловых) нейтронах.

Для уменьшения утечки нейтронов из реактора его снабжают отражателем. Обычно он делается из таких же материалов как и замедлитель. Изменяют мощность реактора с помощью стержней системы регулирования и защиты (СУЗ), выполненных из материалов хорошо поглощающих нейтроны. При опускании стержней поглощение нейтронов увеличивается, общее число нейтронов уменьшается, и мощность реактора также уменьшается вплоть до полной остановки.

Реактор окружается биологической защитой – кладкой из тяжелого бетона, предохраняющей персонал от воздействия медленных и быстрых нейтронов и ионизирующего излучения.

Количество стационарно существующих нейтронов определяет число образующихся осколков деления ядер, которые разлетаются в разные стороны с огромной скоростью. Торможение осколков приводит к разогреву топлива и стенок твэлов. Для снятия этого тепла в реактор подается теплоноситель, нагрев которого и представляет цель работы ядерного реактора. В наиболее распространенных типах ядерных реакторов в качестве теплоносителя используют обычную воду, естественно, высокого качества.

Практически вся мировая атомная энергетика базируется на **корпусных реакторах**. Как следует из самого названия, их главной особенностью является использование для размещения активной зоны толстостенного цилиндрического корпуса.

В свою очередь корпусные реакторы выполняют с водой под давлением (в английской транскрипции PWR – pressed water reactor, в русской ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор), и кипящие (BWR – boiling water reactor). В водо-водяном реакторе циркулирует только вода под высоким давлением. В кипящем реакторе в его корпусе над поверхностью жидкости образуется насыщенный водяной пар, который направляется в паровую турбину. В России реакторы кипящего типа не строят. В корпусных реакторах и теплоносителем, и замедлителем является вода.

Альтернативой корпусным реакторам являются каналные реакторы, которые строили только в Советском Союзе под названием РБМК – реактор большой мощности канальный. Такой реактор представляет собой графитовую кладку с многочисленными каналами, в каждый из которых вставляется как бы небольшой кипящий реактор малого диаметра. Замедлителем в таком реакторе служит графит, а теплоносителем – вода.

В России работает 14 водо-водяных реакторов типа ВВЭР общей мощностью 10640 МВт и 11 канальных графитовых реакторов типа РБМК общей мощностью 11000 МВт. За рубежом реакторов канального типа, аналогичным РБМК, не строят.

Главное преимущество реакторов типа ВВЭР перед РБМК состоит в их большей безопасности. Это определяется тремя причинами:

- реактор ВВЭР принципиально не имеет так называемых положительных обратных связей, т.е. в случае потери теплоносителя и потери охлаждения активной зоны цепная реакция горения ядерного топлива затухает, а не разгоняется, как в РБМК;
- активная зона ВВЭР не содержит горючего вещества (графита), которого в активной зоне РБМК содержится около 2 тыс. т;
- реактор ВВЭР имеет защитную оболочку, не допускающую выхода радиоактивности за пределы АЭС даже при разрушении корпуса реактора; выполнить единый защитный колпак для РБМК невозможно из-за большой разветвленности труб реакторного контура.

Главным преимуществом АЭС перед любыми другими электростанциями является их практическая независимость от источников топлива, т.е. удаленности от месторождений урана и радиохимических заводов. Энергетический эквивалент ядерного топлива в миллионы раз больше, чем органического топлива, и поэтому, в отличие, скажем, от угля, расходы на его перевозку ничтожны. Это особенно важно для европейской части России, где доставка угля из Кузбасса и Сибири слишком дорога. Кроме того, замена выработки электроэнергии на газомазутных (фактически – газовых) ТЭС производством электроэнергии на АЭС – важный способ поддержания экспортных поставок газа в Европу.

Это преимущество трансформируется в другое: для большинства стран, в том числе и России, производство электроэнергии на АЭС не дороже, чем на газомазутных и тем более пылеугольных ТЭС. Достаточно сказать, что сейчас тарифы на закупку электроэнергии АЭС электрическими сетями на 40– 50 % ниже, чем для ГРЭС различного типа. Особенно заметно преимущество АЭС в части стоимости производимой электроэнергии стало заметно в начале 70-х годов, когда разразился энергетический кризис и цены на нефть на мировом рынке возросли в несколько раз. Падение цен на нефть, конечно, автоматически снижает конкурентоспособность АЭС.

Затраты на строительство АЭС находятся примерно на таком же уровне, как и на строительство пылеугольных ТЭС или несколько выше.

К недостаткам АЭС можно отнести трудности, связанные с захоронением ядерных отходов, катастрофические последствия аварий и тепловое загрязнение используемых водоемов.

Тема 4. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

4.1. Приливные и волновые электрические станции

Энергия морских приливов или, как говорят иногда, «лунная энергия» известна человечеству со времен глубокой древности. Этому грандиозному явлению природы, а именно, ритмичному движению морских вод, способствуют силы гравитации Солнца и Луны. Дважды в сутки Солнце и Луна силой тяготения заставляют морскую воду то наступать на берег, то отходить назад. Эта энергия еще в далекие исторические эпохи использовалась для приведения в движение различных механизмов, в особенности мельниц. В Германии с помощью энергии приливной волны орошали поля, в Канаде – пилили дрова. В Англии приливная водоподъемная машина служила в XIX веке для снабжения Лондона водой.

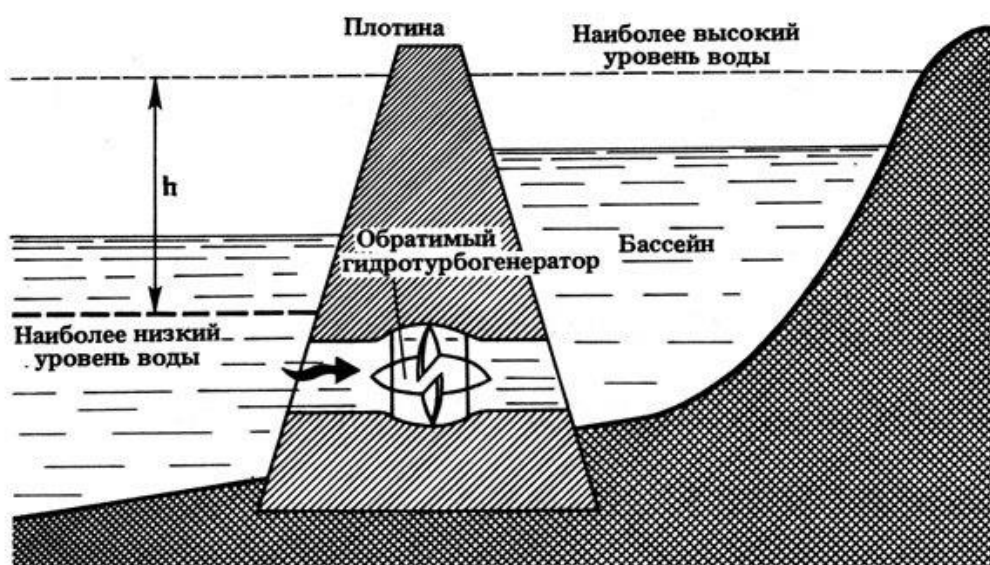


Рис. 4.1. Принцип работы приливной электростанции

Принцип работы приливной электростанции изображен на рис. 4.1. В ходе прилива водой наполняется бассейн приливной электростанции. Движение воды вращает колеса капсульных агрегатов, и электростанция вырабатывает ток. Во время отлива вода, уходя из бассейна в океан, опять вращает рабочие колеса, теперь в обратную сторону. И вновь электростанция снова производит электрический ток, потому что рабочий агрегат обеспечивает одинаково хорошую работу при вращении колеса в любую из сторон. В промежутках между приливом и отливом движение колес останавливается. Какой же выход из этого положения? Чтобы не было перебоев, энергетики связывают приливную электростанцию с другими

станциями. Это могут быть, например, тепловые или атомные электростанции. Получившееся энергетическое кольцо помогает во время пауз переложить нагрузку на соседей по кольцу.

Для хорошей работы электростанции необходимо, чтобы перепад уровней между отливом и приливом составлял более четырех метров. Таким образом с увеличением разницы высот воды увеличивается эффективность работы приливной электростанции. Наиболее подходящим местом для использования энергии приливов необходимо считать такое место на морском побережье, где приливы обычно имеют наибольшую амплитуду, а береговой рельеф позволяет создать большой замкнутый «бассейн».

Хорошим местом для постройки приливной электростанции является узкий морской залив, который отсекается плотиной от океана. В отверстиях плотины размещаются гидротурбины с генераторами. Генератор и турбина заключены в обтекаемую капсулу, которая очень удобна в использовании. Главным достоинством таких капсульных агрегатов является их универсальность. Они способны не только вырабатывать электрическую энергию при движении через них морской воды, но и выполнять функции насосов. При этом производство электроэнергии происходит как в период прилива, так и в период отлива.

ПЭС выгодно отличаются от речных тем, что их работа определяется космическими явлениями и не зависит, как у речных, от многочисленных случайных погодных условий. Однако ПЭС обладают двумя существенными недостатками – неравномерность во времени их работы и большой объем требующихся капиталовложений.

Неравномерность приливной энергии в течение лунных суток и лунного месяца, не позволяет систематически использовать ее в периоды максимального потребления в системах, не предусматривающих комбинированные станции. Неравномерность работы ПЭС можно компенсировать, совместив ее с ГАЭС. В то время, когда имеется избыточная мощность ПЭС, ГАЭС работает в насосном режиме, потребляя эту мощность и перекачивая воду в верхний бассейн. Во время спадов в работе ПЭС, ГАЭС работает в генераторном режиме, выдавая электроэнергию в систему. В техническом отношении такой проект хорош, но дорогостоящ, так как требуется большая установленная мощность электрических машин. ПЭС также может удачно сочетаться с речной ГЭС, имеющей водохранилище. При совместной работе этих станций ГЭС увеличивает свою мощность при спаде мощности ПЭС и ее остановке; в то время как ПЭС работает с достаточно большой мощностью, ГЭС запасает воду в водохранилище. Таким образом, может быть выровнена как суточная, так и сезонная неравномерность работы ПЭС.

ПЭС работают в условиях быстрого изменения напора, поэтому их турбины должны иметь высокие КПД 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. Поворотные лопасти рабочего колеса турбины обеспечивают высокое значение КПД при различных напорах начиная с 0,5м.

Гидроагрегат может работать как в генераторном, так и в насосном 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.

Природные условия России позволяют построить ПЭС с суммарной установленной мощностью около 150 тыс МВт. Многолетние научные исследования и проекты привели к выводу, что заслуживает внимания создание нескольких ПЭС: Лумбовской в Баренцевом море мощностью 320 МВт (в другом варианте 672 МВт); Мезенской в Белом море мощностью 15 200 МВт и выработкой электроэнергии 42 000 ГВт·ч; Тугурской мощностью 6 800 МВт и выработкой электроэнергии 16 200 ГВт·ч; Пенжинской мощностью 21 400 МВт (в другом варианте 87 400 МВт) в Охотском море.

В течение нескольких десятков лет в бывшем СССР велись научные и проектные работы по приливной энергетике. К настоящему времени выполнены внестадийные проработки по Лумбовской ПЭС, Пенжинской ПЭС, материалы технико-экономического обоснования (ТЭО) Тугурской ПЭС.

С 1968 г. работает экспериментальная Кислогубская ПЭС мощностью 400 кВт. Выполнено ТЭО по опытно-промышленной Кольской ПЭС мощностью 40 МВт, которая предназначалась для проведения натурных испытаний и проверки конструктивных решений по капсульному агрегату для мощных Тугурской и Мезенской ПЭС.



Рис. 4.2. Кислогубская ПЭС

За рубежом работают три ПЭС: ПЭС «Ранс» мощностью 240 МВт во Франции (построена в 1967 г., 24 агрегата), ПЭС «Цзянсян» мощностью 3,2 МВт в Китае (пуск шести агрегатов осуществлен в период 1980–1985 гг.) и ПЭС «Аннаполис» мощностью 19,6 МВт в Канаде (построена в 1984 г., 1 агрегат). Кроме того, в Китае построены десятки микро- и мини-ПЭС,

являющиеся элементами комплексов при осуществлении проектов обводнения, осушения, судоходства и т. д.

На Мезенской и Тугурской ПЭС, возможность создания которых до 2015–2020 гг. в принципе полностью исключать нет оснований, предусмотрена установка соответственно 800 и 420 агрегатов.

Единичная мощность агрегатов Мезенской ПЭС 19 МВт. Это капсульные агрегаты с диаметром рабочего колеса турбины 10 м. Режим работы агрегатов – двухсторонний.

Единичная мощность агрегатов Тугурской ПЭС–16,2 МВт. Это капсульные агрегаты с диаметром рабочего колеса 10 м. Режим работы агрегатов – двухсторонний без насосного режима. Подобные типы агрегатов уже разработаны зарубежными фирмами.

Большое количество агрегатов на ПЭС – серьезное препятствие для их сооружения, так как для создания такого числа агрегатов необходимо задействовать всю энергетическую промышленность страны.

В оптимистическом варианте развития приливной энергетики можно рассматривать вопрос о вводе в эксплуатацию до 2015 г. одной из двух ПЭС – Мезенской на Белом море или Тугурской на Охотском море. Учитывая трудности с топливоснабжением электростанций в зонах возможного влияния указанных ПЭС, экономически обе ПЭС могут оказаться приемлемыми как в европейской части страны, так и в Хабаровском и Приморском краях.

В последнее время сделан ряд предложений, касающихся создания волновых электростанций. В Швеции получен патент на изобретение, позволяющее использовать энергию волн морей и крупных озер. Идея, на которой основано изобретение, проста. Если на шест прикрепить пропеллер и ритмично двигать его в воде вниз и вверх, то он будет вращаться. Если прикрепить верхнюю часть шеста к поплавку и заменить движение руки движением колыхающейся волны, то результат будет тот же (рис. 4.3).

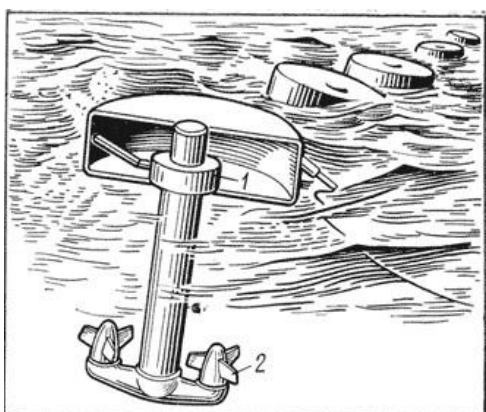


Рис. 4.3. Волновая электростанция

Роль поплавка выполняет огромный плавающий бак с электрогенератором внутри. Генератор 1 приводится в движение водой, нагнетаемой насосом, который работает за счет вращения пропеллера 2. Испытания опытного образца (рис. 4.3) показали, что такой агрегат может действовать не только у морского побережья, где практически постоянно происходит волнение воды, но даже на больших озерах. По мнению изобретателей, такие агрегаты целесообразно соединять последовательно в батареи, создавая таким образом надежный и дешевый источник электроэнергии достаточно большой мощности. Разумеется, опыт эксплуатации должен в какой-то мере подтвердить эти ожидания.

4.2. Геотермальные электростанции

Геотермальные электростанции в качестве источника энергии используют тепло земных недр. Известно, что в среднем на каждые 30–40 м в глубь Земли температура возрастает на 1 °С. Следовательно, на глубине 3–4 км вода закипает, а на глубине 10–15 км температура Земли достигает 1000÷1200 °С. В некоторых частях нашей планеты температура горячих источников достаточно высокая в непосредственной близости от поверхности. Эти районы наиболее благоприятны для сооружения геотермальных станций.

Схема использования подземного тепла проста (рис. 4.4.). Вода, закачиваемая в геотермальную скважину, возвращается на поверхность в виде смеси пара высокого давления и кипятка. Эта смесь поступает в циклонный сепаратор — устройство, которое отделяет жидкие фракции воды и направляет пар в турбину. Пар вращает рабочие колеса турбины, а те, в свою очередь, вращают ротор генератора, вырабатывая электроэнергию. Отсепарированная вода, прежде чем она будет снова закачана под землю, также может быть полезно использована, например, для теплоснабжения жилых домов и предприятий. Пар, получаемый в недрах Земли, в отличие от пара, получаемого в парогенераторах ТЭС, содержит примеси различных агрессивных газов, которые разрушают оборудование станций. Поэтому пар земных недр либо направляют в теплообменники для получения «чистого» пара, теряя при этом около 25 % тепла, либо используют специальное коррозионностойкое оборудование. Второй путь в настоящее время считается наиболее целесообразным.

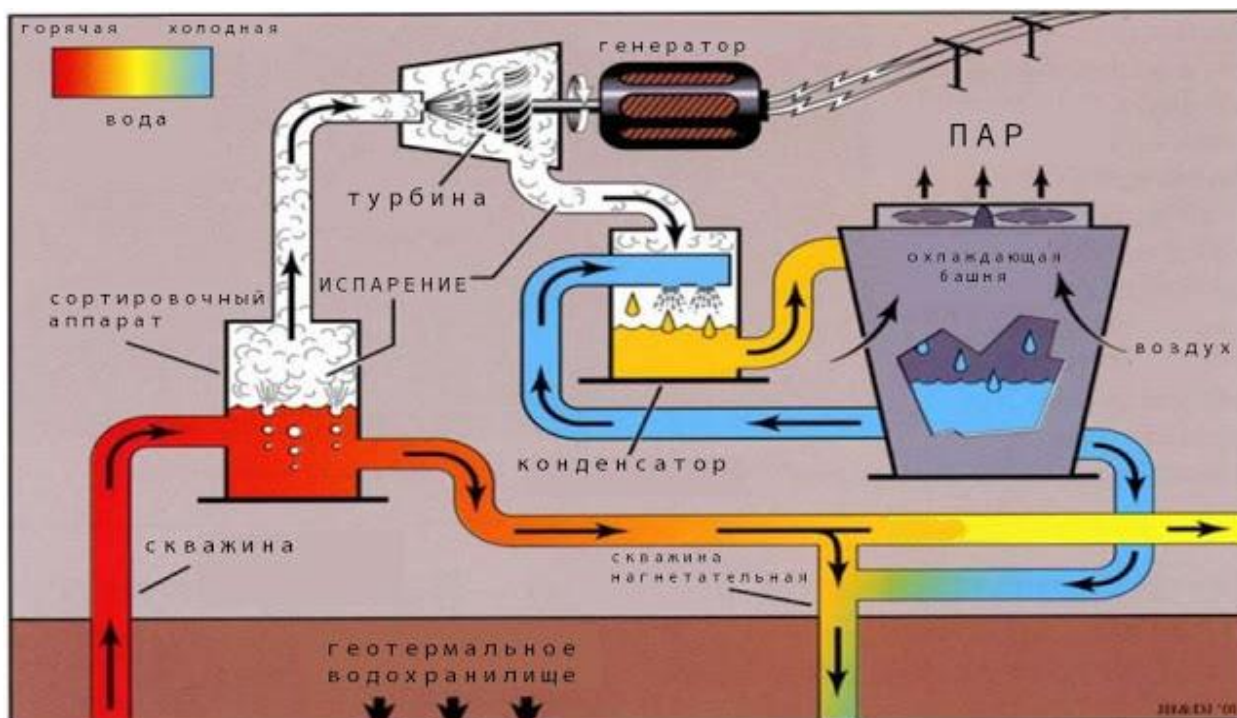


Рис. 4.4. Схема работы геотермальной электростанции

Так, в Новой Зеландии на геотермальных станциях вырабатывается 40% всей электроэнергии, в Италии – 6 %. Значительная доля электроэнергии на таких станциях вырабатывается и в ряде других стран. Италия была первой страной, вставшей на путь промышленного использования тепла Земли недр. Этому способствовал недостаток обычных энергоресурсов.

Что касается России, то ГеоТЭС не могут играть значительной роли в электроэнергетике страны в целом, но они способны радикально решить задачу энергообеспечения в таких отдаленных районах России, как Камчатка и Курилы, обладающие большими потенциальными запасами геотермальной энергии в виде парогидротерм вулканического происхождения.

В настоящее время в России начато строительство двух коммерческих ГеоТЭС: Мутновской на Камчатке суммарной мощностью (первой и второй очередей) 200 МВт и Океанской в Сахалинской обл. суммарной мощностью (первой и второй очередей) 30 МВт. Эти ГеоТЭС будут сооружены с применением модульных блоков мощностью 4–20 МВт полной заводской готовности, которые изготавливает Калужский турбинный завод.

Для таких ГеоТЭС в энергосистеме предпочтителен базовый режим работы, так как эксплуатационные скважины не допускают резких изменений давления и расхода.

Рассмотренные ГеоТЭС географически «привязаны» к парогидротермам, поэтому районы их применения в России ограничены. Гораздо большее распространение могут иметь ГеоТЭС на термальной воде с температурой 100–200 °С, такая ГеоТЭС должна быть двухконтурной с низкокипящим рабочим телом во втором контуре.

Потенциальные запасы термальных вод с указанной температурой сосредоточены на Северном Кавказе в водоносных пластах на глубине 2,5–5 км и могут обеспечить создание ГеоТЭС общей мощностью в несколько миллионов киловатт. Однако если ГеоТЭС на парогидротермах являются промышленными установками коммерческого применения, ГеоТЭС на термальной воде указанного потенциала требуют в условиях России опытно-промышленного применения. Подобные ГеоТЭС могут также быть использованы «на хвосте» парогидротермальных ГеоТЭС для утилизации тепла отсепарированной воды, что может увеличить выработку электроэнергии примерно на 20 %. Скважины на месторождениях термальных вод допускают регулирование расхода, поэтому на двухконтурных ГеоТЭС возможно регулирование мощности без потерь теплоносителя.

Развитие геотермальной электроэнергетики на ближайшую перспективу в основном уже определилось. Из ГеоТЭС на парогидротермах это упомянутые Мутновская и Океанская ГеоТЭС, которые уже строятся. Несмотря на их экономическую эффективность, имеются трудности с инвестициями, связанные со сложностью экономической ситуации в электроэнергетике. Тем не менее, есть основания полагать, что до 2005 г. или несколько позднее эти станции достигнут полной проектной мощности. Дальнейшее развитие ГеоТЭС на парогидротермах Камчатки и Курил будет

зависеть от степени роста нагрузки в этих районах.

Что касается двухконтурных ГеоТЭС, использующих термальную воду, то целесообразно в период до 2005 г. построить на Северном Кавказе две-три опытно-промышленные ГеоТЭС данного типа мощностью 1,5–3,0 МВт, на основе опыта эксплуатации которых создать в этом регионе до 2015 г. две-три коммерческие ГеоТЭС мощностью до 20–30 МВт.

В более отдаленном будущем предполагается использование высокотемпературных слоев мантии (до 1000 °С) для получения пара, в который будет превращаться вода, закачиваемая в искусственно создаваемые «вулканические жерла». Разумеется, что получаемая таким образом энергия будет «чистой» и не будет влиять на биосферу (огромная масса мантии исключает влияние на ее состояние отбираемого тепла).

4.3. Солнечные электростанции

Человек уже давно обращает внимание на использование солнечной энергии, в том числе для получения электрической энергии, горячей воды и пара в промышленных масштабах. В настоящее время строятся и эксплуатируются солнечные электростанции (СЭС) двух различных типов, различающиеся методами преобразования солнечной энергии в электрическую, а именно термодинамическим и фотоэлектрическим методами. В первом случае солнечное излучение преобразуется в теплоту достаточно высокого потенциала с последующим преобразованием ее в механическую энергию (в турбине или иной тепловой машине), а затем в электрическую (в генераторе) (рис. 4.5). Фотоэлектрический метод основан на прямом и непосредственном преобразовании энергии фотонов в энергию носителей тока, которое осуществляется в полупроводниковых фотоэлектрических преобразователях при их облучении – фотоэффекте.

Фотоэффект открыт Герцем в 1887 г. и детально исследован А.Г. Столетовым в 1888 г. Практическое использование фотоэффекта для получения электроэнергии стало возможным в последнее время в связи с прогрессом физики полупроводников. При соприкосновении полупроводников с электронной (n-типа) и дырочной (p-типа) проводимостями на границе образуется контактная разность потенциалов вследствие диффузии электронов. Если полупроводник с дырочной проводимостью освещается, то его электроны, поглощая кванты света, переходят в полупроводник с электронной проводимостью. В замкнутой цепи при этом образуется электрический ток (рис. 4.6.).

В настоящее время наиболее совершенны кремниевые фотоэлементы, на которые действуют как направленные солнечные лучи, так и рассеянный свет. КПД кремниевых фотоэлементов повышается с понижением температуры, т. е. они могут одинаково успешно работать и зимой, и летом. Зимой снижение светового потока компенсируется увеличением КПД за счет интенсификации фотоэффекта.

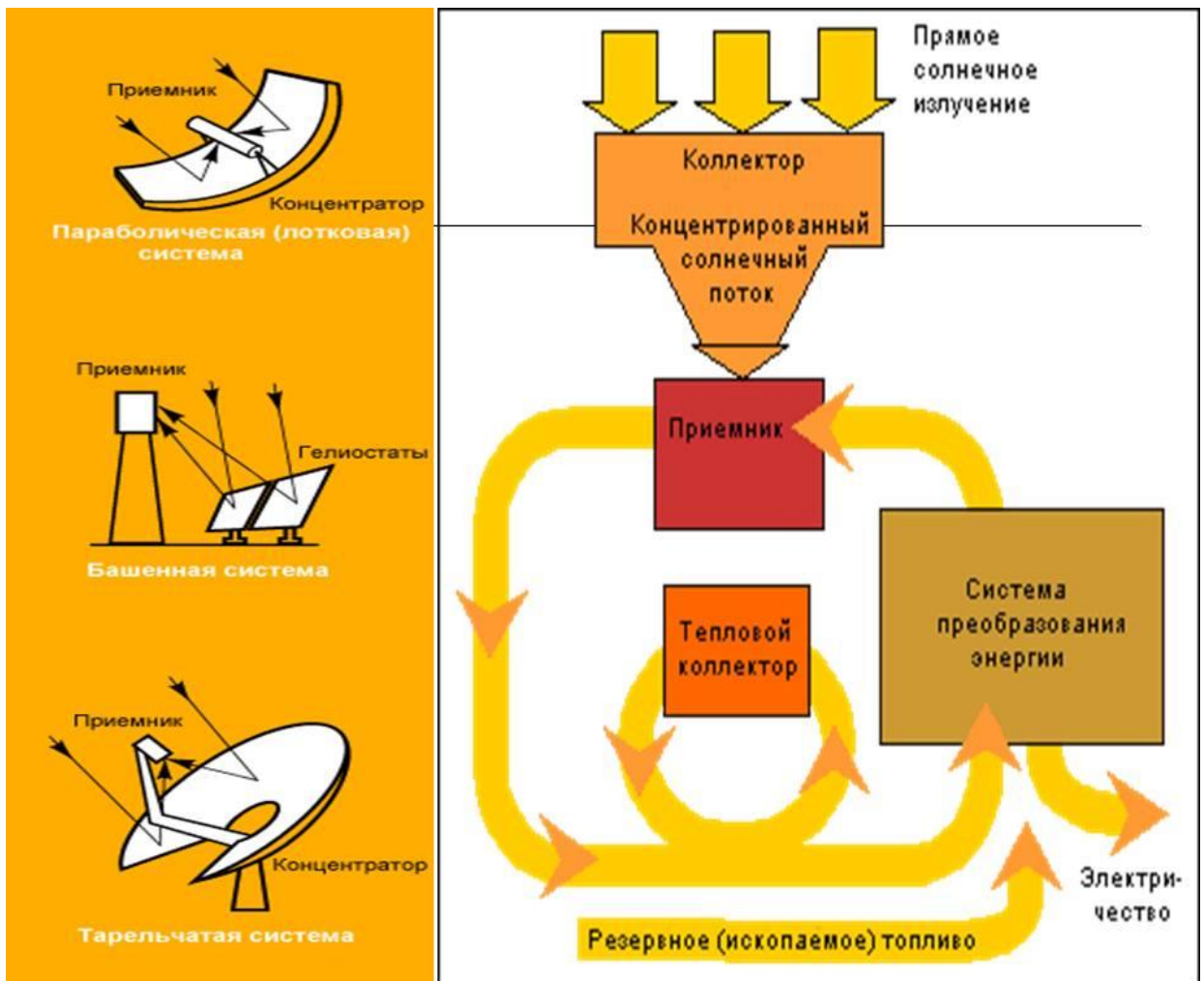


Рис. 4.5. Схема термодинамического преобразования солнечной энергии в электрическую.



Рис. 4.6. Конструкция фотоэлемента

Из-за сложной технологии изготовления полупроводников и их большой стоимости кремниевые фотоэлементы применяются пока на уникальных установках, например на спутниках Земли.

При принципиальном различии указанных методов преобразования солнечные тепловые (СТЭС) и фотоэлектрические (СФЭС) электростанции имеют ряд общих свойств и ограничений, обусловленных природой используемого источника энергии. Солнечная радиация как энергоисточник при таких положительных свойствах, как практически неограниченные ресурсы, полная экологическая чистота, повсеместная распространенность, имеет и отрицательные свойства: малая плотность (удельная мощность) солнечного излучения (не более 1 кВт/м² земной поверхности), изменения во времени как закономерные (годовой и суточный ход), так и случайные (погодные явления).

Нерегулярный приход солнечной радиации к земной поверхности приводит к нерегулируемой выработке энергии на СЭС. Величина мощности СЭС в данный момент светового дня может быть определена лишь в вероятностных оценках на основе длительного ряда метеорологических наблюдений. При весьма малом удельном весе СЭС в структуре генерирующих мощностей энергосистем (до 2015 г. нереально ожидать интенсивного развития СЭС) этот недостаток нивелируется другими генерирующими мощностями в энергосистеме. В будущем, когда доля СЭС в выработке электроэнергии может существенно вырасти, этот недостаток станет более значим. Для его преодоления исследования и разработки ведутся по трем основным направлениям.

Первое из них – перевод части солнечной энергетики (до 10 ТВт суммарной мощности) на космическое базирование с дистанционной передачей энергии на Землю.

Имеющийся научно-технический потенциал космонавтики создает предпосылки для решения задач по использованию энергии Солнца несколькими способами:

- освещение приполярных районов Земли с помощью орбитальных солнечных отражателей на основе тонкопленочных зеркал;
- повышение производства биомассы на Земле путем увеличения продолжительности светового дня;
- повышение выработки электроэнергии солнечными наземными станциями за счет дополнительной подсветки;
- теплоснабжение энерготехнологических наземных комплексов с помощью лазерного излучения, полученного на орбите путем преобразования солнечного излучения;
- электроснабжение районов Земли с помощью орбитальных энергостанций, преобразующих солнечную энергию в СВЧ-излучение или лазерное излучение и передающих его на Землю.

Второй путь развития солнечной энергетики, позволяющий преодолевать основной недостаток – временную нестабильность, –

строительство так называемых солнечно-топливных электростанций. Суть этой концепции состоит в сочетании солнечной тепловой электростанции с маневренной топливной установкой, компенсирующей недостаток тепловой энергии, подаваемой в парогенератор в период, когда приход солнечной энергии отсутствует или недостаточен. Такие комбинированные солнечно-топливные станции имеют достаточно стабильные характеристики и могут участвовать в балансе мощностей.

Третий путь развития солнечной энергетики – использование явления фотосинтеза для улавливания и накопления энергии. Некоторые из проектов пока могут рассматриваться только как гипотетические, но некоторые – уже как практически осуществимые. Общим для всех проектов является стремление сократить тот длительный промежуток времени, который отделяет падение на Землю солнечного света и развития, благодаря ему, различных организмов от образования из этих организмов ископаемого топлива в виде угля, нефти и газа.

На сегодня не существует определенного мощностного ряда СЭС.

В принципе может быть создана СЭС на любую заданную мощность, которая будет зависеть от площади лучевоспринимающих поверхностей СЭС. Поэтому такие характеристики, как, например, выработка электроэнергии, удобно представлять в удельном выражении в расчете на 1 м^2 лучевоспринимающей поверхности.

Думая о будущем использовании энергии, инженеры вновь обращаются к старым идеям. Одна из них состоит в создании искусственного ветра за счет нагрева большой поверхности. Полученный поток воздуха будет вращать турбины.

Большое внимание уделяется перспективе использования солнечной энергии в промежуточном процессе получения топлива. Так, высказывались соображения о том, что, возможно, в будущем будут построены крупные солнечные станции, энергия которых может быть использована для синтеза топлива на основе углеводорода, например метанола, известняка и воды. Такое производство жидкого топлива позволит избежать проблемы хранения и передачи энергии на значительные расстояния. Такое жидкое топливо может затем распределяться и использоваться как обычное.

Солнечная энергия может непосредственно использоваться для нагрева воды в бытовых условиях, обогрева зданий и кондиционирования воздуха. Преимуществом использования солнечной энергии для этих целей является абсолютная экологическая чистота. Используя энергию для бытовых нужд, следует решить вопрос о наиболее рациональном ее применении, об уменьшении потерь энергии за счет улучшения конструкции зданий и улучшения теплоизоляции.

При оценке энергетики будущего много внимания уделяется роли солнечной энергии в решении энергетического кризиса. Уже в наши дни гелиоэнергетика развивается ускоренными темпами. Сначала 90-х гг. темпы роста гелиоэнергетики составляют 16 % в год. В то время как мировое потребление нефти растет на 15 % в год. Интересны примеры использования

солнечной энергии разных странах.

В условиях Великобритании жители сельской местности покрывают потребность в тепловой энергии на 40–50 % за счет использования энергии Солнца.

В Германии (под Дюссельдорфом) проводились испытания солнечной водонагревательной установки площадью коллекторов 65 м². Эксплуатация установки показала, что средняя экономия тепла, расходуемого на обогрев, составила 60 %, а в летний период – 80–90 %. Для условий Германии семья из 4 человек может обеспечить себя теплом при наличии энергетической крыши площадью 6–9 м².

Современные солнечные коллекторы могут обеспечить нужды сельского хозяйства в теплой воде в летний период на 90 %, в переходный период – на 55–65 %, в зимний – на 30 %. В Австралии установлено, что для обеспечения 80 % теплой водой в жилых сельских домах на 1 человека требуется установка солнечных коллекторов с поверхностью 2–3 м² и емкостью бака для воды 100–150 л. Установка площадью 25 м² с емкостью для нагретой воды на 1000–1500 л обеспечивает тепловой водой 12 человек или небольшой сельский двор.

Наиболее эффективно в странах ЕС солнечные энергоустановки эксплуатируются в Греции, Португалии, Испании, Франции: выработка энергии солнечными энергоустановками составляет соответственно 870000, 290000, 255200, 174000 МВт·ч в год.

В целом по Европейскому союзу в 1992 г. было выработано 185600 МВт·ч. Наибольшей суммарной площадью установленных солнечных коллекторов располагают: США – 10 млн м², Япония – 8 млн м², Израиль – 1,7 млн м², Австралия 1,2 млн м². В настоящее время 1 м² солнечного коллектора вырабатывает электрической энергии:

- 4,86–6,48 кВт·ч в сутки;
- 1070–1426 кВт·ч в год.

Нагревает воды в сутки:

- 420–360 л (при 30 °С);
- 210–280 л (при 40 °С);
- 130–175 л (при 50 °С);
- 90–120 л (при 60 °С).

Экономит в год:

- электроэнергии – 1070–1426 кВт·ч;
- условного топлива – 0,14–0,19 т;
- природного газа – 110–145 м³;
- угля – 0,18–0,24 т;
- древесного топлива – 0,95–1,26 т.

Площадь солнечных коллекторов 2–6 млн. м² обеспечивает выработку 3,2–8,6 млрд. кВт·ч энергии и экономит 0,42–1,14 млн. т. у. т. в год.

За 2002 г. мощность фотоэлектрических установок, прямо преобразующих энергию Солнца, удвоилась и достигла 1 млн. кВт. Сегодня в

США действует программа «Миллион крыш», в Германии – «Сто тысяч крыш». При этом владельцы домашних солнечных батарей получают льготы при оплате за электричество. Благоприятные условия во многих развивающихся странах (большое количество солнечных дней в году) позволяют использовать солнечную энергию для производственных и бытовых целей.

Несомненно, что человечество в будущем с еще большей заинтересованностью будет обращаться к Солнцу – главному источнику энергии, которую и будет применять различными путями.

4.4. Ветровые электростанции

Ветровая энергия продолжительное время использовалась в мореплавании, а также для приведения в движение мельничных колес. Сравнительно недавно она начала использоваться для выработки электроэнергии. Большинство ветроэнергетических установок имеет мощность несколько киловатт, и используются они в отдаленных местах, например на морских маяках.

Со времени энергетического кризиса 1973–1974 гг. в развитие ветровой энергетики были вложены значительные средства. Было построено несколько экспериментальных установок разной конструкции. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой ветроэнергетическими установками, все еще высока по сравнению с электроэнергией, получаемой на базе органического топлива. Кроме того, выявились некоторые характерные для этого источника первичной энергии недостатки. Тем не менее, ветровую энергию следует рассматривать как энергетический ресурс.

Ветровые электростанции производят электроэнергию только тогда, когда дует достаточно сильный ветер. Для ветряных турбин с горизонтальной осью вращения он должен превышать 4-5 м/с, если мощность турбин более 200 кВт, или 2-3 м/с, если их мощность менее 100 кВт.

Ветровая турбина обычно состоит из башни высотой не менее 6 м, на вершине которой располагается кабина с электрогенератором и редуктором, к оси которого прикреплены лопасти ветровой турбины. Кабина с машинным отделением поворачивается в зависимости от направления ветра, используя электрический мотор или сам ветер. У классических ветровых установок – 3 лопасти, закреплённых на роторе. Вращаясь, ротор генератора создаёт трёхфазный переменный ток, который передаётся на контроллер, далее ток преобразуется в постоянное напряжение и подаётся на аккумуляторную батарею. Ток проходя по аккумуляторам одновременно и подзаряжает их и использует АКБ как проводники электричества. Далее ток подаётся на инвертор, где приводится в привычные показатели: переменный однофазный ток 220В, 50 Гц (рис. 4.7).

Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и кубу скорости ветра (обычно небольшой). В этой связи и

в связи с тем, что плотность воздуха в 846 раз ниже плотности воды, ветроэнергетические установки большой мощности (в МВт-ом диапазоне) должны быть по своим габаритам очень крупными по сравнению с гидротурбинами.

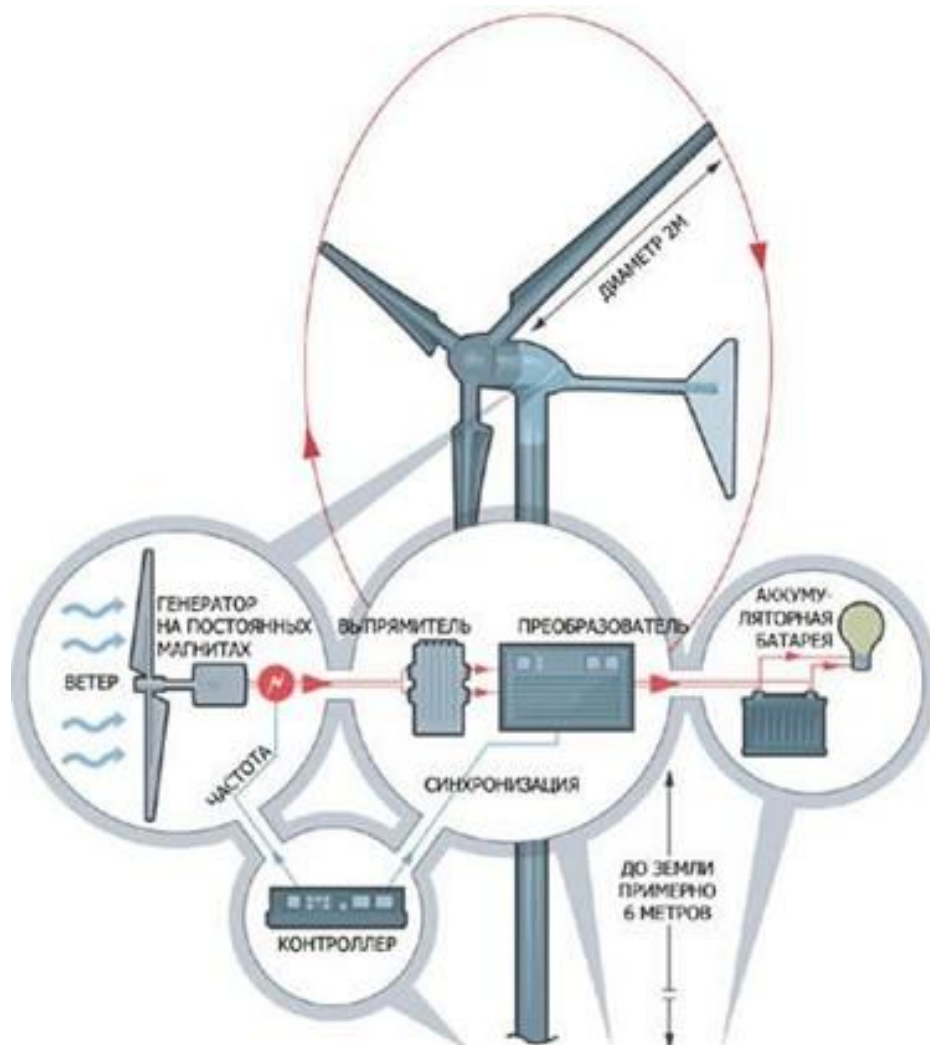


Рис. 4.7. Ветровая турбина

Одной из самых сложных проблем, препятствующих широкому распространению ветроэнергетических установок, является постоянно меняющаяся скорость ветра. Даже высоко в горах нельзя рассчитывать на стабильную скорость ветра. Кроме того, электроэнергия начинает вырабатываться этими установками тогда, когда дует ветер, а не тогда, когда она необходима. Для преодоления этого недостатка ветровая электростанция должна иметь аккумуляторы электроэнергии, что и делается для ветроэлектрических установок небольшой мощности, или она должна быть присоединена к энергосистеме.

К сожалению, удобного, эффективного и экономичного способа запастись электроэнергией в большом количестве еще нет. Кроме идеи, реализуемой в ГАЭС, были выдвинуты предложения по использованию получаемой в часы внепиковой части графика нагрузки электроэнергии для

электролиза воды и создания запаса получаемого таким образом водорода и кислорода с тем, чтобы потом использовать реакцию соединения этих газов в топливном элементе для производства электроэнергии. Развитие этой технологии находится в начальной стадии, но, возможно, в будущем она станет экономически приемлемой.

Развитие системной ветроэнергетики в мире началось в начале 70-х годов. Наибольшая доля (до 3 %) в производстве электроэнергии ВЭС получена в 1993 г. в Дании, где ветровые турбины рассеяны по всей стране. Строительство современных ВЭС началось здесь в конце 70-х годов. А вначале 80-х в штате Калифорния (США) наблюдается особенно интенсивный рост ВЭС. Принятие здесь закона о налоговых льготах на инвестиции в возобновляемые источники энергии в дополнение к федеральным налоговым льготам создало благоприятную обстановку. В результате Калифорния превратилась в мирового лидера по производству электроэнергии из ветра. США могут потерять это лидерство, так в ЕС поставили цель вырабатывать в 2005 г. 8 тыс МВт ветровой электроэнергии, что составляет 1 % потребностей ЕС в электроэнергии. Дания, Германия и Нидерланды должны довести к этому времени выработку электроэнергии из ветра по крайней мере до 5000 МВт.

Стоимость ветровой энергии снижается на 15 % в год и даже сегодня может конкурировать на рынке, а главное – имеет перспективы дальнейшего снижения в отличие от стоимости энергии, получаемой на АЭС (последняя повышается на 5 % в год); при этом темпы роста ветроэнергетики в настоящее время превышают 25 % в год. Использование энергии ветра в различных государствах набирает силу, что находит подтверждение в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Развитие ветроэнергетики в странах мира

Государство	Мощность ветроэлектростанций, введенных в 1995 г., МВт	Суммарные действующие мощности ветроэлектростанций по состоянию на 1996 г., МВт
Германия	500	1132
Индия	375	576
Дания	98	637
Нидерланды	95	219
Испания	58	133
США	53	1654
Швеция	29	69
Китай	14	44
Италия	11	33
Другие	57	370
Всего	1289	4897

Средняя единичная мощность эксплуатируемых в мире ВЭУ составляет ~140 кВт. Примерно до середины 80-х годов ветроэлектростанции создавались на базе ВЭУ единичной мощностью менее 100 кВт. С середины 80-х годов стали внедряться ВЭУ мощностью 100–300 кВт, а к концу 80-х – и ВЭУ 600–700 кВт. На данном этапе на базе накопленного опыта создаются для серийного производства новые модели ВЭУ мощностью 500–1500 кВт. Сейчас достигнута единичная мощность серийного горизонтально-осевого агрегата до 2,5 МВт. Создан прототип ветрогенератора мощностью 4,5 МВт с диаметром ветроколеса 112 м.

Практически весь мировой парк ВЭУ состоит из крыльчатых установок. Работы по другим видам ВЭУ, а также по крыльчатым ВЭУ предельной мощности проводятся, однако широкого развития они не получили и перспективы их использования не ясны. Таким образом, к настоящему времени мировая системная ветроэнергетика превратилась в отрасль электроэнергетики, вносящую в отдельных странах ощутимую долю в производстве электроэнергии.

В России наиболее перспективные зоны для использования энергии ветра находятся на прибрежной полосе шириной 50–100 км вдоль морей Северного Ледовитого океана, в отдельных прибрежных районах Дальнего Востока, в районах Балтийского, Черного и Каспийского морей. В указанных зонах среднегодовая скорость ветра равна 5–6 м/с и более.

Практическое развитие ветроэнергетики в России находится на самом начальном этапе. Разрабатываются и создаются несколько моделей крыльчатых ВЭУ мощностью 250–300 кВт, одна модель крыльчатой ВЭУ мощностью 1000 кВт и модель ВЭУ с вертикальной осью вращения мощностью 1250 кВт. В 1991–1992 гг. смонтированы две ВЭУ АВЭ-250 на полигонах в поселке Дубки (Чиркейская ГЭС, Дагестан) и в Иван-городе (Ленинградская обл.), и одна – на полигоне НПО «Ветроэн» в Геленджике.

В 1993 г. АО «Комиэнерго» и НПО «Ветроэн» смонтирован АВЭ-250 в г. Воркуте.

В 1993 г. в Новороссийске построена опытно-экспериментальная ВЭУ ГП-250. Однако после первых испытаний ВЭУ отправлена на завод для доработки и дополнительных стендовых испытаний.

В 1994 г. на опытно-экспериментальной Калмыцкой ВЭС смонтирована первая установка мощностью 1000 кВт.

В системе РАО «ЕЭС России» в настоящее время в стадии строительства находятся три ВЭС:

- 1) экспериментальная база нетрадиционной энергетики мощностью 5 МВт (поселок Дубки, Чиркейская ГЭС, Дагэнерго);
- 2) Заполярная ВЭС мощностью 8 МВт (г. Воркута, Комиэнерго);
- 3) Калмыцкая ВЭС мощностью 22 МВт (Калмэнерго);

Проектируются семь ВЭС: Магаданская 50 МВт (Магаданэнерго), Дагестанская 6 МВт (Дагэнерго), Ленинградская 25 МВт (Ленэнерго), Приморская 30 МВт (Дальэнерго), Морская 30 МВт (Карелэнерго), Новороссийская 2 МВт (Краснодарэнерго), Западно-Приморская 30 МВт

(Янтарьэнерго).

Крупномасштабное применение ветроэнергетических установок на каком-то ограниченном участке может вызвать глубокие климатические изменения в данном районе. Например, отбор существенной части ветровой энергии при типовом шторме в районе Среднего Запада США (примерно $4 \cdot 10^{12}$ Дж), возможно, сократил бы периодичность сильных штормов в этих широтах и силу их ветра. Разумеется, в этом есть положительная сторона. С другой стороны, остальные особенности климата на Среднем Западе могут зависеть от штормовых ветров в той форме, в которой они сейчас существуют. Снижение силы штормовых ветров могло бы изменить режим выпадения осадков до такой степени, что некоторые территории в восточных районах Среднего Запада США могли бы стать непригодными для сельского хозяйства, а для остальных районов могла бы стать необходимой ирригация, как на Дальнем Западе страны. Взаимодействие различных атмосферных явлений является очень сложным процессом и до конца не изучено. Любые крупномасштабные изменения природных явлений на Земле необходимо осуществлять осторожно и с полным учетом того, какие последствия для окружающей среды они за собой повлекут.

Обобщая, можно заключить, что ветровая энергия полезна в качестве дополнительного источника для производства электроэнергии, но в ближайшее время она будет находить лишь ограниченное применение.

Научно-технический прогресс, особенно в области аккумуляирования электроэнергии, может изменить ситуацию, но тогда нужно будет оценивать взаимосвязь крупномасштабного отбора энергии ветра с возможными климатическими изменениями.

4.5. Биоэнергетика

Биоэнергетику можно рассматривать как один из вариантов гелиоэнергетики, в основе которого лежит фотосинтез и последующее высвобождение запасенной в биомассе солнечной энергии в виде тепловой и электрической энергии. Биомасса – наиболее дешевая и крупномасштабная форма аккумуляирования возобновляемой энергии.

Термин «биомасса» включает любые материалы биологического происхождения, включая продукты жизнедеятельности и отходы органического происхождения.

Одна из сложнейших проблем на пути к осуществлению заманчивой идеи использования растений в качестве основного энергетического источника заключается в низкой эффективности фотосинтеза как способа превращения солнечной энергии в химическую. Считается, что благодаря фотосинтезу ежегодно в пересчете на сухой вес образуется около 155 млрд. т органической массы, главным образом целлюлозы, которую можно использовать или непосредственно как топливо, или как продукт для получения топлива. Из-за низкого КПД энергетического преобразования пришлось бы значительно увеличить посевные площади для получения

энергии в необходимых количествах. Поэтому весьма важно проводить исследования, направленные на увеличение КПД преобразования, использовать наиболее удачные для этих целей растения, по возможности создавать наиболее оптимальный искусственный газовый состав и т. п. Например, если выращивать кукурузу с целью получения энергии, а не на корм скоту, то стоимость такой энергии будет сравнима с нынешней стоимостью ископаемого топлива в США. Если использовать для этой цели хвойный лес, в котором бы на акр (1 акр = 0,4 га) приходилось 6 тыс деревьев, и «собирать» урожай раз в 12 лет, то вследствие замедленного роста деревьев и некоторых других факторов стоимость производимой из них энергии возрастает примерно вдвое и составит около 3 долл. за 1 млн британских единиц тепла ($1 \text{ Btu} = 1,05506 \cdot 10^3 \text{ Дж} \approx 1,055 \text{ кДж}$). Многолетние растения имеют одно неопределимое преимущество перед однолетними: урожай с них можно собирать в течение всего года в соответствии с потребностями, и при этом не возникает проблем, связанных с созданием огромных хранилищ «энергетических урожаев», которые заготавливают только определенный сезон. Поэтому для производства энергии обратились к быстро растущим лиственным деревьям, у которых после порубки корни дают побеги, что позволяет избежать ежегодных посадок.

На экспериментальных участках заброшенных пахотных земель в Центральной Пенсильвании выращиваются гибридные тополя. Один из гибридов, высаженный в количестве примерно 3700 деревьев на акр, «производит» энергию стоимостью от 1,25 до 11,45 долл. за 1 млн Btu (по сравнению с нынешней стоимостью 1,97 долл. за 1 млн Btu для нефти и 1,31 долл. за 1 млн Btu для угля). Такая плантация может давать около 120 млн Btu с акра в год при КПД энергетического преобразования порядка 0,6 %. Для обеспечения топливом средней электростанции мощностью 400 МВт потребуется плантация площадью 30 тыс акров. Для снабжения топливом, получаемым на «энергетических плантациях» всех электростанций в США, потребуется не более 160 млн. акров даже при коэффициенте преобразования солнечной энергии в топливо, не превышающем 0,4 %.

Ежегодный прирост органического вещества на Земле эквивалентен производству такого количества энергии, которое в десять раз больше годового потребления энергии всем человечеством на современном этапе (таблица 4.2).

Источники биомассы могут быть разделены на несколько основных групп:

- 1) продукты естественной вегетации (древесина, древесные отходы, торф, листья и т. п.);
- 2) отходы жизнедеятельности людей, включая производственную деятельность (твердые бытовые отходы, отходы промышленного производства и др.);
- 3) отходы сельскохозяйственного производства (навоз, куриный помет, стебли, ботва и т. д.);
- 4) специально выращиваемые высокоурожайные агрокультуры и

растения.

Однако наличие биомассы даже в большом количестве еще не означает решения проблемы получения из нее различных продуктов и веществ, в том числе и топлива. Непереработанная биомасса приносит непоправимый вред окружающей среде.

Таблица 4.2. Источники биомассы и примеры переработки

Источник биомассы	Производимое топливо	Технология	Примерный КПД преобразования	Потребность в энергии н – необходимо о – оптимально	Примерный энергетический выход биотоплива МДж/кг
Лесоразработки	тепло	сжигание	70	Сушка (о)	16-20
Отходы переработки древесины	тепло	-	70	Сушка (о)	16-20
	газ	пиролиз	85	Сушка (о)	40*
	нефть				40
	уголь				20
Зерновые	солома	сжигание	70	Сушка (о)	14-16***
Сахарный тростник, Сок	этанол	сбраживание	80	Тепло (н) Электроэнергия (о)	3-6
Сахарный тростник, отходы	жмых	сжигание	65	Сушка (о)	5-8
Навоз, тропики	метан	анаэробное разложение	50	-	4-8***
Навоз, умеренный пояс	метан	анаэробное разложение	50	Тепло (н)	2-4**
Городские стоки	метан	анаэробное разложение	50	Тепло	2-4***
Мусор	тепло	сжигание	50	-	15-16***

* - суммарная величина; имеются затраты биогаза на обогрев установки;
 ** - без учета азота;
 *** - сухой материал.

В наши дни древесные отходы уже находят применение: созданы установки, осваивается технология производства генераторного газа и его сжигание. Специалисты считают, что при правильном использовании древесины, древесных отходов и быстрорастущих лесных насаждений может быть покрыто 15 % потребностей в топливе. При современном объеме потребления это составит около 6 млн т. у. т.

В настоящее время использование биомассы дает в Китае более 6 % всей потребляемой тепловой энергии, в США – 6 %, в странах ЕС – 5,7 %, в Бразилии – 32,9 %.

Переработка биомассы в топливо осуществляется по трем основным направлениям.

Первое: биоконверсия, т. е. разложение органических веществ растительного и животного происхождения в анаэробных (без доступа воздуха) условиях специальными видами бактерий с образованием газообразного топлива (биогаза) и/или жидкого топлива (этанола, бутанола и др.). В настоящее время в Бразилии на этаноле, полученном в результате разложения биомассы из отходов сахарного тростника, работает городской автотранспорт и многие личные автомобили. В США этанол получают из отходов кукурузы.

Этанол является хорошим заменителем бензина, при этом в отличие от нефти биомасса является достаточно быстро возобновляемым ресурсом. К биоконверсии относится также получение тепловой энергии при аэробном микробиологическом окислении органических веществ. Так по научному называется компостирование и биоподогрев, о чем знает каждый огородник.

Второе: термохимическая конверсия (пиролиз, газификация, быстрый пиролиз, синтез) твердых органических веществ (дерева, торфа, угля) в «синтез-газ», метанол, искусственный бензин, древесный уголь.

Третье: сжигание отходов в котлах и печах специальных конструкций. В мире сотни тонн таких отходов сжигаются с регенерацией энергии. Прессованные брикеты из бумаги, картона, древесины, полимеров, древесных опилок, бытового мусора по теплотворной способности сравнимы с бурым углем.

К этому направлению можно было бы отнести и сжигание дров в бытовых печах. Но дрова почему-то выведены из понятия биомассы, хотя одна шестая часть годового потребления топлива в мире приходится на древесину и около трети всех срубленных деревьев используется для приготовления пищи и отопления. Реальное потребление древесного топлива в три раза превышает уровень, который показывает статистика. Около половины населения мира использует для приготовления пищи (а это 4/5 расхода в домашнем хозяйстве) и отопления главным образом дрова.

Тема 5. НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

5.1. Термоядерная энергетика

Одним из реальных путей решения проблемы энергообеспечения населения Земли является овладение управляемым синтезом легких элементов (управляемый термоядерный синтез – УТС), т. к. при этом будет получен практически неисчерпаемый источник энергии.

Основная доля энергии звезд и Солнца, как удалось доказать Гансу Бете в 1939 г., выделяется при синтезе легких элементов. Если на Земле удастся осуществить управляемую реакцию синтеза легких элементов

(дейтерия, трития), то это, образно говоря, будет означать появление на нашей планете искусственных маленьких солнц, способных обеспечить энергией многие поколения. Реакция синтеза изотопов водорода – дейтерия и трития – протекает по схеме, представленной на рис. 5.1.

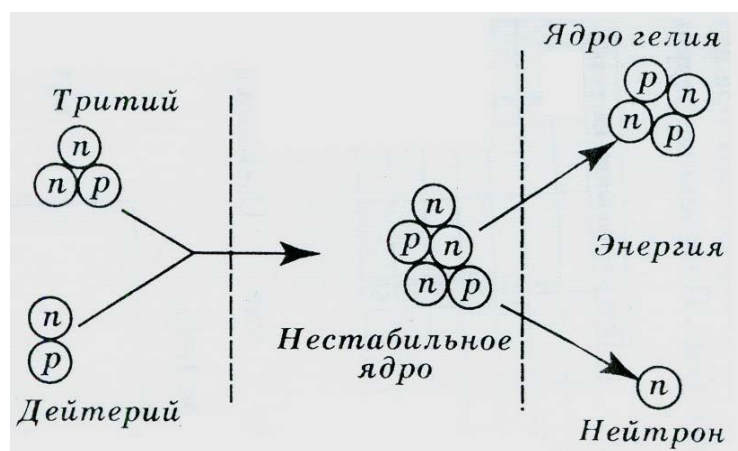


Рис. 5.1. Реакция синтеза изотопов водорода – дейтерия и трития

Очень важно, что топливо для реакторов синтеза легкодоступно. В природе дейтерий содержится в воде: один из каждых 6700 атомов водорода имеет дейтериевое ядро. Тритий распространен меньше. Он радиоактивен и имеет период полураспада 12,3 г., так что в природе в больших количествах он не встречается. Этот изотоп, однако, может быть искусственно получен из имеющегося в изобилии природного сырья в виде отложений металлического лития. Ядерные реакторы синтеза обещают также быть экологически безвредными. Случайный запуск реактора не возможен, так как количества дейтерия и трития в установке в любой данный момент очень малы. При неконтролируемом горении все имеющееся топливо быстро израсходуется и процесс прекратится. Кроме того, при синтезе между ядрами дейтерия и трития рождаются только быстрые нейтроны и α -частицы (ядра гелия), которые нерадиоактивны. Основные проблемы, связанные с радиацией, возникают из-за вторичных процессов. Энергичные нейтроны могут вызывать трансмутацию ядер в материалах, образующих структуру реактора и его компонентов, и они могут становиться радиоактивными. Однако исследования показали, что правильный выбор конструкционных материалов позволит поддерживать такую наведенную активность на очень низком уровне.

Ядерный синтез был известен за несколько лет до открытия явления деления ядер. В 1931 г. Гарольд Юра впервые выделил дейтерий из воды и с помощью небольших ускорителей показал, что реакция синтеза двух ядер дейтерия сопровождается выделением энергии.

Несмотря на многие годы исследований по управляемому синтезу, создание промышленного реактора – дело достаточно отдаленного будущего. Чтобы преодолеть естественное электрическое отталкивание, ядра должны

обладать значительной энергией. Температура дейтерий-тритиевой смеси должна достигать, по крайней мере, 50 млн. градусов (для сравнения: температура в центре Солнца составляет около 15 млн. °С). Эта температура, измеренная в электрон-вольтах (эВ), равна 4500 эВ. При такой температуре электроны оторваны от ядер (фактически для ионизации водорода нужно только 13,56 эВ). Дейтерий-тритиевая смесь в этом случае представляет собой плазму – электрически нейтральный газ, состоящий из положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов. Поддержание такой высокой температуры в плазме было до сих пор одной из важнейших задач термоядерных исследований. Энергия теряется из плазмы в результате нескольких процессов. Например, заряженные частицы в плазме излучают электромагнитную энергию при столкновениях друг с другом. Термоядерные реакции рождают огромное число быстрых нейтронов, которые легко покидают плазму. Излучение, теплопроводность и турбулентная конвекция частиц плазмы – это только некоторые из возможных процессов, приводящих к охлаждению плазмы и снижению ее температуры.

Можно постоянно поддерживать «плазменный огонь», подводя энергию извне с помощью радиочастотных волн или пучков высокоэнергичных нейтральных частиц. Однако существует эффективный самоподдерживающийся источник дополнительного тепла – быстрые α -частицы, которые рождаются в плазме. Эти ядра гелия являются «золотом» термоядерных реакций. Они рождаются с энергией около 3,5 млн. эВ и легко удерживаются магнитным полем, поскольку имеют двойной положительный заряд. При столкновениях с частицами плазмы α -частицы отдают им свою энергию в виде тепла. До сих пор ни в одном эксперименте не удавалось генерировать достаточное число энергичных α -частиц, чтобы полностью скомпенсировать потери тепловой энергии. Исследователи называют общее среднее время, за которое тепло уходит из плазмы, временем удержания энергии или **энергетическим временем τ** . Произведение τ и плотности плазмы n представляет способность плазмы удерживать свое тепло и называется **параметром качества удержания**. Чтобы термоядерные реакции могли самоподдерживаться и давать полезную энергию, произведение $n\tau$ должно быть больше $2 \cdot 10^{20}$, если выражать время в секундах, а плотность – в числе частиц на один кубический метр, при температуре $T = 10\,000$ эВ (около 100 млн. градусов). Таким образом, цель термоядерных исследований заключается в том, чтобы достичь значения произведения трех величин, n , τ , T около $2 \cdot 10^{24}$ с·эВ/м³.

Наиболее близко к достижению этих условий подошли в настоящее время термоядерные устройства, называемые «токамаками». Предложенная в начале 1950 г. русскими физиками А.Д. Сахаровым и И.Е. Таммом, эта установка получила название от сокращения русских слов «тороидальная камера с магнитным полем». Принципы, лежащие в основе работы этого устройства, относительно просты, рис. 5.2, 5.3.

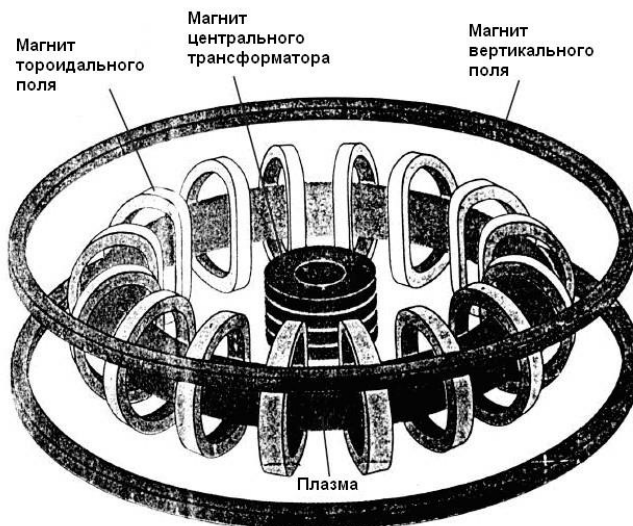


Рис. 5.2. Три системы электромагнитов токамака

Сначала плазму получают в вакуумной камере, имеющей форму тора или бублика. Система электромагнитов, расположенных снаружи от камеры, создает тороидальное магнитное поле, направленное вдоль оси тора. Поле действует как шланг, который поддерживает давление внутри плазмы и предотвращает ее контакт со стенками камеры.

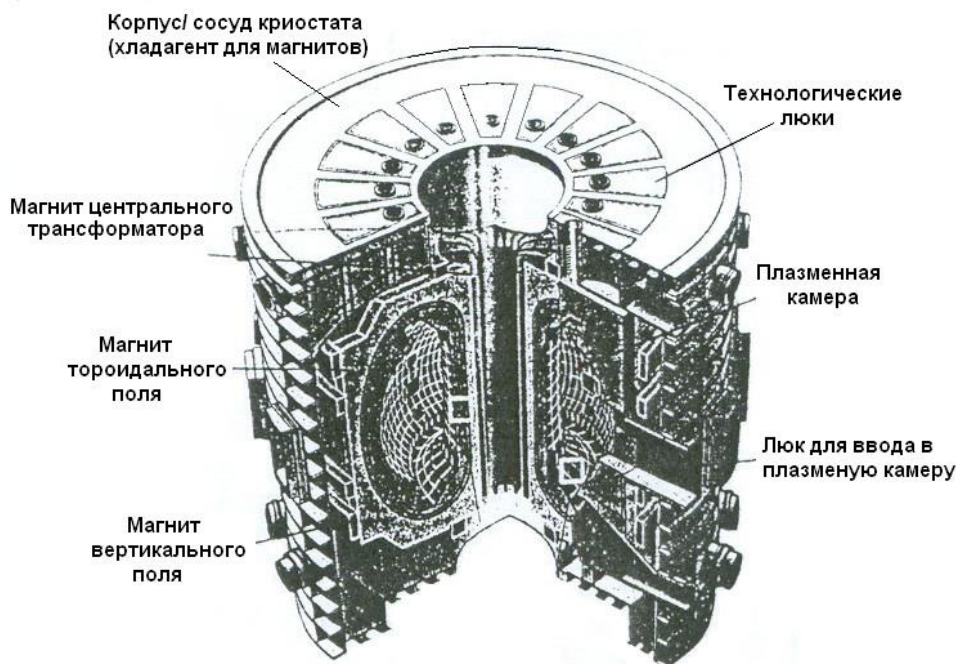


Рис. 5.3. Основные узлы токамака

Другая система электромагнитов, расположенных в центре тора (в дыре от бублика), используется для индуцирования в плазме электрического тока, который протекает в тороидальном направлении. Этот ток нагревает плазму до температуры около 1000 эВ. Плазменный ток создает свое магнитное поле, охватывающее тороид. Это поле предотвращает дрейф плазменных

частиц за пределы основной области магнитного удержания. Наконец, внешние проводники генерируют вертикальное магнитное поле, удерживающее плазменный шнур от движений вверх и вниз, влево и вправо внутри камеры.

В середине 70-х годов на установках типа токамак были достигнуты температура 3000 эВ и параметр качества удержания около 10^{18}с/м^3 . Сегодня в наиболее мощных экспериментальных установках этого типа – токамак JET (Joint European Torus), токамак JT-60 в Японии, экспериментальный термоядерный реактор-токамак TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) и установка DIII-D в США – достигнуты температура плазмы 30000 эВ и параметр качества удержания $2 \cdot 10^{19} \text{с/м}^3$. Производство плотности, времени удержания и температуры в течение 1970–1990 гг. удалось увеличить более чем в 100 раз.

Инженеры и ученые, участвующие в четырех ведущих программах исследований по термоядерному синтезу, проводимых в странах Европейского сообщества, Японии, СССР и США, пришли к соглашению начать в 1987 г. совместное проектирование экспериментальной термоядерной установки. Они назвали ее Международным Термоядерным Экспериментальным Реактором, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).

Несмотря на определенный прогресс в экспериментах на токамаках, несколько проблем остаются нерешенными. Исследователи еще не выяснили фундаментальную природу турбулентного переноса тепла и частиц поперек силовых линий магнитного поля – процесса, который снижает температуру плазмы. Знание физики «сжигания» и поддержания термоядерного горения также является неполным. На ITER будут исследоваться эти проблемы. Основными целями проекта ITER являются достижения условий зажигания и длительного термоядерного горения, которые будут типичны для реального термоядерного реактора, а также испытание и демонстрация технологий для практического использования управляемого синтеза.

Сооружаемый экспериментальный реактор будет самым большим из когда-либо построенных токамаков – его высота 30 м, диаметр 30 м. Объем плазмы в установке очень большой – порядке 850 м³; ток в плазме – 15 МА. Термоядерная мощность установки 500 МВт поддерживается в течение 400 с. В дальнейшем это время предполагается довести до 300 с, что даст возможность проводить на реакторе первые реальные исследования физики термоядерного горения в плазме. На рис. 5.3 в разрезе показаны отдельные узлы этой установки. По оценкам экспертов стоимость разработки и сооружения ITER составит около 7,5 млрд. долл. Только с российской стороны в реализации проекта задействованы более 200 организаций.

После сооружения установки программа ITER будет состоять из двух основных стадий.

Первая, называемая физической стадией, продлится 6–8 лет. В это время исследователи попытаются достичь условий зажигания и длительного горения, типичных для энергетического и термоядерного реактора. После

пуска и проведения полных испытаний исследования будут сфокусированы на стационарном поддержании плазмы и условий для дейтерий-тритиевого синтеза. Будут также изучаться эффекты нагрева плазмы α -частицами, динамика и контроль горения плазмы, а также диффузия и удаление гелия, после того как ядра гелия отдали всю энергию плазме.

Следующая стадия – это многолетняя программа решения технических и инженерных проблем. Многие технологии будут продемонстрированы уже на физической стадии – из наиболее важных, например, работа сверхпроводящих магнитов, системы нагрева плазмы и поддержания тока, устройства для введения топлива и удаления «золы», инструменты для дистанционного обслуживания и внешние обеспечивающие системы. На технологической стадии будут испытываться интегральные характеристики и надежность оборудования, а также альтернативные материалы и конструкции.

Конструирование и инженерные разработки должны привести к созданию реактора ITER, который благодаря синтезу дейтерия и трития сможет генерировать мощность 1000 МВт. Это будет значительное достижение. Ожидаемый термоядерный выход будет на три порядка величины больше, чем уже достигнуто на установке JET, наиболее мощной термоядерной установке в настоящее время.

Способность генерировать термоядерную мощность, в 1000 раз большую, чем на существующих экспериментальных установках, сделает ITER предпоследним этапом на пути к практическому использованию управляемого термоядерного синтеза. Научные и инженерные знания, полученные в экспериментах на ITER, должны привести к созданию демонстрационной термоядерной электростанции, по-видимому, к сороковым годам текущего столетия.

Реакцию синтеза можно получить также, используя нагрев вещества импульсами лазерного излучения или ионных пучков длительностью порядка 10^{-9} с. Это направление во многом альтернативно первому, ориентировано на то, чтобы, не затрачивая усилий на удержание неустойчивых плазменных сгустков, создать такие условия (плотность), при которых основная часть термоядерного топлива сгорала бы быстрее, чем оно «замедлится». Временные параметры этого процесса определяется инерцией топливной смеси, поэтому он получил название инерционного термоядерного синтеза. При создании импульсной термоядерной установки трудности, которые в токамаке заключаются в удержании плазмы, трансформировались в задачу нагреть ее за очень малое время. В настоящее время создание импульсных реакторов находится на стадии обоснования концептуальных проектов.

Усилия ученых привели к тому, что в настоящее время по ряду параметров импульсный «термояд» начинает конкурировать с более традиционным магнитным удержанием плазмы.

Возможность создания термоядерных реакторов, работающих короткими импульсами при воздействии лазерных лучей или ионных пучков, в значительной мере зависит от успехов в разработке лазеров и

сильноточных ускорителей с высоким КПД. В настоящее время этот КПД еще очень низок. Сложную проблему представляет разработка такой системы утилизации термоядерной энергии, которая была бы способна уцелеть, несмотря на быстро повторяющиеся взрывы дейтерий–тритиевых «таблеток» под действием лазерных или ионных пучков. Достижение приемлемого энергетического выхода требует весьма высокой частоты повторения взрывов, аналогично повторяющимся актам зажигания горючей смеси в автомобильном двигателе внутреннего сгорания.

5.2. Магнитогидродинамическое преобразование энергии

Поиск способов повышения эффективности преобразования первичных топливно-энергетических ресурсов привел ученых-энергетиков и физиков к идее магнитогидродинамического преобразования энергии.

Магнитогидродинамический генератор (МГД-генератор) непосредственно преобразует тепловую энергию в электрическую и тем самым позволяет существенно повысить эффективность использования топливных ресурсов. Работы по созданию МГД-генераторов были впервые начаты в СССР и наибольших масштабов они достигли в 60–80-е годы.



Рис. 5.4. Схемы преобразования энергии:
а – паросиловое, б – магнитогидродинамическое

В паросиловых установках тепло, получаемое при сжигании топлива, превращается во внутреннюю энергию пара, температура и давление которого при этом повышаются. Затем в паровых турбинах энергия пара превращается в механическую, и только после этого в электрических генераторах механическая энергия преобразуется в электрическую. Эти многократные преобразования сопровождаются неизбежными потерями, снижающими эффективность всего цикла. В магнитогидродинамическом цикле (рис. 5.4, б) цепочка преобразований энергии значительно короче. Но не только в этом состоит преимущество МГД-преобразования энергии. КПД идеального теплового цикла Карно зависит от максимальной и минимальной температур рабочего тела.

В современных топках парогенераторов температура превышает 2000°С, а нагрев лопаток паровых турбин из-за ограниченной теплостойкости материала не должен превышать 750 °С, что ограничивает

КПД до 60 %.

В реальных условиях из-за несовершенства паросилового цикла КПД не удается повысить более чем до 40 %. В МГД-генераторах статические условия работы позволяют использовать материалы, на поверхности которых температура может достигать 2700–3000°C. Это открывает широкие перспективы повышения КПД преобразования энергии.

В качестве проводящего вещества в МГД-генераторах используются ионизированные газы. Чтобы обеспечить необходимую электропроводность газов, следует их температуру поддерживать не ниже 2000°C. Это обстоятельство не позволяет использовать МГД-преобразование во всем диапазоне температур от 3000 до 300 К. Поэтому МГД-генераторы целесообразно дополнять паротурбинными преобразователями, полезно использующими тепло газов, выходящих из каналов МГД-преобразователей.

Сочетание МГД-генераторов с паротурбинными преобразователями энергии позволит поднять КПД всей установки до 50–60 %, что означает экономию десятков миллионов тонн топливных ресурсов в год. Стационарные МГД-установки наиболее приспособлены для преобразования энергии в широких масштабах. Повышение КПД установок с МГД-генераторами позволит снизить топливные составляющие стоимости электроэнергии и уменьшить капитальные затраты на сооружение станций.

Принцип работы МГД-генератора. Закон электромагнитной индукции утверждает, что в проводнике (твердом, жидком или газообразном), движущемся в магнитном поле, индуцируется ЭДС.

Принципиальная схема действия МГД-генератора показана на рис. 5.5. Между металлическими пластинами 1, расположенными в сильном магнитном поле, пропускается струя ионизированного газа, обладающего кинетической энергией направленного движения частиц. При этом в соответствии с законом электромагнитной индукции появляется ЭДС, вызывающая протекание электрического тока между электродами внутри канала генератора и во внешней цепи. Поток ионизированного газа – плазмы – тормозится под действием электродинамических сил, возникающих при взаимодействии протекающего в плазме тока и магнитного потока.

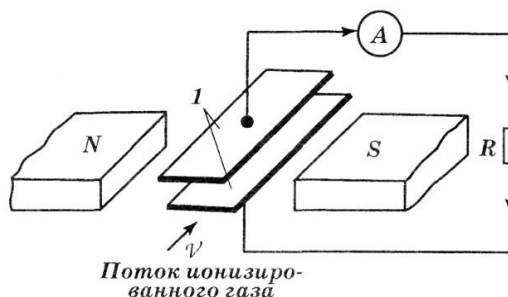


Рис. 5.5. Принцип работы МГД-генератора

Можно провести аналогию между этими возникающими силами и силами торможения, действующими со стороны рабочих лопаток паровых и

газовых турбин на частички пара или газа. Преобразование энергии и происходит путем совершения работы по преодолению сил торможения. Если какой-либо газ нагреть до высокой температуры, увеличив тем самым его внутреннюю энергию и превратив в электропроводящее вещество, то при последующем расширении газа в рабочих каналах МГД-генератора будет происходить прямое преобразование тепловой энергии в электрическую.

Трудности использования ионизированных газов состоят в том, что при такой высокой температуре происходит быстрое разрушение камеры сгорания, каналов и сопла, по которым происходит движение газового потока.

Добавление некоторых легко ионизирующихся щелочных металлов таких, как калий, натрий, в десятки тысяч раз увеличивает электропроводность газа. При этом можно ограничиться температурой $2500 \div 2700^\circ\text{C}$. Однако в этом случае возникают трудности, связанные с обеспечением необходимой коррозионной прочности материалов из-за повышения химической агрессивности среды, в которой должны работать эти конструкционные материалы.

Принципиальная схема МГД-генератора с паросиловой установкой показана на рис. 5.6. В камере сгорания производится сжигание органического топлива; получаемые при этом продукты в плазменном состоянии с добавлением присадок направляются в расширяющийся канал МГД-генератора. Сильное магнитное поле создается мощными электромагнитами.

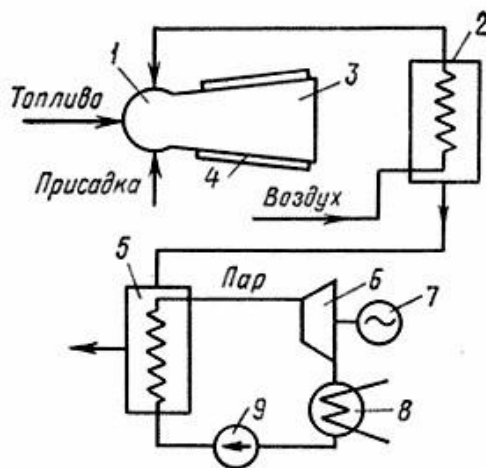


Рис. 5.6. Принципиальная схема МГД-генератора с паросиловой установкой:

- 1 – камера сгорания; 2 – теплообменник; 3 – МГД-генератор;
4 – обмотка электромагнита, 5 – парогенератор, 6 – турбина, 7 – генератор, 8 – конденсатор, 9 – насос

Тепло отработанных в МГД-генераторе газов вначале используется для подогрева воздуха, подаваемого в камеру сгорания топлива, и повышения тем самым эффективности процесса его сжигания. Затем это тепло в паросиловой установке расходуется на образование пара и доведение его

параметров до необходимых величин. Выходящие из канала МГД-генератора газы имеют температуру примерно 2000°C , а современные теплообменники, к сожалению, могут работать при температурах, не превышающих 800°C , поэтому при охлаждении газов часть тепла теряется.

Трудности в создании МГД-генераторов состоят в обеспечении конструкций материалами необходимой прочности. Несмотря на статические условия работы, к материалам предъявляют высокие требования, так как они должны длительно работать в агрессивных средах при высоких температурах.

В настоящее время созданы материалы, которые могут работать длительно при температуре $2200\div 2500^{\circ}\text{C}$ (графит и композиционные материалы на основе графитовых нитей, окись магния, нитриды (в частности, нитрид бора), материалы на основе нанопорошков и др.). Несмотря на достигнутые успехи, задача создания материалов для МГД-генератора полностью пока не решена. То же относится и к газам, из которых создается плазма. Например, гелий с небольшой добавкой цезия при температуре 2000°C имеет одинаковую проводимость с продуктами сгорания минерального топлива при температуре 2500°C . Разработан проект МГД-генератора, работающего по замкнутому циклу, в котором гелий непрерывно циркулирует в системе.

Для работы МГД-генератора необходимо создавать сильное магнитное поле, которое может быть получено пропусканием огромных токов по обмоткам. Во избежание сильного нагрева обмоток и потерь энергии в них сопротивление проводников должно быть по возможности наименьшим. Поэтому необходимо проработать вариант проекта МГД-генератора, в котором в качестве таких проводников использовались бы сверхпроводящие материалы.

Вслед за СССР вопросам создания промышленных МГД-установок уделяется большое внимание во многих индустриально развитых странах. Повышение КПД установок с МГД-генераторами улучшает технико-экономические показатели работы и способствует уменьшению загрязнения окружающей среды вследствие более полного использования вовлеченных в энергетическое производство природных ресурсов. Высокая стоимость МГД-генераторов, их низкая надежность и малый ресурс работы вследствие нерешенности ряда проблем, прежде всего материаловедческих, затормозили дальнейший прогресс в этом направлении. За рубежом сократились масштабы этих работ, а в России в девяностые годы эти работы полностью приостановлены.

5.3. Радиоизотопные источники энергии

Острая потребность в автономных источниках электрической энергии длительного действия с удельной энергоемкостью фотоэлементов, электрохимических топливных элементов, химических батарей во многих случаях может быть удовлетворена применением радиоизотопных

источников электрической энергии. В них утилизируется энергия распада радиоактивных изотопов, во все возрастающем количестве накапливающихся в сборных растворах атомной промышленности и тепловыделяющих элементах атомных электростанций. Они также могут быть получены при нейтронном облучении в ядерных реакторах.

Проблемами создания радиоизотопных источников энергии (РИЭ) занимаются во многих промышленно-развитых странах: США, Россия, Англия, Франция, Япония, Канада, Германия.

Такой повышенный интерес к рассматриваемому направлению использования атомной энергии объясняется в первую очередь существенными преимуществами перед другими автономными источниками электрической энергии: высокой энергоемкостью (тыс. Вт·ч/кг), длительным сроком службы (до 10 и более лет), достаточно высокой надежностью.

За сравнительно короткое время созданы генераторы различного назначения, а опытная эксплуатация отечественных и зарубежных РИЭ показала их высокую надежность. Со времени открытия Беккерелем в 1896 г. явления радиоактивности урановых солей науке стало известно более 1200 радиоактивных изотопов как природных, так и искусственных. При создании радиоизотопных источников тепла следует отдавать предпочтение такой химической форме и физическому состоянию радиоактивного препарата, которые соответствуют минимально возможной радиотоксичности при максимальном (для данного изотопа) удельном тепловыделении. Радиоактивный препарат должен представлять собой твердое не крошащееся, практически не растворимое в морской и пресной воде, не сублимирующее и не вступающее в реакцию с воздухом, водой и материалом ампулы вещество, имеющее высокую радиационную и термическую стойкость. Это должно обеспечивать минимальное рассеивание изотопа при непредвиденных аварийных разрушениях радиоизотопного источника тепла. Нижняя граница температуры плавления и кипения регламентирована и равна соответственно 500 и 1500°C.

Что касается радиационных характеристик, препарат должен содержать минимальное количество примесных радиоактивных изотопов с жестким γ -излучением и нейтронным излучением. Вещества, входящие в состав химического соединения или являющиеся носителями, должны состоять из элементов с малым атомным номером Z при создании топлива на основе β -радиоактивных изотопов и с большим Z при создании топлива на основе α -радиоактивных изотопов. Последнее требование вызвано необходимостью снижения выхода тормозного излучения в β -препаратах и нейтронного излучения в α -препаратах. Препарат должен также обладать достаточно высокой теплопроводностью и не содержать больших количеств примесных радиоактивных изотопов с периодом полураспада сильно отличающимся от основного изотопа. Низкая теплопроводность препарата приводит к существенному перепаду температуры внутри препарата и возможному нарушению его термостойкости, содержание же значительного количества короткоживущего изотопа – к существенному спаду начальной мощности, а

содержание долгоживущих изотопов – к снижению удельной мощности.

При использовании топлива, характеризующегося низкой удельной мощностью $R_{уд}$, чрезмерно возрастают размеры генератора, снижается его КПД, увеличивается вес. Приемлемая величина $R_{уд} \geq 0,1 \text{ Вт/см}^3$. Период полураспада должен быть больше или, по крайней мере, равным сроку службы генератора; при малом периоде полураспада и значительных сроках службы возникает необходимость регулирования теплового потока на термоэлектропреобразователь. Как правило, период полураспада радиоактивного изотопа не должен быть менее 100 дней и более нескольких лет. Изотопы с периодом полураспада свыше сотен лет имеют довольно низкие удельные характеристики ($R_{уд} \ll 0,1 \text{ Вт/см}^3$). Большое значение имеет также возможность получения топлива в достаточных количествах при относительно низкой стоимости.

В качестве основных видов топлива для РИЭ используются изотопы Sr^{90} , Cs^{137} , Ce^{144} , Pm^{147} .

Поскольку изотопы металлов, как правило, обладают большой радиотоксичностью, то в качестве топлива в РИЭ используют не металлы, а соединения на их основе. Последние являются инертными, стабильными и обладающими приемлемыми физическими свойствами (высокой теплопроводностью, высокой температурой плавления).

По физическим эффектам, лежащим в основе преобразования излучения радиоизотопов в электрическую энергию, устройства можно объединить в две группы: атомные батареи и радиоизотопные электрогенераторы. В свою очередь, различают атомные батареи следующих типов:

- с непосредственным сбором заряда,
- на полупроводниковом переходе,
- на контактной разности потенциалов,
- на фотоэлектрическом эффекте,
- на вторичной электронной эмиссии.

Радиоизотопные электрогенераторы разделяются на турбогенераторы, термоэмиссионные генераторы, термоэлектрические генераторы.

Атомными батареями обычно называют РИЭ, в которых преобразование энергии радиоактивного распада не связано с тепловым циклом.

Атомные батареи используются для питания приборов инфракрасного видения, эталонов напряжения, для зарядки дозиметров, автоматического подзавода часов и для других целей, т. е. в тех случаях, когда требуется высокая стабильность параметров при низком потреблении энергии. Батареи с непосредственным сбором заряда относятся к так называемым первичным, в которых собираются α - или β -частицы, испускаемые при радиоактивном распаде.

Если взять две пластины и на одну из них (излучатель) нанести радиоактивное вещество, то излучаемые частицы, накапливаясь на

противоположной пластине (коллекторе), заряжают ее соответственно знаку заряда частицы. Схема такой батареи показана на рис. 5.8.

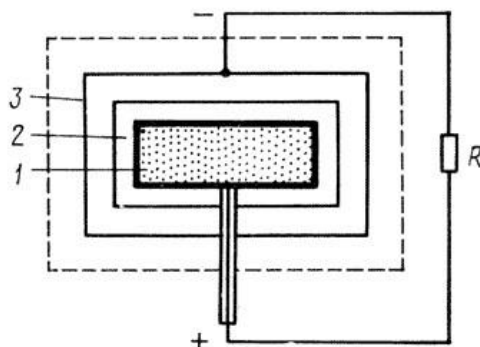


Рис. 5.8. Установка прямого преобразования ядерной энергии в электрическую: 1 – β -радиоактивный излучатель; 2 – металлическая; ампула; 3 – металлический сосуд

В случае β -излучателя пластина заряжается отрицательно, в случае α -излучателя – положительно (чаще всего применяются β -излучатели).

Для β -источников удельная мощность в среднем составляет несколько микроватт на милликюри; поскольку активность источника не превышает нескольких кюри, выходная мощность составляет около нескольких милливатт. Выходное напряжение таких источников зависит как от энергии β -частиц, так и от сопротивления изоляции между излучателем и коллектором. Реально достигнутые параметры батарей с прямым сбором заряда лежат в пределах: напряжение – $1 \div 100$ кВ, ток – $10^{-8} \div 10^{-12}$ А.

Батареи на полупроводниковом переходе относятся к вторичным РИЭ, т. к. в них собираются отрицательные или положительные заряды, возникающие в результате р-п-переходов при воздействии на полупроводник первичного излучения. Батарея состоит из источника излучения (β - или γ -излучателя) и полупроводника с р-п-переходом. Возможность использования γ -излучателя обусловлена тем, что γ -кванты в процессе взаимодействия с веществом выбивают электроны из кристаллической решетки полупроводника, образуя многочисленные пары носителей заряда – электронов (-) и «дырок» (+). Таким образом происходит как бы усиление первичного заряда β -частиц, достигающее величины порядка 10^5 , или преобразование энергии γ -квантов в энергию электронно-дырочных пар. Подобные источники могут иметь относительно низкое напряжение, но большие, чем в атомных батареях с непосредственным сбором заряда, токи. Мощность таких батарей ограничивается радиационной стойкостью полупроводникового перехода. Поэтому в качестве излучателей желательно брать источники мягкого излучения (например, Pm147). Опытные образцы имели мощность около 1 мкВт, напряжение составляло доли вольта, КПД $\approx 1\%$.

Батареи на контактной разности потенциала (вторичные РИЭ)

используют разницу в значениях работы выхода электронов из двух металлов, образующих пару. Эта разница называется контактной разностью потенциалов. Если между двумя разнородными металлами (электродами) находится ионизированный газ, то под действием контактной разности потенциалов при замыкании цепи, связывающей электроды, потечет ток. В таких устройствах может быть использован или самоионизирующийся радиоактивный газ, или газ, ионизируемый специальным источником. Поскольку одна β -частица может образовать сотни пар ионов, то ток в такой батарее примерно в 100 раз выше, чем в батареях с прямым сбором заряда, а э.д.с. ее равна разности работ выхода электродов (около нескольких вольт). Сила тока определяется концентрацией ионов, которая, в свою очередь, зависит от активности излучателя, энергии β -частиц, природы ионизируемого газа и т. д.

В фотоэлектрических батареях (третичные РИЭ) электрическая энергия получается в результате двукратного преобразования. При воздействии светового излучения на так называемые фотоэлементы образуется электрический ток. Сочетание радиоизотопных фосфоров и фотоэлементов позволяет создать фотоэлектрические батареи. Для получения большей эффективности преобразования световой энергии в электрическую в случае фотоэлектрических батарей световой спектр люминофора выбирается в области максимальной спектральной чувствительности фотоэлемента. Реальная мощность таких устройств порядка десятков микроватт, КПД 1–2%, напряжение – несколько вольт.

Батареи с вторичной электронной эмиссией работают следующим образом. Если поток, например, β -частиц направить на электрод, имеющий достаточно большой коэффициент вторичной эмиссии, то образуется поток вторичных заряженных частиц. Используя этот эффект, можно создать малогабаритный источник электрической энергии, причем для создания ускоряющего напряжения на последующих каскадах могут быть применены батареи с прямым сбором заряда. Э.д.с. однокаскадных батарей примерно равна энергии вторичных электронов.

Радиоизотопные турбоэлектрогенераторы пока не нашли практического применения, но они интересны тем, что в принципе могут обладать мощностью свыше 1 кВт. Принципиальная схема радиоизотопного турбогенератора представлена на рис. 5.9. Генератор состоит из радиоизотопного теплового блока 1, где происходит нагрев рабочего тела, из системы подачи 2 его на турбину 3 холодильника 4 и электрогенератора (динамомшины) 5. В качестве рабочего тела может быть использован жидкий металл (цикл Ренкина) или газ (цикл Брайтона).

Немаловажную роль играет надежность

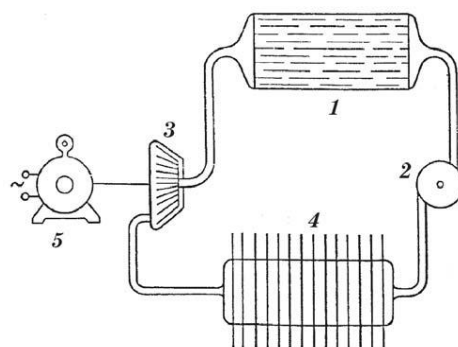


Рис. 5.9. Принципиальная схема радиоизотопного турбогенератора

работы турбины, генератора, насоса. Однако даже при достижении относительно больших сроков службы их надежность из-за наличия вращающихся элементов всегда будет ниже надежности термоэлектрических систем.

Ввиду более высоко КПД турбогенераторов по сравнению с термоэлектродгенераторами (при больших мощностях) турбогенераторы могут в дальнейшем найти применение, особенно в тех случаях, когда требуется не только электрическая, но и механическая энергия. Расчеты показывают, что при этом общий КПД установки составляет ~15 %.

Опыт разработки и эксплуатации радиоизотопных генераторов в различных районах земного шара и возрастающие возможности производства в большом количестве радиоактивных изотопов позволяют надеяться, что радиоизотопная энергетика получит дальнейшее широкое развитие.

5.4. Термоэмиссионные преобразователи

Явление термоэлектронной эмиссии было открыто Т. Эдисоном в 1883г. Работая над созданием электрической лампы, Эдисон помещал в колбе две нити. Когда перегорала одна из них, он поворачивал лампу и включал другую. Во время испытаний ламп обнаружилось, что некоторое количество электричества переходит к холодной нити, т. е. электроны «испаряются» с горячей нити – катода и движутся к холодной нити – аноду и далее во внешнюю электрическую цепь. При этом часть тепловой энергии, расходуемой на нагревание катода, переносится электронами и отдается аноду, а часть энергии электронов выделяется во внешней электрической цепи при протекании электрического тока.

Анод разогревается за счет тепла, приносимого электронами. Если бы температуры катода и анода были одинаковыми, то тепло «испарения» электронов с катода в точности было бы равно теплу «конденсации» электронов на анод и не было бы преобразования тепла в электрическую энергию. Чем меньше температура анода по сравнению с температурой катода, тем большая часть тепловой энергии превращается в электрическую.

Существуют два наиболее общих вида термоэмиссионных преобразователей (ТЭП): вакуумные и плазменные диоды. Источником тепловой энергии в изотопных ТЭП служат изотопы с большим удельным энерговыделением (Sm^{424} , Po^{210} и т. п.), необходимым для достижения высоких температур. Схема генератора представлена на рис. 5.10, а эскиз его конструктивного исполнения – на рис. 5.11.

Нагретый катод испускает электроны, которые пересекают узкий межэлектродный промежуток и попадают на относительно холодный анод. Если катод и анод, имеющие различную работу выхода, соединить через нагрузку, то вследствие возникающей разности потенциалов по ней пойдет электрический ток. По отношению внешней цепи катод будет положительным выводом термоэмиссионного генератора, а анод –

отрицательным.

Поступающая на катод тепловая энергия расходуется на преодоление работы выхода электронов из металла. Кроме того, имеются потери энергии вследствие лучеиспускания, конвекции и теплопроводности. Теряемая катодом энергия в основном поступает на анод. Для предохранения анода от перегрева его необходимо охлаждать.

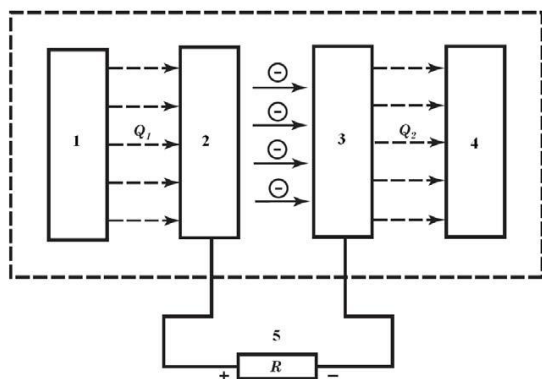


Рис. 5.10. Принципиальная схема радиоизотопного термоэмиссионного генератора

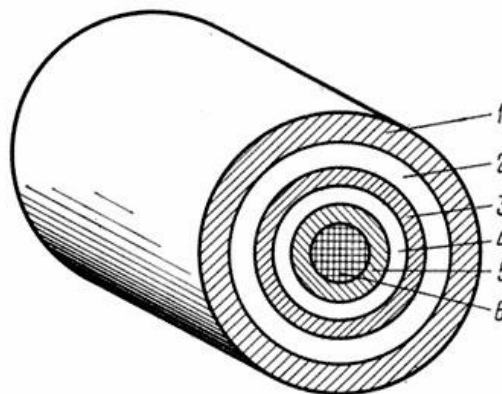


Рис. 5.11. Ядерный термоэмиссионный преобразователь:
1 – защита; 2 – охладитель;
3 – анод; 4 – вакуум;

Наиболее серьезная принципиальная трудность при создании ТЭП – возникновение пространственного заряда в промежутке анод–катод, что приводит к ограничению электронного тока. Для уменьшения объемного пространственного заряда стремятся сделать возможно меньшим зазор между катодом и анодом ($d \sim 2 \cdot 10^{-4}$ см в вакуумном диоде) или вводят пары веществ с низким потенциалом ионизации (например цезий) в плазменном диоде. Запирающее действие объемного заряда может быть уменьшено за счет увеличения скорости эмитированных электронов с помощью дополнительного ускоряющего электрода, на который подается высокий положительный потенциал, рис. 5.12. Траектория движения электронов при этом корректируется ускоряющим электродом и магнитным полем.

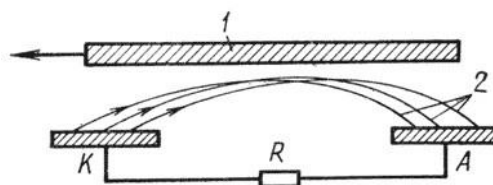


Рис. 5.12. Ускорение электрона в термоэмиссионном генераторе:
1 – ускоряющий электрод; 2 – траектории электронов;
А – анод; К – катод

Основными параметрами термоэмиссионного генератора являются КПД (эффективность) и удельная мощность, снимаемая с преобразователя (Вт/см^2). В случае газонаполненных диодов эти величины являются

функцией температуры катода (эммитера) T_k , температуры анода (коллектора) T_a , давления паров p , величины межэлектродного промежутка d и работы выхода анода и катода.

Эксперименты показывают, что удельная мощность для термоэмиссионных генераторов равна 5–10 Вт/см², причем для мощностей ~10 Вт КПД равен примерно 10 % (расчетный КПД ~30 %). Надо отметить, что создание термоэмиссионных генераторов сопряжено с серьезными техническими трудностями, связанными с подбором материалов, стойких по отношению к высоким температурам ($T_k \sim 2000$ °К, $T_a \sim 1500$ °К).

5.5. Термоэлектрические генераторы

Из всех устройств, непосредственно преобразующих тепловую энергию в электрическую, термоэлектрические генераторы (ТЭГ) в наши дни находят наиболее широкое применение (хотя пока при относительно небольшой мощности).

Термоэлектрические генераторы обладают специфическими особенностями, делающими их незаменимыми во многих случаях. К таким особенностям относится отсутствие движущихся частей, что, в частности, допускает использование более высоких температур цикла. Нет также необходимости в применении высоких давлений жидкостей или газов в основной схеме, поскольку цикл осуществляется посредством явлений, происходящих в самом термическом материале. Термоэлектрические генераторы можно использовать при больших и малых перепадах температур, а также при низких и высоких температурах, т. е. термоэлектрический цикл универсален, он допускает использование практически любых источников тепла.

Расход термоэлектрических материалов может быть небольшим, так как КПД термоэлемента теоретически не зависит от размеров, но связан со способами подвода тепла, с контактными сопротивлениями и другими конструктивными особенностями. Управление термоэлектрическим генератором может быть сведено только к регулированию источника тепла.

В настоящее время применение полупроводников и слоистых термоэлементов может обеспечить использование тепла с КПД более 10 %. Существенный вклад в развитие термоэлектрического метода внесли ученые нашей страны. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы под руководством академика А.Ф. Иоффе по термоэлектричеству в 30–40-х годах послужили толчком к началу исследований в США, Англии и Франции.

В настоящее время созданы термоэлектрогенераторы различных типов и назначений, использующие тепло радиоизотопных источников и ядерных реакторов, тепло органических топлив, солнца и выхлопных газов различных двигателей. Эти энергоустановки работают на автоматических метеорологических станциях в условиях Арктики и высокогорья, на космических, морских и подводных объектах, защищают от коррозии

трубопроводы в условиях пустыни и в ряде других случаев.

Экономисты показали, что когда КПД достигнет 15 %, термоэлектродгенераторы будут конкурировать со многими другими энергоисточниками в различных областях науки и техники.

С конца 50-х гг. стали разрабатываться и осуществляться термоэлектрические генераторы, использующие тепло распада радиоактивных изотопов и энергию деления урана в ядерных реакторах. Такие энергетические установки большой мощности нашли применение в космических аппаратах, работающих в отрыве от земных энергетических ресурсов, в морском деле (маяки, метеорологические станции) и в других областях техники. В 1964 г. в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова был пущен первый в мире ядерный реактор с термоэлектрическим генератором тока мощностью 500 Вт.

Широкое распространение получили ТЭГ мощностью от нескольких ватт до нескольких киловатт. Спроектированы и начали производиться пока в небольших масштабах ТЭГ мощностью в единицы и даже десятки МВт.

Принцип работы термоэлемента основан на эффекте Зеебека. Сущность эффекта Зеебека состоит в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных материалов, протекает ток при разных температурах контактов материалов. Экспериментальные исследования показали, что величина э.д.с. термопары зависит от используемых материалов и разницы в температуре горячего и холодного спаев.

Явление Зеебека можно качественно объяснить тем, что средняя энергия свободных электронов различна в разных проводниках и по-разному растет с температурой. Если вдоль проводника существует перепад температур, то возникает направленный поток электронов от горячего спая к холодному, вследствие чего у холодного спая образуется избыток отрицательных зарядов, у горячего – избыток положительных. Поток этот более интенсивен в тех проводниках, у которых концентрация электронов больше. Поэтому даже в простейшем термоэлементе, замкнутая цепь которого состоит из двух проводников с разными концентрациями электронов и спаи поддерживаются при разных температурах, возникает электрический ток. Чем меньше электропроводность материала, тем меньше скорость обратного перетока электронов, следовательно, тем выше э.д.с. Поэтому полупроводниковые элементы более эффективны, чем металлы.

Концентрацией и знаком электрических зарядов можно управлять, вводя в материалы полупроводников различные примеси. Термоэлектрический элемент образуется парой из полупроводников обоих типов – с электронной проводимостью дырочной проводимостью (р-тип). На рис. 5.13 показана термопара, образованная из полупроводников п- и р-типа. В обеих ветвях термопары носители зарядов перемещаются от горячего спая к холодному. Поскольку за положительное направление электрического тока принимается направление движения положительного заряда, то направления токов в ветвях схемы совпадают (показаны стрелками на рисунке). Чтобы получить значительные величины э.д.с., полупроводниковый ТЭГ

необходимо выполнить из множества последовательно соединенных термопар, каждая из которых состоит из полупроводников *p*- и *n*-типа.

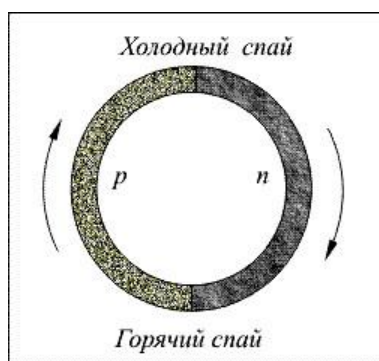


Рис. 5.13. Схема термоэлектрического элемента

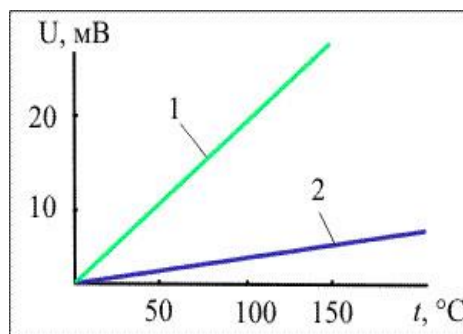


Рис. 5.14. Зависимости термо-э.д.с. от перепада температур

В полупроводниках, так же как и в металлах, термо-э.д.с. прямо пропорционально разности температур горячего и холодного концов стержня. Отличие состоит в том, что термо-э.д.с. у полупроводников в 40 с лишним раз больше, чем у металлов. Так, если в типичном металле при разности температур 55°C термо-э.д.с. равна $0,2\text{--}0,3$ мВ, то в полупроводнике, изготовленном из теллурида висмута, при этом же перепаде температур термо-э.д.с. равна 10 мВ. Примерные зависимости термо-э.д.с. от перепада температур приведены на рис. 5.14 для типичных полупроводников 1 и металлов 2.

Хорошая теплоизоляционная способность полупроводников позволяет создавать на их основе ТЭГ с большими перепадами температур, а, следовательно, и с большими величинами термо-э.д.с.

При рабочих температурах $T \geq 900\text{--}1000$ К целесообразны сплавы 20–30 % Ge-Si, а при $T \leq 600\text{--}800^{\circ}\text{K}$ — материалы на основе теллуридов и селенидов свинца, висмута и сурьмы. Схема кремниевого термоэлектрического элемента показана на рис. 5.15.

Тепло Q_1 подводится к термоэлектрическому элементу через стенку нагревателя 1 с помощью теплоносителя, тепловой трубы или при непосредственном контакте с зоной тепловыделения реактора. Через стенку 7 холодильника тепло Q_2 отводится от ТЭГ (излучением, теплоносителем или тепловой трубой). Спаи полупроводниковых кристаллических

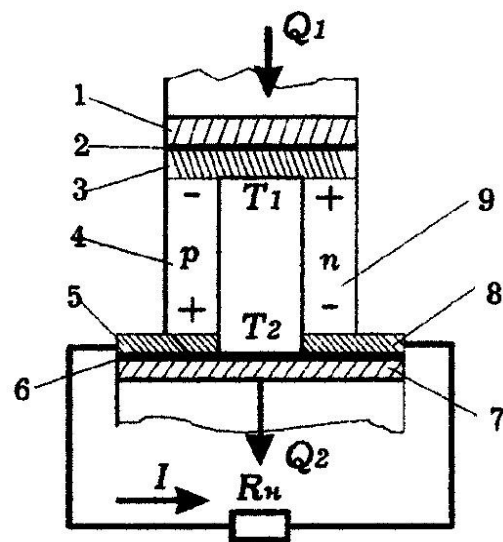


Рис. 5.15. Принципиальная схема элементарного полупроводникового ТЭГ

термостолбиков 4 и 9 образованы металлическими шинами 3 и 5, 8, которые электрически изолированы от стенок 1 и 7 слоями диэлектрика 2, 6 на основе оксидов с разностью температур $\Delta T = T_1 - T_2$.

Эффективность ТЭГ обеспечивается существенной разнородностью структуры ветвей 4 и 9. Ветвь *p*-типа с дырочной проводимостью получается введением в сплав Si-Ge акцепторных примесей атомарного бора В.

Ветвь *n*-типа с электронной проводимостью образуется при легировании Si-Ge донорными атомами фосфора Р. Из-за повышенной химической активности и малой механической прочности полупроводниковых материалов соединение их с шинами 3, 5, 8 выполняется прослойками из сплава кремний-бор. Для достижения стабильной работы батарея ТЭГ герметизирована металлической кассетой, заполненной аргоном.

Для эффективной работы промышленного ТЭГ потребуется температуру горячего спая довести до величины примерно 1100 °С. Трудности в повышении температуры полупроводников состоят в том, что с ростом температуры полупроводники различных типов проявляют тенденцию к превращению в собственно полупроводники, у которых числа носителей положительных и отрицательных зарядов равны. Эти заряды при создании градиента температуры перемещаются от горячего спая к холодному в равном количестве и, следовательно, не создается термо-ЭДС.

В настоящее время широко ведутся исследования по созданию полупроводников, работающих при высоких температурах. При нагреве горячих спаев тепло и получаемым в реакторах при делении ядер тяжелых элементов требуется преодоление ряда трудностей, возникающих, в частности, при сильном радиационном воздействии на полупроводниковые материалы. На рис. 5.16. показана схема генератора, в котором тепло получается при сжигании органического топлива. Существенный недостаток таких генераторов – использование обычного органического топлива нерационально из-за больших потерь тепла, уносимого газами.

Судьба промышленного применения ТЭГ во многом зависит от успехов поиска материалов, которые обладали бы свойствами полупроводников в условиях высоких температур и интенсивного радиоактивного облучения.

Вопрос о целесообразности применения тех или иных источников энергии решается в пользу ТЭГ в тех случаях, когда ведущее значение принадлежит не КПД, а компактности, надежности, портативности, удобству.

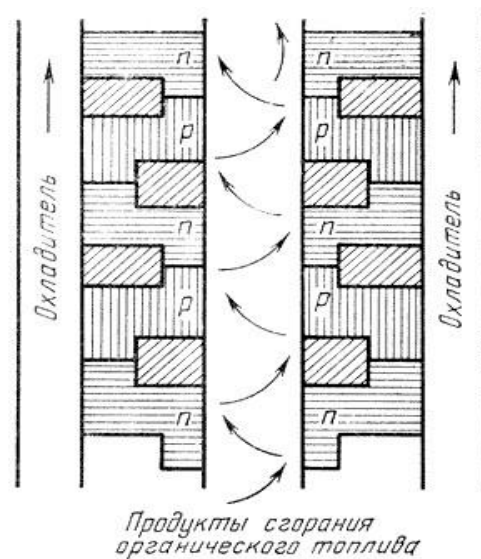


Рис. 5.16. ТЭГ на органическом топливе

Тема 6. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ДИАГНОСТИКА ЭЭС И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

6.1. Виды систем электроснабжения

Проектирование и строительство энергосистем общего, бесперебойного и гарантированного электроснабжения административных, промышленных, телекоммуникационных и жилищно-хозяйственных объектов, обеспечивает поставку электрооборудования, осуществляет строительные-монтажные и пусконаладочные работы, а также гарантийное и послегарантийное обслуживание.

В рамках стратегии "обеспечения непрерывности бизнеса" одним из наиболее ответственных направлений работы является электроснабжение предприятия. В дата-центрах и узлах связи располагается компьютерное оборудование, чувствительное к качеству и бесперебойности работы системы электроснабжения. К оборудованию резервных офисов и "интеллектуальных зданий" предъявляются менее строгие требования по электроснабжению. Поэтому уже на этапе проектирования системы учитываются все потребители электроэнергии с их требованиями к непрерывности питания, и в соответствии с этими условиями выбирается конфигурация системы и используемое оборудование.

Система общего электроснабжения (СОЭ) предназначена для обеспечения электроэнергией потребителей всех видов, имеющих в задании, в том числе и электроприемников системы бесперебойного электроснабжения.

СОЭ включает в себя:

- питающие линии;
- трансформаторные подстанции (ТП) и вводно-распределительные устройства (ВРУ);
- главный распределительный щит (ГРЩ);
- распределительные и групповые щиты;
- распределительные и групповые сети.

При создании СОЭ используется только высококачественное оборудование: низковольтные распределительные устройства (НРУ), щиты станций управления (ЩСУ - motor control center) двигательной нагрузкой, в т.ч. с применением частотного привода (на основе комплектных распределительных устройств кассетно-модульного исполнения - MNS).

Система бесперебойного электроснабжения (СБЭ) - это электроустановка, осуществляющая электроснабжение в случаях отключения основных источников внешнего электроснабжения за счет энергии, накопленной в аккумуляторах источников бесперебойного питания на время до восстановления внешнего электроснабжения или включения резервных источников гарантированного электроснабжения.

СБЭ обеспечивает следующие возможности: электроснабжение "без разрыва синусоиды"; время автономной работы, необходимое для корректного завершения процессов в информационных и телекоммуникационных системах, без потери информации и повреждения оборудования; электроснабжение с требуемыми показателями качества электроэнергии; электромагнитную совместимость оборудования.

СБЭ состоит из:

- источников бесперебойного питания;
- главного распределительного щита;
- распределительных щитов;
- распределительных и групповых сетей;

Система гарантированного электроснабжения (СГЭ) - это электроустановка, осуществляющая электроснабжение потребителей от резервной дизель - электростанции (ДЭС) в случае отключения основных источников питания. СГЭ состоит из следующих компонентов:

- дизель-генераторных установок;
- распределительных щитов;
- устройств автоматического включения резерва.

При этом проектируются следующие системы:

- Трансформаторные подстанции, распределительные устройства низкого и высокого напряжения (0, 4 кВ, 6 - 10 кВ, 30 - 110 кВ);
- главные распределительные щиты;
- водно-распределительные устройства;
- распределительные и групповые сети;
- системы учета электроэнергии;
- системы рабочего, аварийного и наружного освещения зданий;
- системы контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА);
- отказоустойчивые системы электроснабжения на базе масштабируемых источников бесперебойного питания (ИБП) типа энергетический массив (до 1000 kVA);
- быстромонтируемые распределенные системы бесперебойного электроснабжения на базе off-line и on-line ИБП;
- системы бесперебойного электроснабжения для объектов интенсивного оснащения - телекоммуникационные и обрабатывающие центры, серверные помещения, центры электронной торговли, банковские учреждения;
- обеспечение бесперебойного электроснабжения систем связи, систем безопасности, аварийных систем;
- обеспечение бесперебойного электроснабжения VIP-зон;
- системы мониторинга бесперебойного электроснабжения;
- управляемая система гарантированного электроснабжения здания на основе ДГУ (до 1000 kVA);
- системы мониторинга гарантированного электроснабжения.

6.2. Качество электроэнергии в системах электроснабжения

Электрическая энергия как товар обладает целым рядом специфических свойств. Она непосредственно используется при создании других видов продукции и оказывает существенное влияние на экономические показатели производства и качество выпускаемых изделий. Понятие качества электрической энергии (КЭ) отличается от качества других товаров. Качество электрической энергии проявляется через качество работы электроприемников (ЭП). Поэтому если ЭП работает неудовлетворительно, и в каждом конкретном случае качество электрической энергии соответствует установленным требованиям, то причину следует искать в качестве изготовления ЭП. Если параметры КЭ не соответствуют требованиям, то предъявляются претензии поставщику – электроснабжающей организации.

Качество электрической энергии на месте производства не гарантирует ее качества в точке присоединения потребителя. Характер самого производственного процесса существенно влияет на параметры КЭ, и в точке присоединения оно может быть различно до и после включения потребителя. Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду. Электроприемники и аппараты, присоединенные к электрическим сетям, предназначены для работы при определенных номинальных параметрах: номинальной частоте, номинальном напряжении, номинальном токе, изменяющемся по синусоидальному закону. В системе электроснабжения всегда возможно отклонение от этих требований, определяемых показателями качества электрической энергии (ПКЭ).

Качество электрической энергии – это совокупность ее характеристик по частоте и напряжению, называемых **показателями качества электрической энергии (ПКЭ)**, определяющих воздействие электрической энергии на электрооборудование, электрические аппараты и приборы, подключенные к электрической сети, оцениваемое по соответствию этих ПКЭ установленным требованиям. В терминах электромагнитной совместимости ПКЭ – уровень электромагнитной помехи, создаваемой кондуктивным путем в электрической сети в едином и неразрывном процессе производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) характеризует не только взаимодействие между электрическими приборами, аппаратами, электрооборудованием и электромагнитной средой, но и взаимодействия этих технических средств между собой. Под ЭМС понимают способность электротехнических средств или их элементов нормально функционировать в данной электромагнитной среде, не внося недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) в эту среду и не испытывая таковых с ее стороны.

Если ЭМС не обеспечена, т.е. отдельные элементы электротехнических средств или прибор в целом не обладают заданной помехоустойчивостью к внутренним (между элементами) и внешним (по отношению к прибору)

помехам, то тем самым создаются условия для:

- функциональных нарушений с большими или меньшими последствиями, связанными с отказами, с сокращением срока службы и выходом из строя оборудования, браком продукции, авариями, ложными срабатываниями защиты и автоматики и т. п.;
- ухудшения качества электроэнергии;
- ухудшения электромагнитной обстановки в окружающем пространстве;
- поражения обслуживающего персонала.

Предпосылкой для этого являются неучтенные ЭМП или ЭМП, защита от которых не предусмотрена.

Электромагнитная помеха – это случайное электромагнитное воздействие, способное вызывать в электротехническом устройстве нарушение функционирования, отказ, разрушение. Помеха может проявляться как ток, напряжение, электромагнитное поле. В практике различают **кондуктивные** и **полевые ЭМП**.

К **кондуктивным** относятся помехи, распространяющиеся по проводам, в частности по электрической сети.

Полевые помехи распространяются через окружающее пространство. Помехи создаются источниками помех, которыми могут быть как электротехнические средства, так и электротехнологические процессы. Так, например, воздушная линия высокого напряжения (средство) создает полевые помехи при передаче электроэнергии (технологический процесс), влияющие на линии связи. Напряженность электрического и магнитного полей вокруг линии электропередачи характеризует электромагнитную обстановку. Преобразователи тяговой подстанции электрифицированного транспорта создают кондуктивные помехи в электрической сети, от которой они питаются. Искажения синусоидальной формы напряжения под воздействием протекающих по электрической сети токов высших гармоник характеризуют электромагнитную обстановку в этой сети.

Важной характеристикой электромагнитной обстановки является уровень ЭМС.

Уровень ЭМС – это установленное значение ЭМП, при котором с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное взаимодействие (функционирование) всех технических средств, являющихся как источниками помех, так и средствами, восприимчивыми к этим помехам.

Так, нормированные (допустимые) значения ПКЭ являются теми уровнями ЭМС электрической сети, при которых гарантируется нормальное функционирование любых электротехнических средств, подключенных к этой сети, если эти ПКЭ не превосходят допустимых значений. С другой стороны, электротехнические средства характеризуются своими допустимыми уровнями ЭМС, которые определяют их помехоустойчивость, при которой и гарантируется нормальное функционирование этих средств. Очевидно, уровни помехоустойчивости должны быть выше значений ПКЭ в электрической сети.

Уровень ЭМП может достигнуть порогового значения, превышающего

уровень помехоустойчивости конкретного устройства, что вызовет нарушение его функционирования (отказ). Такое пороговое значение называется **помеховосприимчивостью**. Нарушение функционирования может быть как обратимым, так и необратимым. В первом случае, после снятия нарушающего воздействия или снижения уровня ЭМП, устройство восстановит свои функциональные возможности. Во втором случае, очевидно, под воздействием помехи произошли необратимые изменения в элементах устройства, в результате чего устройство утратило свои функциональные возможности.

Многие виды кондуктивных помех приводят к дополнительному нагреву электрооборудования или его элементов под воздействием повышенного напряжения, токов высших гармоник, токов обратной последовательности. Дополнительный нагрев приводит к нарушению изоляции, разрушению конструктивных элементов электрооборудования и, таким образом, к необратимому нарушению функционирования. Однако эффект от дополнительного нагрева проявляется не сразу, а со временем. Поэтому если воздействие рассматриваемых помех было кратковременным, то после их устранения устройство не утратит своих функциональных возможностей. Таким образом, **время воздействия** ЭМП также следует отнести, наряду с уровнями, к характеристикам ЭМС. Так, например, нормально допустимые уровни ЭМС электрической сети, ее ПКЭ, могут быть превышены, но не более чем в течение 72 мин за сутки, что составляет 5% от 24 час.

На рис. 6.1 приведены уровни ЭМС электрической сети 1 и электроприемника, подключенного к этой сети. При этом помехоустойчивость электроприемника 2 и его помеховосприимчивость 3 остаются постоянными, а уровень помех в сети 1 возрастает. Очевидно, что в случае, показанном на рис. 6.1.а, нормальное функционирование электроприемника обеспечено. В случае, приведенном на рис. 6.1.б, нормальное функционирование электроприемника может быть обеспечено, если длительность воздействия ЭМП ограничена по времени. И в случае, показанном на рис. 6.1.в, нормальное функционирование невозможно.

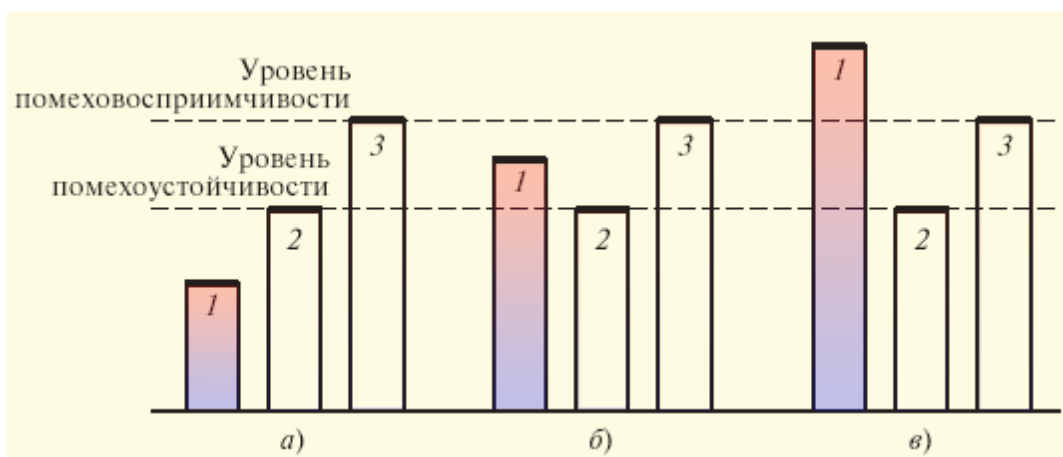


Рис. 6.1. Характеристика электромагнитной среды по уровням ЭМС

Качество электроэнергии учитывает все аспекты ЭМС, но характеризует только электрическую сеть. Установленные для нее допустимые уровни ЭМС называют показателями качества электроэнергии.

Нормативные значения ПКЭ и их перечень установлены ГОСТ 13109-97, который является ориентиром для разработчиков аппаратуры и электрооборудования, подключаемого к сети, в части их помехоустойчивости, с одной стороны, и уровня вносимых ими помех, с другой. Если уровень помехоустойчивости этих технических средств выше предельно допустимых значений ПКЭ в сети, ЭМС будет обеспечена.

Фактические значения ПКЭ должны контролироваться с помощью специализированных средств измерения в условиях эксплуатации, а соответствующие характеристики электроприемника – путем необходимых испытаний при их разработке и производстве.

Все 11 ПКЭ, которые установлены ГОСТ 13109-97, могут быть условно разделены на три группы.

К первой группе можно отнести **отклонения частоты** и **отклонения напряжения**, которые связаны с особенностями технологического процесса производства и передачи электроэнергии. Качество регулирования отклонений частоты и напряжения определяет их уровень в электроэнергетической системе.

Ко второй группе можно отнести ПКЭ, характеризующие **несинусоидальность** формы кривой напряжения, **несимметрию** и **колебания напряжения**. Источниками этих искажений (эмитентами) являются, главным образом, электроприемники. Для координации ЭМП, вносимых такими электроприемниками, необходимо применение технических мероприятий как на этапе разработки и производства, так и в процессе их эксплуатации.

К третьей группе можно отнести ПКЭ, характеризующие случайные электромагнитные явления и электротехнические процессы, неразрывно связанные с технологическим процессом производства, передачи и потребления электроэнергии. К ним относятся **провалы напряжения**, **перенапряжения** и **импульсы напряжения**, которые возникают в системе электроснабжения в большинстве случаев в результате коммутаций электрооборудования или разрядов молнии на линию электропередачи.

Показатели качества электроэнергии первых двух групп нормируются ГОСТ, и на них установлены два допустимых уровня: нормальный и предельный. ПКЭ третьей группы не нормируются, однако статистическая информация о них имеет большое значение для нормальной эксплуатации электроэнергетической системы.

Отклонение частоты. Частота f является общесистемным параметром режима ЭЭС и определяется **балансом активной мощности**. При возникновении дефицита генерируемой мощности в системе происходит снижение частоты до такого значения, при котором устанавливается новый баланс генерируемой и потребляемой мощности. При избытке генерируемой мощности, наоборот, частота повышается.

Частота переменного тока в электроэнергетической системе определяется частотой вращения генераторов электростанций. Номинальное значение частоты 50 Гц (в некоторых странах 60 Гц). В каждый момент времени в ЭЭС должно быть обеспечено равенство между мощностью генераторов электростанций и мощностью, потребляемой нагрузкой, с учетом потерь мощности в элементах электроэнергетической системы. Регулирование частоты в ЭЭС возможно только при наличии резерва активной мощности на электростанциях. Ввод резервной активной мощности возможен в ЭЭС за счет дополнительного расхода энергоносителя первичного двигателя (турбины) генератора.

Качество электроэнергии по частоте характеризуется отклонением частоты Δf :

$$\Delta f = f_y - f_{\text{НОМ}},$$

где $f_{\text{НОМ}}$ – номинальное значение частоты, Гц;

f_y – фактическое установившееся (измеренное) значение частоты, Гц.

Отклонение напряжения. Напряжение в узлах электроэнергетической системы может быть различным и определяется **балансом реактивной мощности** в этих узлах. Отличие фактического установившегося напряжения U_y в заданной точке сети от его номинального значения $U_{\text{НОМ}}$ характеризуется отклонением напряжения ΔU_y . Отклонения напряжения, определяемые в процентах от номинального значения, устанавливаются в том или ином узле ЭЭС в зависимости от параметров сети и нагрузки узла:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} 100.$$

Обеспечение требований по допустимым отклонениям напряжения в каждой точке сети без специальных регулирующих устройств возможно только тогда, когда суммарные потери напряжения относительно невелики. Такие условия могут быть в сетях относительно небольшой протяженности с малым числом промежуточных трансформаций и небольшой нагрузкой.

Современные ЭЭС характеризуются большой протяженностью линий различных номинальных напряжений и многоступенчатой трансформацией. Поэтому передача электроэнергии от ее источников до приемников, когда суммарные потери напряжения велики, невозможна без специальных средств регулирования напряжения.

В распределительных электрических сетях отклонения напряжения обычно определяются в характерных точках. Это – точки, удаленные от центров питания (ЦП), оборудованных трансформаторами с регулируемым под нагрузкой коэффициентом трансформации.

Колебания напряжения. Если отклонения напряжения создаются под воздействием относительно медленных изменений нагрузки, определяемых ее графиком, то быстрые изменения нагрузки создают колебания напряжения. Колебания напряжения определяются по огибающей действующих или амплитудных значений напряжения и характеризуются

размахами δU_t и частотой повторения изменений напряжения или **интервалами между изменениями напряжения**. Размах изменения напряжения оценивается в процентах на каждом полупериоде основной частоты как

$$\delta U_t = \frac{U_{i2} - U_{i1}}{U_{\text{НОМ}}} 100,$$

где U_{i2} и U_{i1} – значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка.

Еще одной характеристикой колебаний напряжения является **доза фликера**. Необходимость введения ПКЭ, характеризующего колебания напряжения, возникла в результате обнаружения воздействия этого явления на зрение человека, вызывающего физиологическую усталость от мерцания светового потока, создаваемого источниками света. Фликер обладает кумулятивным (накапливающимся) воздействием, эффект от которого тем больше, чем больше размах колебаний и частота их повторения.

Процесс зрительного восприятия фликера, создаваемого колебаниями прямоугольной формы, находится в диапазоне частот $0 < f < 35$ Гц и размахов $0 < \delta U_t < 10$ % номинального напряжения. Экспериментально доказано, что наиболее раздражающее действие фликера наступает при $\delta = 8,8$ Гц, когда $\delta U_t = 0,29$ %.

Источниками колебания напряжения в электроэнергетических системах являются мощные электроприемники, характеризующиеся резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощности. Для таких электроприемников характерны следующие условия электропотребления: их питание осуществляется от шин напряжением 35–220 кВ, а колебания потребляемой активной и реактивной мощности в диапазоне 10–130 % происходят со скоростью нарастания до 200 МВ А/с. Как правило, такие электроприемники имеют нелинейную вольт-амперную характеристику.

К ним относятся в приоритетном порядке по степени воздействия на ухудшение качества электроэнергии: дуговые сталеплавильные печи, рудно-термические печи, электродвигатели большой мощности (в частности, прокатных станов), индукционные печи, машины контактной сварки, преобразователи электролизных установок. Так, при работе дуговой печи ДСП-100 на напряжении 35 кВ в период расплава размахи δU_t в сети достигают 4,3– 8,2 % при $\cos\varphi = 0,1– 0,3$. При этом частота колебаний напряжения составляет 8,3 Гц.

Несинусоидальность напряжения. Значительную долю нагрузки в электрической сети представляют электроприемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Такие электроприемники потребляют ток, форма которого существенно отличается от синусоидальной. Протекание несинусоидального тока по элементам электрической сети создает в них падения напряжения, определяемые кривой тока, что и является причиной искажения синусоидальной формы напряжения в той или иной точке (узле) сети.

Электроэнергия – особый продукт производства. Особенность ее состоит в том, что в любой момент времени «объем» производства электроэнергии равен «объему» потребления, включая потери. Этот процесс характеризуется балансом мощности, который должен обеспечить заданный режим системы электроснабжения по частоте и напряжению.

Отклонение частоты влияет на работу прежде всего вращающихся машин, доля которых в нагрузке системы составляет 50–60 %. Вместе с тем снижение частоты приводит и к снижению частоты вращения электродвигателей и снижению производительности вращаемых ими механизмов. Одновременно со снижением потребляемой активной мощности происходит рост потребляемой реактивной мощности, что способствует снижению напряжения в узлах системы электроснабжения. В статических аппаратах, например в трансформаторах, со снижением частоты возрастает ток намагничивания и, следовательно, растут потери в стали. Если пониженная частота поддерживается в результате ограниченного резерва активной мощности, то при резком и значительном увеличении нагрузки может возникнуть аварийная ситуация, требующая экстренной разгрузки системы с целью восстановления частоты в допустимых для нормальной работы пределах. Эта операция осуществляется средствами автоматической частотной разгрузки (АЧР). Предельным случаем нарушения баланса активной мощности является потеря синхронизма включенных в электроэнергетической системе электростанций или нарушение устойчивой работы системы в целом.

Что же касается отклонений напряжения, то они влияют, прежде всего, на потери электроэнергии и мощности. Эти потери пропорциональны квадрату приложенного напряжения. Таким образом, превышение допустимых отклонений напряжения в сторону их увеличения приводит к дополнительному нагреву электроприемника и, следовательно, сокращению срока его службы. Снижение напряжения может привести к нарушению функционирования электроприемники. Чувствительны к снижению напряжения все электроприемники.

Особенно чувствительны к отклонениям напряжения источники освещения. Так, лампы накаливания при $\delta U = -10\%$ снижают световой поток на 40 %, правда, при этом возрастает срок их службы. Но при $\delta U = +10\%$ световой поток возрастает тоже на 40 % при сокращении срока службы в 4 раза. Газоразрядные лампы менее чувствительны к отклонениям напряжения. В помещениях, оснащенных такими источниками, освещенность снижается на 10–15 % при $\delta U = -(5–7)\%$, но при $\delta U = -10\%$ лампы начинают мерцать и при $\delta U = -20\%$ гаснут.

Несмотря на то, что отклонения частоты и напряжения являются результатом единого процесса производства и передачи электроэнергии, поддержание их в допустимых пределах возлагается на энергоснабжающую организацию, которая только и располагает средствами регулирования напряжения и частоты.

Снижение эффективности функционирования электроприемников происходит и при выходе за допустимые пределы ПКЭ, характеризующих несинусоидальность, несимметрию и колебания напряжения. Это проявляется в увеличении потерь мощности и электроэнергии, сокращении срока службы электроприемников, увеличении капиталовложений в систему электроснабжения, увеличении потребления реактивной мощности, нарушении технологического процесса производства, отказах аппаратуры, приборов, электрооборудования и т. п. Наиболее значимо это проявляется в увеличении потерь электроэнергии в таких видах электрооборудования, как асинхронные двигатели, синхронные машины, трансформаторы, конденсаторные батареи, осветительные приборы, линии электропередачи.

6.3. Диагностика электроэнергетического оборудования

Оценка фактического состояния силового электрооборудования по результатам диагностических измерений является на сегодняшний день очень сложной и актуальной задачей. Большая часть электрического оборудования станций, подстанций системы генерации, передачи и распределения электроэнергии выработала свой ресурс, но продолжает эксплуатироваться, так как требуются большие финансовые средства на его замену. Соответственно с каждым годом возрастают затраты на проведение комплексных обследований и диагностики.

В современных условиях эксплуатации парка силового трансформаторного оборудования на энергопредприятиях России следует выделить два момента:

1. Переход от нормативно-установленных сроков ремонта оборудования к ремонту в зависимости от технического состояния.
2. Значительное нарастание парка оборудования отработавшего установленный нормативный срок службы.

Анализ повреждаемости парка блочных трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110–500 кВ мощностью 63 МВА и более, эксплуатируемых на тепловых и гидравлических электростанциях России показывает, что удельное количество технологических нарушений в работе указанных трансформаторов, приведших к отключению действием автоматических защитных устройств или вынужденному отключению персоналом по аварийной заявке, составляет 2,4% в год. При этом 27% от общего числа таких технологических нарушений сопровождалось возникновением внутренних коротких замыканий.

Из имевших место случаев с внутренними КЗ 28% сопровождалось взрывами и пожарами трансформаторов. При этом удельная повреждаемость блочных трансформаторов напряжением 110-500 кВ мощностью 63 МВА и более, сопровождавшихся внутренним коротким замыканием, составляет – 0,66% в год.

К числу основных причин, которые могут приводить к возникновению внутренних коротких замыканий в силовых трансформаторах из-за развития

физико-химических процессов следует выделить:

- загрязнение и увлажнение твердой изоляции, обуславливающее перераспределение напряжения на ее участках;
- загрязнение и увлажнение масла, снижающее его электрическую прочность;
- газовыделение из изоляции;
- развитие коллоидно-дисперсных процессов в высоковольтных герметичных вводах, что ведет к снижению прочности масляного канала.

Существенные темпы старения парка электрооборудования в свою очередь потребовали оценки его работоспособности и продления срока службы. Расчеты показывают, что в нынешней ситуации экономически целесообразно продление срока службы на 20 – 30 лет.

В большинстве развитых стран имеются программы обследования оборудования с целью поддержания его надежности на нужном уровне.

Характерные черты современного развития техники контроля состояния силовых трансформаторов:

- создание комплексов различных методов для контроля в работе, периодических проверок и полного обследования. Задача таких комплексов – стремление выявить максимально возможное число видов дефектов, опасных для эксплуатации трансформатора;
- использование при контроле новейших технологий в области измерительной техники: волоконно-оптических устройств, газохроматографического анализа, жидкостной хроматографии, термографии, вибрационных и акустических датчиков высокой чувствительности, газоотделяющих молекулярных мембран, полупроводниковых датчиков газо- и влагосодержания масла и пр.;
- широкое применение вычислительной техники для обработки данных, включая спектральный и частотный анализы, системы защиты от помех, логические системы для анализа полученных данных, сравнения с нормативами, определения тенденций изменения контролируемых параметров. Сбор, передача и отображение данных в удобном для оперативного персонала виде;
- использование «интеллектуальных» систем для анализа результатов измерений, учета условий работы оборудования, в том числе, предыстории его эксплуатации, для постановки диагноза, выдачи рекомендаций оперативному персоналу, решения о дальнейшей работоспособности трансформатора.

В последнее время начали применять анализ развития дефектов и оценку состояния оборудования с применением аппарата нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

В ходе эксплуатации из-за процессов старения материалов и внешних воздействий надежность оборудования снижается, поэтому необходимо проведение работ по поддержанию требуемого технического состояния.

Задачами диагностики трансформаторного оборудования являются: выявление дефектов и повреждений, оценка функциональной исправности оборудования, определение возможности продолжения эксплуатации без ремонта, определение объема ремонта в случае его необходимости, оценка остаточного срока службы и мер по продлению срока службы.

Современная система диагностики должна быть системой раннего выявления развивающихся дефектов.

Для создания эффективной системы эксплуатационного контроля электрооборудования необходимо:

1. Обобщить и проанализировать опыт эксплуатации, выявить дефекты, приводящие к отказам, причины их возникновения и ход развития;

2. Определить наблюдаемые параметры (характеристики) оборудования, изменение которых связано с возникновением и развитием дефектов;

3. Выявить связи между значениями параметров и техническим состоянием оборудования; установить предельные значения параметров, характеризующие переход объекта в другой класс технических состояний;

4. Разработать методы измерения этих параметров в условиях эксплуатации, выявить источники помех, определить реально выявляемые изменения параметров (чувствительность метода измерения);

5. Исходя из взаимосвязи изменений совокупности наблюдаемых параметров и технического состояния оборудования, определить объем и периодичность испытаний, а также их последовательность (алгоритм контроля);

6. Установить критерии браковки, учитывающие всю совокупность наблюдаемых изменений технического состояния, оценку их тенденций и условий эксплуатации.

Повреждения по характеру их развития можно разбить на следующие основные группы:

1. Повреждения, при которых переход из исправного (работоспособного) состояния в неработоспособное (отказ) происходит очень быстро (мгновенный отказ);

2. Локальные повреждения (дефекты), которые развиваются до отказа в течение нескольких суток или месяцев;

3. Повреждения (дефекты) с длительным периодом развития до нескольких лет, которые можно рассматривать как процесс ускоренного старения.

Возможны два способа организации контроля оборудования под напряжением:

1. Ранняя диагностика, т.е. выявление признаков ухудшения технического состояния, вызывающих изменения значений контролируемых параметров;

2. Сигнализация предельных состояний, т.е. выявление признаков ухудшения технического состояния, являющихся опасными с точки зрения надежности оборудования.

Ошибки контроля связаны с достоверностью метода диагностики и ошибками испытаний (измерений).

Применяемые методы диагностики не обеспечивают полной достоверности оценки состояния объекта. Результаты измерений включают в себя ошибки, определяемые погрешностями приборов и влиянием помех. Поэтому всегда существует вероятность получения ложного результата контроля:

1. Исправный объект будет признан негодным (ложный дефект или ошибка первого рода);

2. Несправный объект будет признан годным (необнаруженный дефект или ошибка второго рода).

Ошибки первого рода (ложный дефект) увеличивают объем восстановительных работ. Ошибки второго рода (необнаруженный дефект) влекут за собой аварийное повреждение оборудования.

Достоверность метода диагностики определяется степенью связи технического состояния объекта с отображающими его параметрами. Как правило, эта связь – вероятностная (стохастическая). Существует неоднозначность связи значений контролируемых параметров с состоянием объекта при различных видах дефектов. Все это создает ошибки диагностирования, связанные с несовершенством методов контроля.

Повысить достоверность диагноза можно, используя для контроля несколько параметров, характеризующих техническое состояние объекта. Каждый из этих параметров дает информацию об определенной характеристике объекта. Их совокупность обеспечивает повышение вероятности выявления дефектов и возможность более точной оценки их опасности.

Результаты измерений зависят от условий контроля. Так, например, существует зависимость характеристик изоляции от ее температуры. Температура контакта существенно зависит от значения протекающего тока, а результат измерения, кроме того, и от состояния поверхности. Поэтому для целей диагностирования необходимо результаты измерений привести к одинаковым базовым условиям, к сопоставимому виду. Эти условия обычно указываются при установлении браковочных нормативов, а в методике измерений должны быть предусмотрены способы приведения результатов к сопоставимому виду (температурный пересчет и т.п.).

Погрешность измерения есть следствие ограниченной точности измерительных устройств (средств измерения), а также погрешностей, вызванных влиянием внешних факторов.

Концепции обслуживания оборудования:

1. Обслуживание оборудования по данным периодических испытаний в определенном объеме через определенные промежутки времени (традиционная методология).

2. Обслуживание оборудования по его состоянию с проведением, на базе опыта эксплуатации, наиболее эффективных испытаний, как правило, не требующих отключения оборудования.

3. Обслуживание оборудования по критерию надежности с учетом риска отказа и его последствий, что позволяет оптимально использовать имеющиеся запасы прочности.

4. Обслуживание по результатам функциональной диагностики, направленной на оценку работоспособности отдельных подсистем трансформатора с учетом вероятных дефектов и механизма их развития до отказа.

Система двухступенчатых профилактических испытаний (обслуживание по состоянию. Таблица 6.1). Данная концепция испытаний является логическим развитием традиционной системы на базе применения наиболее эффективных методов, а также внедрения новых методов диагностики.

Таблица 6.1. Система двухступенчатой индикации и диагностики состояния трансформаторов, проводимая в энергосистеме

Цель испытаний	Определяемые характеристики	Выявляемые дефекты и состояние изоляции
1	2	3
Текущие периодические испытания с целью выявления начальных повреждений и оценки общего состояния: по меньшей мере, ежегодный анализ проб масла из нижней и верхней частей бака и бака избирателя РПН	Растворенные газы Содержание влаги Кислотное число Фураны Фенолы Крезолы Радиопомехи Термовидение	Индикация развивающихся повреждений Индикация состояния масла Индикация деградации бумаги, барьерной и конструкционной изоляции
Специальные испытания с целью диагностики и детального обследования: при неудовлетворительных результатах текущих испытаний; при срабатывании защиты от внутренних повреждений; при опасном внешнем воздействии; при оценке остаточного ресурса; при перемещении трансформаторов; до и после обработки масла (для оценки эффективности процесса обработки масла)	Частотный анализ переходных функций Тангенс угла потерь изоляции Поляризационный спектр или измерение восстанавливающего напряжения Сопrotивление обмоток постоянному току Акустическая локация	Определение деформации обмоток Оценка общего состояния изоляции Общая оценка увлажнения изоляции, а также возможная индикация старения бумаги и масла Выявление повреждений (обрыва) проводников и проблем с контактами РПН Выявление разрядов в масле
	Измерение напряжения радиопомех (RIV) с использованием высокочастотного трансформатора тока Ток намагничивания; коэффициент трансформации Сопrotивление изоляции Визуальная инспекция (непосредственная или с помощью эндоскопа)	Определение состояния заземления магнитопровода Определение необходимости или замены оборудования

На первом этапе – «индикация состояния» – главной задачей является выявление оборудования, которое работает нормально, с помощью методов, обоснованных опытом эксплуатации и не требующих отключения оборудования. Основу таких испытаний составляют анализы проб масла (измерение содержания продуктов деградации материалов, влаги, примесей, продуктов старения масла). Такие испытания выполняются периодически, обычно не реже одного раза в год.

На втором этапе – «диагностика состояния» – выполняются специальные испытания и проверки, позволяющие определить причину обнаруженной аномалии, локализовать ее и ответить на вопрос, можно ли продолжать и на каких условиях дальнейшую эксплуатацию.

Оценка состояния трансформаторов по результатам периодических испытаний. Объем традиционных периодических испытаний обусловлен руководством «Объем и нормы испытания электрооборудования», а также стандартом IEEE.

Техническое состояние оценивается сравнением с исходными значениями, в качестве которых принимают: значения в паспорте или протоколе заводских испытаний; данные при вводе в эксплуатацию нового оборудования (эксплуатационные испытания); данные после ремонта на специализированном предприятии; данные предыдущих испытаний.

Концепция функциональной диагностики. Данная методология разработана для оценки состояния оборудования после эксплуатации, и основана на следующих положениях:

1. Оборудование представляется в виде ряда функциональных систем (подсистем), состояние которых обеспечивает выполнение главных функций. Если рассматривать диагностику трансформатора, то основными функциями его можно считать: передачу электромагнитной энергии, сохранение электрической прочности изоляции, механической прочности обмоток и целостности токоведущей системы.

2. Основой системы контроля и диагностики является функциональная модель дефектов, определяющая вероятные дефекты или чувствительные зоны в данной конструкции при данных условиях эксплуатации на базе анализа особенностей конструкции и причин отказов в эксплуатации и, соответственно, цели и задачи диагностики.

3. Оценка состояния оборудования представляется в форме системы запросов о состоянии его функциональных подсистем с учетом возможного сценария развития дефектного состояния в отказ.

4. Программа технического обследования концентрируется на выявлении вероятных дефектов путем использования групп методов, характеризующих конкретный дефект.

5. По меньшей мере, две диагностические процедуры требуются для того, чтобы подтвердить наличие дефекта и оценить его количественно.

Оценка состояния оборудования осуществляется, в основном, в рабочих условиях, особенно в предельных условиях в отношении нагрузки, температуры, напряжения. Данная методология не требует обязательной

информации о предшествующих характеристиках, но обязательно требует понимания конструкции оборудования и наличия информации о предшествующих критических режимах.

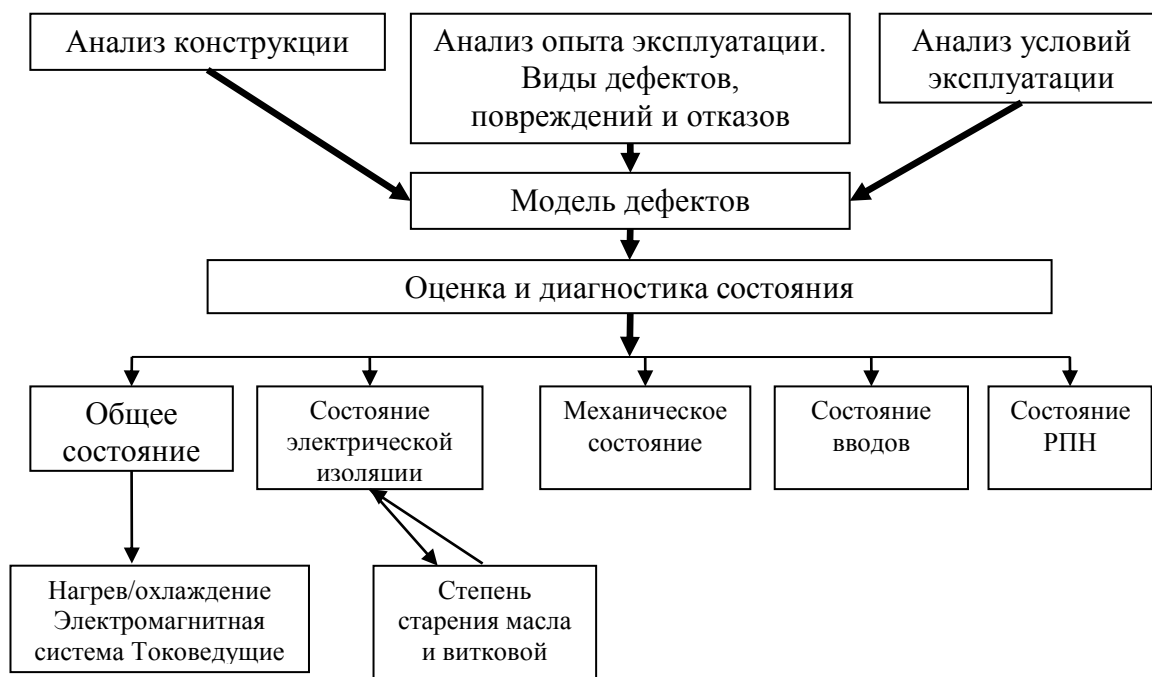


Рис. 6.2. Блочная схема комплексной функциональной диагностики

Тема 7. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

7.1. Особенности и закономерности энергосбережения, энергоэффективность

Энергосбережение – это не экономия, а выбор между повышением производительности труда и повышением производительности энергоресурса.

В законе Российской Федерации «Об энергосбережении» дается следующая трактовка этому понятию: «Энергосбережение – реализация правовых, организационных, научно-производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии». Здесь ключевое слово – реализация. Оно предполагает внедрение новых технологий, обеспечивающих более эффективное использование энергоресурсов, установку приборов учета энергоресурсов, совершенствование энергопотребляющей техники, оптимизацию технологий использования топлива и энергии, снижение прямых потерь энергии, создание новых источников энергии, энергоресурсов и многое другое.

В ряде нормативно-правовых документов, действующих сегодня на

территории Российской Федерации, под энергосбережением понимается деятельность органов государственной власти, направленная на создание условий для реального энергосбережения. Это уже иная деятельность – деятельность по обеспечению энергосбережения: подготовка кадров, стандартизация, сертификация, энергетическое обследование, нормирование, просвещение и др.

Как было показано выше, прогресс цивилизации связан с освоением все новых объемов, видов и качества энергоресурсов. В течение прошедшего столетия энергопотребление увеличилось более чем в 5 раз. Это означает, что и далее будут расти расходы общества, связанные с добычей, переработкой и потреблением энергоресурсов. Будут расти и негативные воздействия энергетики на окружающую среду. Поэтому будут нарастать усилия и затраты по ограничению этого воздействия.

Оценки международных экспертов показывают, что до 40 % валового национального продукта страны связаны в той или иной мере с добычей, переработкой и потреблением энергоресурсов. Видимо и в будущем эти расходы будут увеличиваться, в том числе, для обеспечения повышающихся экологических требований.

С одной стороны, исчерпание невозобновляемых природных энергетических ресурсов, загрязнение окружающей среды, а в перспективе, изменение климата, другие глобальные явления, вызываемые производством и переработкой энергетических ресурсов, вызывают обоснованную озабоченность государственных и общественных организаций.

С другой стороны, тенденции, складывающиеся в мире в последние 2–3 десятилетия, показывают совершенно определенное снижение темпов прироста потребления энергоресурсов, что дает основание для оптимизма. Так, за период с 1963 по 1973 гг. прирост мирового энергопотребления составил 2,6 млрд. тонн условного топлива, а за последующее десятилетие – всего 1,7 млрд. т. Особенно сильно снизились темпы в промышленно развитых странах. Средний ежегодный прирост потребления в мире составил 1 %, а в США – 0,4 %, в странах Западной Европы и Японии – 0,25 %. Переломным моментом в мировом изменении темпов прироста энергопотребления стало начало 70-х годов, когда произошло резкое повышение цен на нефть и многие страны приступили к реализации энергосберегающих программ.

При этом обнаруживаются две противоречивые тенденции. Техника и технологии, машины и устройства на большинстве предприятий разрабатывались, проектировались и создавались в эпоху «дешевой» энергии. Их энергоэкономические показатели соответствуют приоритетам той эпохи. В новых условиях действующие регламенты и технологии воспринимаются как устаревшие и несоответствующие новой парадигме. Требуется изменить сам технико-экономический выбор, который повлечет за собой изменение в соотношении составляющих затрат – зарплата, энергия, сырье, материалы, амортизация, налоги и т. п. Поэтому структурная перестройка энергопотребления во всем мире идет медленно. С другой стороны,

цивилизация всегда стремилась экономно распоряжаться энергоресурсами. Энергетическая теория, многие прикладные науки (термодинамика, тепломассопередача, гидроаэродинамика, электротехника и многие другие) по сути, изучают способы и осуществляют поиск все более экономичных решений в технике, технологиях и в самой энергетике. Следует отметить, что в самой электроэнергетической отрасли повышение эффективности основного производства – выработки и передачи энергии – идет более высокими темпами, чем в большинстве отраслей, относящихся к сфере потребления.

Таким образом, энергосберегающий характер экономического переустройства является объективно обусловленным свойством современного этапа развития мирового хозяйства. Но до 70-х годов. энергосбережение было естественным эффектом научно-технического прогресса, изменения структуры производительных сил. В 70–90 гг. энергосбережение приобрело целевой характер в большинстве стран мира, ощутивших удары нефтяного кризиса.

Вместе с тем даже в промышленно развитых странах, где рыночная экономика чутко реагирует на любые изменения общеэкономической конъюнктуры, повысить энергетическую эффективность удалось ценой больших затрат времени и средств. Потребовались многократные потрясения, прежде чем энергоемкость внутреннего валового продукта промышленно развитых стран начала снижаться.

В СССР нефтяной кризис наступил на полтора десятилетия позднее, когда остальной мир уже преодолел его последствия. Энергоемкость ВВП СССР, а теперь России по первичным энергоресурсам оказалась в 3–4 раза выше, чем в США, основных западноевропейских странах и Японии.

Примерно такая же ситуация складывается во многих развивающихся странах и, прежде всего, в обладающих большими энергетическими ресурсами. «Развращающее» влияние природных богатств в СССР усугублялось государственной системой регулирования экономики, а переходной период, начавшийся в 1991 г., усилил негативные явления в энергетике кризисом платежей за энергоносители. В этой связи представляется целесообразным все проблемы повышения энергоэффективности экономики страны рассмотреть на примере современной России, где они выступают в наиболее явном виде.

Сохранение заниженных цен на энергию, как один из основных элементов государственной политики в СССР и России, привело к недоинвестированию энергетики вообще и особенно в звеньях, следующих за добывающими в энергетической цепочке. Поэтому проблемы энергетического комплекса не разрешались по мере их проявления, а накапливались и усугублялись. Даже поддержание достигнутого уровня генерирующего потенциала энергетики при сохранении избыточного спроса на конечную энергию (из-за низкой эффективности потребления) требовало все больших и больших усилий и ресурсов. Вне сферы государственного воздействия оставался единственный эффективный путь решения

энергетических проблем – путь повышения энергетической эффективности общественного производства, сокращения потерь энергии, путь энергосбережения. Решение проблем обеспечения потребностей страны в энергии должно прийти главным образом со стороны спроса на энергию. Сегодня российское энергопотребление является избыточным более чем на треть. Оно не сопровождается соответствующим производством продукта (рис. 7.1).

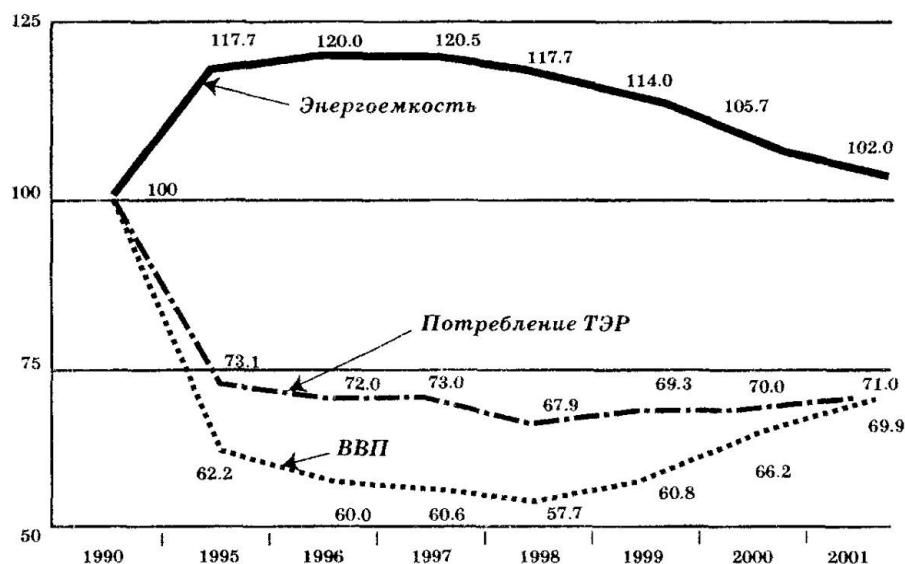


Рис. 7.1. Динамика показателей энергопотребления и ВВП

При годовом производстве 1362 млн. т у.т. (1997 г.) «избыточной» является энергия в объеме 408 млн. т у.т. При средней цене условного топлива 250 руб./т у.т. это соответствует 100 млрд. руб. в год. Эти средства можно сэкономить. Изобилие дешевых энергоресурсов за многие десятилетия породило негативную тенденцию энергорасточительности. Энергетическая составляющая себестоимости многих видов промышленной и сельскохозяйственной продукции снизилась до 1–3 %, что в значительной степени выключило стимулы к экономии энергоресурсов. В проекты целого ряда новых крупных заводов закладывалась старая технология, основанная на перерасходе энергетических ресурсов. Большинство новых видов российской продукции имеет энергетические показатели значительно хуже зарубежных аналогов. Многие в этом положении сохраняются и сегодня. Это затрудняет проведение реального энергосбережения, но увеличивает его потенциал.

Важной причиной неблагоприятного положения в области энергоэффективности, в особенности в сфере потребления, следует считать незаинтересованность в экономном расходовании топливно-энергетических ресурсов на всех уровнях управления, на производстве, на рабочих местах и коммунальной сфере. Незаинтересованность в экономии энергоресурсов потребителями естественна в энергосистемах и других энергообеспечивающих организациях, поскольку это приводит к снижению объема реализации, а

значит – доходов и прибылей.

В свою очередь, потребители энергетических ресурсов не проявляют энтузиазма в их экономии, поскольку это требует средств, усилий, знаний и умений. Кроме того, энергетическая расточительность производственных процессов вызвана значительной долей устаревшего оборудования, малоэффективными технологическими установками, высокой постоянной составляющей энергопотребления, связанной с общезаводскими расходами.

В настоящее время повсеместно крайне низка оснащенность энергопотребителей и энергетических сетей средствами учета, контроля, регулирования и автоматизации. В меньшей мере это касается электроэнергии, в полной мере – тепла и других энергоресурсов.

Не менее важной причиной низкого уровня энергосберегающей деятельности в России является почти полное отсутствие экономических и иных стимулов. Разработка и выпуск энергосберегающей продукции и продукции, имеющей улучшенные показатели энергопотребления, не поощряются. Именно эти свойства продукции могли бы стать решающими на рынке.

В настоящее время экономика России испытывает недостаток в квалифицированном управленческом и инженерном персонале в сфере энергосбережения. Необходимо осуществлять обучение, подготовку и переподготовку кадров, повышение их квалификации, ориентируясь на новые силы и на новые интенсивные учебные программы.

Подводя итог, можно выделить несколько факторов, определяющих актуальность поиска новых подходов в разработке и осуществлении реального энергосбережения:

- динамика оптовых цен на первичные энергоресурсы, мировые тенденции и опыт промышленно-развитых стран свидетельствуют о необходимости и возможности существенного снижения энергетических потребностей общества;
- анализ энергопотребления в России, в развитых и в развивающихся странах, в странах с переходной экономикой показывает значительный резерв (потенциал) энергосбережения в промышленности, коммунально-бытовом хозяйстве и на транспорте (рис. 7.2);
- в России отраслевой принцип управления энергосбережением в настоящее время себя исчерпал в связи с акционированием предприятий;
- относительная экономическая и правовая самостоятельность регионов, их территориальная целостность создают предпосылки для построения эффективной региональной системы энергосбережения;
- наиболее эффективный путь реализации энергосберегающей политики – повышение цены энергии – может быть введен в действие только после принятия мер по социальной защите малообеспеченных слоев населения.

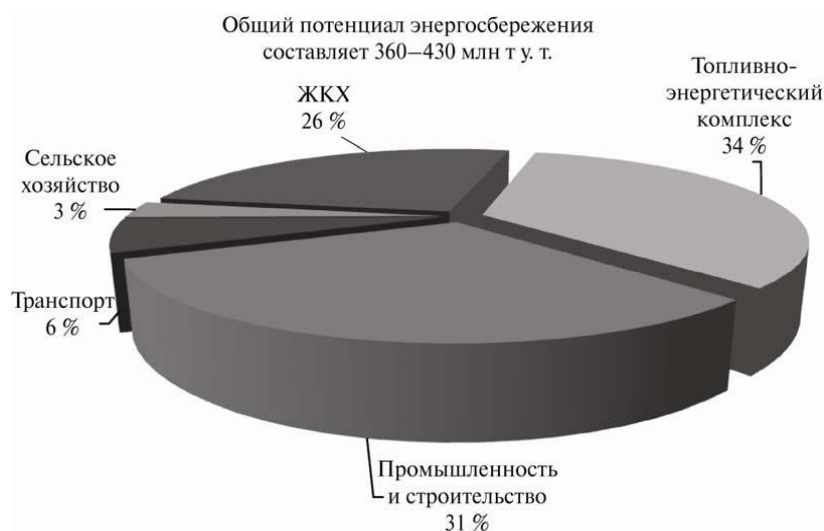


Рис. 7.2. Потенциал энергосбережения в различных отраслях экономики России

Проблемная ситуация в регионах России состоит в следующем. В условиях реформирования хозяйства в большинстве регионов Российской Федерации нарастает зависимость уровня и качества жизни населения, социальной и политической устойчивости от количества и качества используемых энергоресурсов, их цены и доступности для потребителей в связи с углублением противоречий и несоответствием сложившихся систем управления новым рыночным экономическим условиям.

Закономерности и противоречия энергосбережения, как процесса, позволяют увидеть в нем специфичное, в известной степени новое явление общественной жизни. Отдельные черты этого явления, его закономерности и противоречия складываются в некую систему проблем и вытекающих из них следствий.

Проблема 1. Энергосбережение до сих пор является побочным продуктом научно-технического прогресса. Технические новшества в предыдущие десятилетия были призваны решать такие задачи, как повышение производительности труда, улучшение комфорта и качества продукции и услуг. Но одновременно с этим они обеспечивали повышение эффективности использования энергетических ресурсов.

Следствие. В новых условиях необходимо более строго соизмерять конечные цели и стоимость их достижения. Иными словами среди набора показателей производственно-хозяйственной деятельности энергоэффективность должна занять приоритетное место.

Проблема 2. Государственная энергетическая политика характеризуется непоследовательностью и противоречивостью:

- регулируемые цены (тарифы) на конечную энергию (электричество и тепло), устанавливаемые региональными энергетическими комиссиями, не в полной мере отражают динамику затрат энергоснабжающих организаций, длительное время сдерживаются ради стабильности социальной обстановки, в разных регионах отражают

разные тенденции;

- соотношение цен (тарифов) на электрическую энергию для разных групп потребителей не соответствует реальному участию потребителей в формировании оптимального графика нагрузки;
- соотношение цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и промышленности деформировано в результате сильного давления социальной политики;
- федеральная и региональные энергетические комиссии устанавливают, регулируют тарифы на энергию, проверяют представленные энергоснабжающими организациями материалы о затратах на производство и передачу энергии, но не осуществляют контроль за направлением расходования средств;
- бюджетные дотации населению за потребляемую тепловую энергию распределяются пропорционально занимаемой жилой площади. Значит, значительно меньшую дотацию получают люди с меньшими доходами, проживающие в домах с малой площадью; малообеспеченные слои населения ущемляются;
- многие государственные бюджетные организации не получают достаточных средств для оплаты получаемых энергоресурсов.

Следствие. Сложившееся в современной России соотношение между государственным регулированием и действием рыночных механизмов в области энергосбережения неоптимального и представляет собой большой резерв для повышения энергоэффективности. Его извлечение требует законотворческой деятельности на всех уровнях властной вертикали и дополнительных затрат.

Проблема 3. Потребление энергии и энергоресурсов неизменно возрастает. Активное энергосбережение лишь сдерживает темпы роста. Статистические сведения об изменении потребления энергии, энергетических ресурсов странами и отраслями, регионами и предприятиями однозначно свидетельствуют об устойчивом росте использования энергоресурсов. И эту закономерность не нарушают даже периодические спады, вызванные особыми причинами. Для иллюстрации этой закономерности ниже представлены графики производства электроэнергии в СССР и России (рис. 7.3) и динамики производства топлива (рис. 7.4).

Следствие. Для обеспечения жизнедеятельности объекта потребление энергии не должно быть меньше некоторого порогового значения: если принудительно снижается потребление одного энергоресурса, то оно, хотя бы частично, компенсируется другим, так как приближение потребления энергии к минимуму усиливает угрозу существованию объекта.

Проблема 4. Дискриминационные экономические критерии ставят перед энергоэффективным проектом гораздо более высокий барьер, чем перед проектами, предполагающими расширение использования энергоресурсов:

- энергетическая эффективность инвестиционного проекта чаще всего

обеспечивается ростом капиталовложений или увеличением доли живого труда;

- в технико-экономическом сравнении проекты со сниженной долей энергетических затрат чаще всего проигрывают вариантам, увеличивающим потребление энергоресурсов;

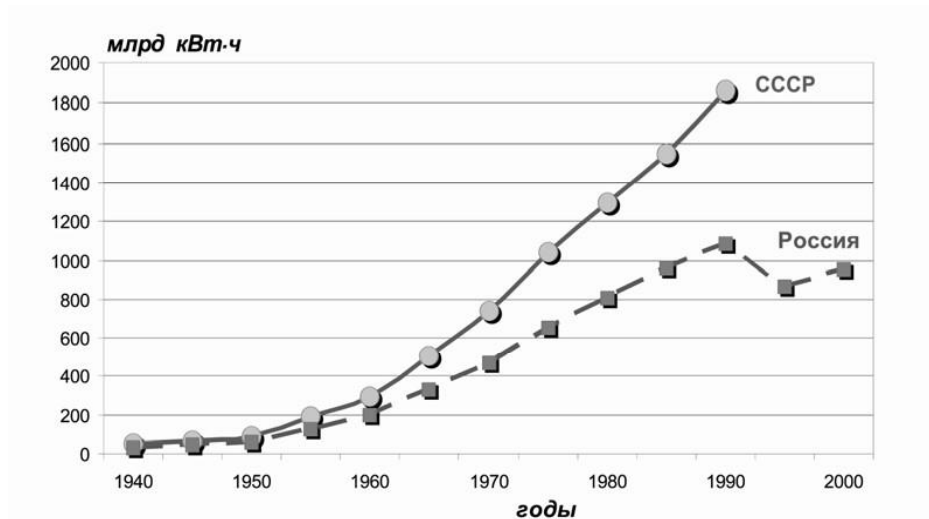


Рис. 7.3. Динамика производства электроэнергии в СССР и России

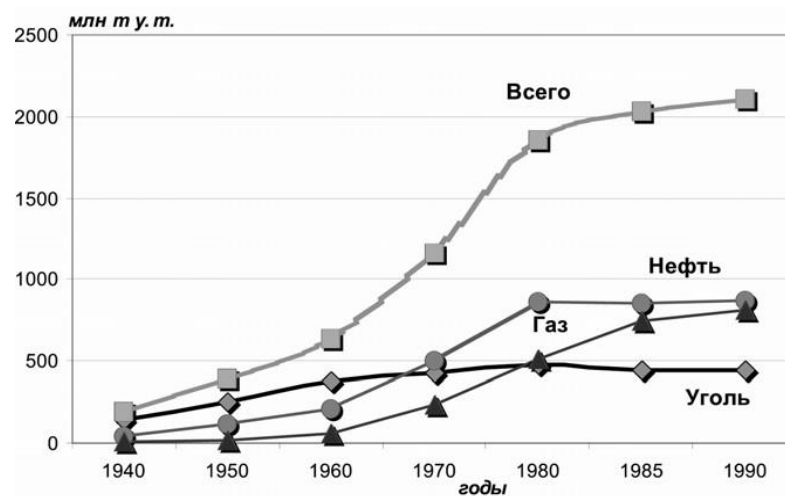


Рис.7.4. Добыча топлива в СССР

- срок окупаемости, как критерий эффективности позволяет сравнить инвестиции с издержками и при дешевой энергии обеспечивает предпочтение энергорасточительным проектам;
- коэффициент полезного действия, как критерий эффективности технических систем, применительно к альтернативным и нетрадиционным источникам энергии может приводить к выводам о неэффективности таких систем, но поскольку они используют энергию, ранее не извлекаемую, то для оценки нужны другие критерии. Следствие. Для приведения в действие экономических стимулов

энергосберегающего поведения необходимо изменить соотношение стоимости энергоресурсов, сырья и труда в пользу первого. Простое повышение стоимости энергоресурсов быстро не изменит этого соотношения. Этот процесс длительный и для его ускорения требуются целенаправленные усилия.

Проблема 5. Энергоснабжающие организации не заинтересованы в снижении потребителями энергетических затрат:

- увеличение объема продаж энергии и энергоресурсов однозначно ведет к увеличению доходов от продажи, поскольку цена на них установлена заранее и, соответственно, энергосберегающие меры у потребителей ведут к снижению доходов и прибыли;
- снижение потерь в собственных установках и сетях интереса не представляет, так как стоимость этих потерь в соответствии с «методикой» заранее включена в затраты и тариф, то есть оплачивается потребителем;
- энергоснабжающие организации заинтересованы только в одном – снижении коммерческих потерь (разница между отпущенной энергией и оплаченной);
- нормирование баланса выработки и отпуска энергии в энергоснабжающих организациях делает ненужной энергосберегающую деятельность;
- персонал энергоснабжающих организаций не заинтересован в снижении энергетических затрат или потерь. Уровень зарплаты персонала никак не связан с энергосберегающими результатами.

Следствие. Необходимо радикальное изменение всего пакета документов, регламентирующих взаимоотношение поставщиков и потребителей энергоресурсов.

Проблема 6. Многие системы оплаты труда предусматривают поощрение работника за расходование ресурса, а не за его сохранение:

- стоимость проектирования, а отсюда – фонд оплаты труда проектировщиков – некоторый процент от объема капиталовложения в проект (внешняя экспертиза не спасает дела);
- оплата труда эксплуатационного, ремонтного, энергетического персонала весьма в малой степени зависит от эффективности использования энергоресурсов;
- для рабочих и служащих других профессий оплата труда не зависит от эффективности использования энергии или энергосбережения;
- для управленческого персонала и руководителей, находящихся, как правило, на контрактной системе оплаты труда, эффективность использования энергоресурсов может служить одним из факторов стимулирования, но пока это – из области надежд, а не реалий.

Следствие. Одно из самых простых направлений реализации энергосбережения состоит в том, чтобы персонал исполнял свои обязанности в полном соответствии с правилами и регламентами, сориентированными на

энергосбережение, а система оплаты труда поощряла энергосбережение и наказывала энергорасточительство.

Проблема 7. Все физические лица – потребители энергии – отчетливо понимают, что энергорасточительность неразумна, но без дополнительных стимулов энергосберегающее поведение не превращается в норму:

- лестничные площадки жилых домов, лекционные и офисные помещения, цеховые пролеты часто освещены электричеством, когда достаточно естественного света;
- кипятят полный чайник, даже если требуется одна чашка воды;
- открывают окна в помещении, чтобы понизить температуру, держат оборудование во включенном состоянии на холостом ходу и многое-многое другое.

Следствие. Энергорасточительное поведение – следствие слабой мотивации и некомпетентности.

Четкое формулирование любой проблемы, в том числе проблемы повышения эффективности использования энергоресурсов, позволяет найти способы ее решения.

7.2. Перспективы развития энергосбережения и ее управление

Обществу требуется вовсе не энергосбережение, а эффективное использование энергии и энергоресурсов. Это упрощенное понятие о сбережении энергии путем добровольного самоограничения. Но потребителям нужны не сами по себе кВт·часы, а конечные услуги. Потребители хотят получить эти услуги надежным, удобным и по возможности наиболее дешевым способом».

Необходимым условием энергосберегающего поведения является осознание необходимости эффективного использования энергоресурсов.

Энергосбережение, вытесняя другие энергоресурсы из топливно-энергетического баланса, само становится своеобразным энергетическим ресурсом. Предположим, предприятию «А» на планируемый период требуется $T_1 = 1000$ т у.т. энергоресурсов. В результате внедрения энергосберегающих мероприятий при прочих равных условиях потреблено $T_2 = 850$ т у.т. Если соблюдается условие

$$T_1 > T_2,$$

то можно считать, что $T_3 = T_1 - T_2$ – объем сэкономленного ресурса.

Иначе говоря, часть потребного ресурса T_1 замещается ресурсом T_3 :

$$T_1 = T_2 + T_3.$$

В этом случае T_3 – это энергосбережение, т. е. энергетический ресурс, который вытесняет часть ресурса T_1 из топливно-энергетического баланса предприятия. На рис. 6.6 схематично представлено такое изменение баланса.

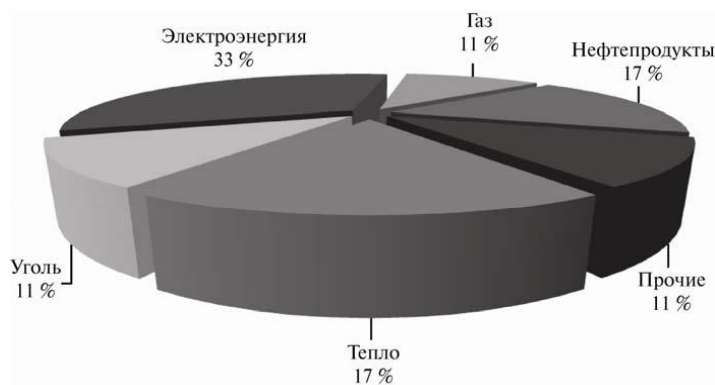


Рис. 7.5. Исходный энергетический баланс предприятия

Пусть исходный топливно-энергетический баланс предприятия выглядит в виде круга (рис. 7.5), где сектора – отдельные энергоресурсы, а объем каждого из них соответствует площади сектора. Суммарный объем потребляемых энергоресурсов (в эквивалентном измерении) соответствует площади этого круга.

Если в результате энергосберегающих мероприятий снижено потребление некоторых (или всех) энергоресурсов при сохранении структуры баланса, то итоговый баланс будет выглядеть так, как показано на рис. 7.6.



Рис.7.6. Итоговый баланс энергоресурсов

Пунктирной линией здесь показан диаметр круга исходного баланса. Для большей наглядности итоговый баланс может быть преобразован к следующему виду (рис. 7.7). В данном случае меньший диаметр круга показывает снижение потребления энергоресурсов, а изменение соотношения секторов может соответствовать изменениям структуры баланса.

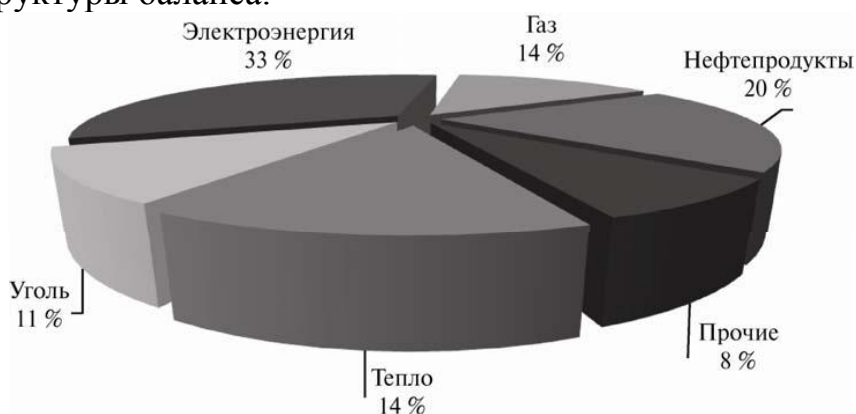


Рис. 7.7. Преобразованный баланс предприятия

Если это изменение стало результатом энергосберегающих мероприятий, то его можно представить так, как показано на рис. 7.9.

Теперь площадь круга (рис. 7.8) совпадает с площадью исходного

круга, но структура его принципиально изменилась – появился новый энергетический ресурс – энергосбережение, которое выполняет функцию замещающего энергоресурса.

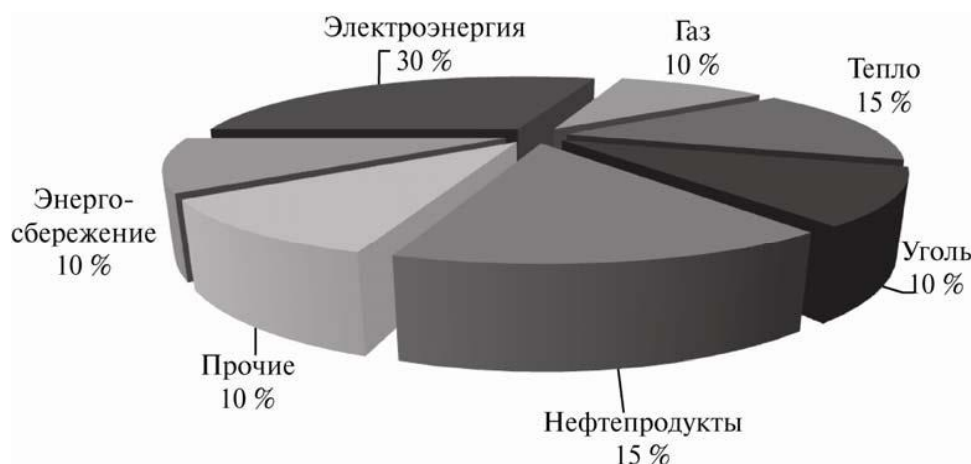


Рис. 7.8. Баланс с учетом энергосбережения

Называя энергосбережение новым энергетическим ресурсом, следует предположить, что этому ресурсу можно поставить в соответствие некоторые физические, термодинамические и экономические свойства.

Поскольку энергосбережение вытесняет из топливно-энергетического баланса другие виды ресурсов, то оно, видимо, должно иметь более привлекательные характеристики, чем у вытесняемых.

Энергосбережение все чаще становится основным предметом деятельности специализированных предприятий, организаций, фирм. Во многих странах нашли свое место фирмы, проводящие консультирование и энергетические обследования.

Анализ деятельности энергосберегающих субъектов позволил отчетливо выявить три плотные группы энергосберегающих мероприятий:

I группа – высокоэффективные, к которым в основном относятся организационные (малозатратные) мероприятия, обеспечивающие, в первую очередь наведение технологического порядка, укрепление дисциплины производства, устранение элементарных потерь. Примерами таких мероприятий могут служить оснащение предприятий счетчиками энергии, нормирование удельных расходов электроэнергии по видам деятельности, разработка энергосберегающего графика работы агрегатов.

II группа – среднеэффективные, к которым относятся технологические мероприятия, заключающиеся в технологическом переустройстве, рационализации производства без крупных капиталовложений. Применение установок компенсации реактивной мощности, снижение мощности обогревателей вследствие утепления и ремонта, настройка и оптимизация регулирования агрегатов – характерные примеры технологического энергосбережения.

III группа – инвестиционные мероприятия, предусматривающие коренную реконструкцию производства, замену технологии на

энергоэффективную. Для реализации этих мероприятий требуются внешние заимствованные средства. Срок окупаемости этих мероприятий часто оказывается большим и потому экономическая эффективность их относительно невысока.

Таким образом, наличие обособленных групп мероприятий требует оценивания экономической эффективности энергосбережения отдельно для каждой из них.

В большинстве Европейских стран, в Японии, США сложилась многолетняя традиция экономного расходования энергии и энергоресурсов. Традиция эта возникла и укрепляется целым рядом исходных и сопутствующих обстоятельств:

- высокая цена топлива и энергии;
- высокая оснащенность средствами учета и регулирования;
- действенность механизма потребительского рынка энергии;
- законодательная и юридическая защита прав потребителей;
- высокая квалификация персонала энергоснабжающих организаций;
- мощная рекламная и разъяснительная кампания среди населения;
- законодательное обеспечение энергосбережения и эффективного использования энергии и энергоресурсов.

Эта традиция сформировалась в энергосберегающий образ жизни, что обеспечивает более низкую энергоемкость валового национального продукта, чем в России. При этом потребление энергоресурсов на душу населения в коммунально-бытовой сфере выше российского из-за более высокого уровня жизни. Значительная часть сэкономленных средств направляется на реализацию более современных энергосберегающих технологий.

Все это вместе взятое свидетельствует о постепенном прорастании энергосбережения во все сферы человеческой деятельности – в производство, транспорт, связь, быт, средства массовой информации, в рекламу и т. п. Энергосбережение начинает формировать новый, экономный стиль жизни..

Энергосбережение по своим конкретным результатам, как уже отмечалось выше, эквивалентно отказу от значительной части добываемых ресурсов. Но переход к интенсивному энергосбережению потребует длительного времени и значительных усилий организационного, правового, производственного и научно-технического характера, а также финансовых вложений.

Система управления энергосбережением предполагает наличие четырех базовых блоков:

- создание законодательной базы энергосбережения;
- разработка и реализация федеральных и муниципальных, а также отраслевых программ энергосбережения;
- создание фондов энергосбережения для консолидации финансовых всех уровней в целях внедрения энергосберегающих проектов;
- создание центров энергосбережения, призванных осуществлять научно-методическое сопровождение и координацию

Энергосберегающая деятельность складывается из следующих трех направлений:

- снижение потребности в энергии;
- снижение затрат на энергию;
- замена одних энергоресурсов другими.

Вместе с тем задачи, возникающие на каждом из направлений, не только взаимно пересекаются, но часто дополняют и повторяют друг друга.

Определенное представление о взаимосвязи задач на разных этапах реализации энергосбережения представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Задачи управления и этапы реализации программы энергосбережения

	Этапы формирования и реализации программы энергосбережения				
	Создание и разработка	Организация	Обеспечение	Реализация	Контроль и анализ
Правовая сфера	Создание нормативно-правовой базы	Организация энергетических обследований предприятий	Обеспечение единства измерений, сертификация и стандартизация	Борьба с хищениями и расточительным расходом энергоресурсов	Осуществление контроля исполнения программы
Экономическая база	Создание экономических механизмов	Организация учета и контроля потребления энергоресурсов	Обеспечение эффективности тарифной политики	Реализация проектов высокой энергетической эффективности	Оценка и анализ эффективности мероприятий
Производственная база	Создание производственной базы	Организация производства энергосберегающей техники	Менеджмент энергосберегающих проектов		Анализ эффективности производства
Информационная база	Маркетинг энергосбережения		Обеспечение подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров	Общественное просвещение и рекламная кампания	Осуществление демонстрационных зон энергетической эффективности

Одним из необходимых условий исполнения целей и задач разрабатываемых программ энергосбережения является формирование структур, ответственных за осуществление этих программ. Отношения,

связи, взаимодействия и противоречия органов разных уровней управления, сложившиеся к настоящему времени, накладывают существенные ограничения на структуру и функции органов управления энергосбережением. Поэтому при проектировании системы управления важно выдержать идеи баланса полномочий, ответственности и разграничения функций органов управления разных уровней.

Эффективность системы управления определяется результатами, достигаемыми в объекте управления. Применительно к системе управления энергосбережением это означает, что ее эффективность определяется тем, в какой мере управленческие решения приводят к снижению энергоемкости валового продукта, энергоемкости продукции потребления, потребления первичных энергоресурсов, потерь энергии, достижению плановых значений индикаторов эффективности.

Анализ структуры действующих систем управления энергосбережением показывает, что отношения подчиненности (распределения власти), отношения полномочий (распределения ответственности) и отношения коммуникаций (распределения информации) между отдельными объектами слабо развиты. Это означает, что каждый орган управления формирует свои цели, свои задачи, свои средства управления, свои ресурсы. Сосредоточение сил и средств на главных направлениях при сложившейся структуре управления может быть осуществлено путем разработки и реализации целевой программы энергосбережения региона. Для управления разработкой программы целесообразно создание координирующего и контролирующего центра в соответствии со схемой на рис. 7.12.



Рис. 7.12. Структура взаимодействия при разработке программы энергосбережения

Для определения экономически оправданных пропорций топливно-энергетического хозяйства региона, для подготовки управляющих решений

по обеспечению потребностей экономики и населения в энергоресурсах, для создания и реализации региональной системы энергосбережения и анализа ее эффективности необходимо формировать и анализировать топливно-энергетические балансы региона и муниципальных образований.

Анализ топливно-энергетического баланса, состоящий в изучении соотношений и динамики потребления энергоресурсов и сопоставлении удельных расходов в рассматриваемом объекте с аналогами, обеспечивает выявление небалансов отчетности в использовании энергоресурсов и причин их появления и выбор направлений устранения небалансов.

Важным параметром при этом является потенциал энергосбережения, который показывает долю потерь энергии (энергоресурса), которую можно сократить или полезно использовать, если произвести соответствующие улучшения технологических процессов. Он характеризуется соотношением коэффициентов полезного использования энергии действующего (реального) и преобразованного (перспективного) технического процесса. В качестве последнего могут быть использованы нормативный, эталонный и идеальный процессы.

Нормативный технологический процесс – это процесс, в котором оборудование и его режимы соответствуют нормативным, паспортным, проектным данным.

Эталонным процессом следует считать такой, в котором используются технологии, соответствующие лучшим научно-техническим достижениям, реализованным в России или в мире.

Идеальным технологическим процессом является такой процесс, в котором используется теоретически возможная, но практически недостижимая технология.

Сравнение реального процесса энергоиспользования с эталонным и идеальными процессами позволяет создать концепцию и разработать метод определения потенциала энергосбережения, пригодный для использования на предприятиях, отраслевых комплексах региона и в регионе в целом. Оценку технологического потенциала энергосбережения целесообразно осуществлять диверсифицировано относительно организационных, технологических и инвестиционных энергосберегающих мер.

7.3. Стимулирование энергосбережения

Многолетний опыт реализации энергосберегающей политики во многих странах мира свидетельствует о необходимости выработки согласованных и последовательных стимулирующих мер для обеспечения реальных энергосберегающих эффектов. Сами по себе экономические выгоды, получаемые в результате энергосберегающих мероприятий и проектов, очевидные в обоснованиях, оказываются часто недостаточно сильным аргументом в их пользу. Это объясняется рядом причин:

- не все потребители имеют свободные средства, чтобы полностью оплатить приобретение энергоэффективного оборудования и услуги по

- энергосбережению, даже потенциально быстро окупаемых проектов;
- потребители склонны к ограничению инвестиций в настоящем, несмотря на более высокие расходы в будущем;
- счета за энергопотребление оплачиваются из собственных средств предприятия, а в качестве инвестиций чаще всего используют заемные средства (решения о займах всегда принимаются трудно).

Для осуществления реального энергосбережения необходимы весомые дополнительные стимулы, в качестве которых может применяться целый комплекс мер информационного, финансово-экономического и нормативно-правового характера (рис. 7.13).



Рис.7.13. Схема стимулирования энергосбережения

При всей схожести стимулирующих мер их точная направленность на свою группу влияния обеспечивает успех воздействия. Очевидно, что меры, стимулирующие персонал предприятий, малопригодны для стимулирования населения.

Стимулирование рационального энергопотребления должно осуществляться в соответствии со следующими принципами:

- стимулирующие меры должны быть адресными, учитывать специфику различных групп объектов энергетики;
- стимулирующие воздействия для каждой группы должны быть комплексными, сочетать финансово-экономические, нормативно-правовые и информационные стимулы;
- воздействие стимулирующих мер должно иметь двухстороннюю направленность типа «поощрение–наказание». Поощрения заслуживает энергосберегающее поведение, а наказания – энергорасточительное;
- реализация стимулирующих мер должна осуществляться последовательно во времени с применением всего спектра

воздействующих факторов.

Нормативно-правовое стимулирование само по себе прямого воздействия на энергопотребление или энергосбережение не оказывает.

Нормативное воздействие осуществляется через экономические механизмы, через технологии проектирования и эксплуатации, через рыночные механизмы. Оно устанавливает основы взаимоотношений субъектов, участвующих в процессе добычи, производства, передачи, транспортировки, распределения, потребления энергоресурсов и утилизации отходов. Этими субъектами являются: органы государственной власти; производители энергоресурсов; потребители энергоресурсов; транспортно-сервисные компании; население; органы местного самоуправления; производители оборудования для добычи, производства, передачи и потребления энергоресурсов; средства массовой информации.

Нормативно-правовое стимулирование устанавливает:

- границы разрешенного правового поля;
- запрещенные способы, механизмы, технологии и акции.

На практике зачастую реализуются следующие формы нормативно-правового регулирования:

- введение и исполнение обязательных и добровольных стандартов энергоэффективности;
- осуществление сертификации продукции, услуг и технологических процессов по критерию энергоэффективности.

Главная роль стандартов энергоэффективности при эксплуатации зданий, электробытовых приборов и оборудования заключается в практическом закрытии потребительского рынка для зданий и моделей энергооборудования и приборов, не удовлетворяющих определенным нормативным параметрам энергоэффективности.

В Дании, например, стандарты, основанные на показателях максимальной теплопотери зданий, были введены сразу после первого нефтяного кризиса и пересматривались в сторону ужесточения в 1977, 1982 и 1993 годов. О темпах ужесточения говорит тот факт, что последние стандарты предусматривают снижение энергопотребления до 75 % от уровня 1982 г., а к 2005 г. – еще в 1,5 раза. Единственная проблема здесь состоит в том, чтобы достигнуть этого результата без резкого повышения стоимости строительных материалов, оборудования и работ.

Обязательные стандарты на электробытовое оборудование и приборы распространены пока не так широко, как для зданий, но в ряде стран эта мера уже оказывает влияние на динамику энергоемкости коммунально-бытового комплекса.

Сертификация в системе повышения энергетической эффективности пока только ищет свое место в нормативно-правовой сфере. Ее идеология проста – путем заранее оговоренных процедур установить соответствие представленных устройств, приборов, технологических процессов нормам и стандартам энергоэффективности.

К информационным мерам стимулирования энерго-

ресурсосбережения следует отнести:

- рекламные кампании, конкурсы, ярмарки, выставки, демонстрационные акции;
- распространение передового опыта;
- повышение квалификации персонала;
- обучение;
- публичная информация о позитивном или негативном опыте.

На начальном этапе вовлечения потребителей в реализацию энергосберегающих программ чрезвычайно важным является предоставление им максимально полной информации (включая примеры из имеющегося позитивного опыта) о том, какие объемы энергоресурсов, а, следовательно, и денежных средств могут быть сэкономлены ими; как осуществить это с минимальными затратами финансовых и временных ресурсов; какие льготы предоставляет государство энергопотребителям, реализующим энергосбережение.

В основном на это ориентированы рекламно-информационные кампании, пропагандирующие энергосберегающий стиль жизни, которые проводятся при значительной финансовой поддержке со стороны государства.

Больше всего стимулирует потребителя так называемая сравнительная информация, позволяющая ему оценить свое место по отношению к потребителю, более экономно расходующему топливно-энергетические ресурсы. Такой подход хорошо зарекомендовал себя во многих европейских странах при реализации правительственных программ по энергосбережению.

Влияние на потребителя информации об энергетических характеристиках того или иного электробытового оборудования, позволяющей оценить на длительную перспективу все финансовые выгоды от его приобретения, пока, к сожалению, весьма незначительно. Покупая холодильник, стиральную машину, сушильный агрегат или электрокамин, потребитель в любой стране мира, прежде всего, ориентируется на их цену (в последнее время также и на страну сборки), сопоставляя ее со своими сегодняшними финансовыми возможностями, т. е. подтверждает стойкую приверженность настоящему времени. Однако в совокупности с рекламно-информационными кампаниями в средствах массовой информации эта мера дает определенные позитивные результаты, о чем свидетельствует ее широкое распространение в странах-членах МЭА.

Финансово-экономические стимулы, естественно, являются наиболее надежным средством обеспечения энергосбережения. В первую очередь это относится к ценам на энергетические ресурсы и к тарифам по их поставке. С одной стороны, они должны покрывать затраты энергоснабжающих организаций по производству и транспортировке энергетических ресурсов потребителям в договорных количествах, стандартного качества при заданном уровне надежности, безопасности и экономичности.

С другой стороны, цены и тарифы призваны реально стимулировать

энергосбережение, повышение эффективности использования энергоресурсов, снижение потерь. Очевидно, что экономические стимулы окажутся тем сильнее, чем большую долю в себестоимости будут иметь расходы на энергетику. Существенную стимулирующую роль совместно с тарифами играет применение системы скидок – надбавок. Скидка к тарифу поощряет потребителя энергоресурса дважды:

- а) экономится плата за неиспользованную часть энергоресурсов;
- б) потребленная часть энергоресурса оплачивается по более низкой цене, чем плановая, за счет скидки.

Естественно, установление скидки к тарифу для энергоэффективных потребителей может быть осуществлено лишь за счет увеличения платы по другим, неэффективным потребителям. Для них устанавливается надбавка к тарифу. Существенное значение имеет норматив, от которого отсчитывается скидка или надбавка. Норматив объективно должен отражать прогрессивный, но реально достижимый уровень энергопотребления на действующем энергетическом оборудовании.

Льготное налогообложение представляет собой мощное средство стимулирования энергосбережения, осуществляемое органами государственной власти. Потребитель энергоресурсов в этом случае получает налоговую льготу или налоговое освобождение на средства, инвестируемые в разработку и реализацию энергосберегающих проектов. Для снижения ставки налога фиксированная сумма инвестиций вычитается из налогооблагаемой базы или определенная часть суммы инвестиций вычитается непосредственно из подоходного налога. Так, например, в Германии на территории бывшей ГДР владельцы индивидуальных зданий имеют право в течение 10 лет инвестировать 10 % суммы подоходного налога (до 40 тыс. марок на здание) в мероприятия по повышению их энергоэффективности. Этим достигается преимущественное финансирование энергосбережения. Реализуется один из приоритетов государственной политики.

Дифференцированное налогообложение, как более действенная мера стимулирования по отношению к льготам, является распространенным во всем мире стимулом. Воздействие на потребителей топливноэнергетических ресурсов для перевода их деятельности на энергосберегающий путь может быть как «поощряющим», так и «наказывающим».

К «наказывающим» мерам налоговой политики относится, в частности, установление высоких налогов на энергоресурсы. В результате потребительская цена энергоресурсов, включающая эти налоги, возрастает и в условиях рынка продукция становится неконкурентоспособной.

В стремлении интенсифицировать создание нетрадиционных источников энергии Дания, Норвегия, Нидерланды, Финляндия, Швеция ввели специальный налог на углерод, содержащийся в различных видах органического топлива. В результате этой меры финансовое бремя «энергетических» налогов обратно пропорционально результатам энергосберегающей активности каждого конкретного потребителя.

Финансовая поддержка государством энергосберегающих мероприятий

потребителей в виде субсидий, грантов, ссуд широко практикуется во многих западных странах. Именно это стало наиболее распространенной мотивацией для осуществления мер по повышению энергоэффективности. Для реализации государственных программ поддержки во многих странах введены специальные критерии и приоритетные направления, которым должны соответствовать потребители, претендующие на получение бюджетных средств для реализации энергосберегающих проектов.

Предоставление льготных займов потребителям, проводящим энергосберегающие мероприятия (прежде всего, владельцам жилых зданий) практикуется во многих странах, что, несомненно, повышает доступность инвестиций для потенциальных получателей. В Германии, например, такие займы предоставляются по ставке на 3 % ниже рыночной.

Получившее широкое распространение во многих странах энергетическое обследование (энергоаудит), результаты которого берут за основу при планировании и проведении энергосберегающих мероприятий, привел к специфической форме финансовой поддержки потребителей энергоресурсов. Поскольку для его проведения привлекаются специализированные независимые консалтинговые фирмы, энергоаудит дорог.

Особенно дорого для тех категорий потребителей, которые в силу специфики своей деятельности не способны давать большой доход. Стоимость услуг экспертов в сочетании со стоимостью использованного новейшего оборудования и приборов может достичь нескольких десятков тысяч долларов. Не каждое предприятие может заплатить такие деньги только за то, чтобы узнать о резервах экономии энергии. В связи с этим финансовая поддержка государством (в основном в виде субсидий) энергоаудита предприятий оказывается просто необходимой. В некоторых странах (Дания, Финляндия) для повышения привлекательности программ энергосбережения осуществляется 100%-ое субсидирование энергетических обследований. Однако, во избежание неоправданных расходов бюджетных средств, в ряде стран объем субсидирования обследований снижен до 50–80% (в зависимости от финансового состояния, масштабов проекта и т. п.), поскольку нет гарантии того, что потребители в будущем осуществят рекомендованные мероприятия. Даже при ограниченных финансовых возможностях потребителя существует механизм компенсации средств, затраченных внешним инвестором как на энергоаудит, так и на реализацию всего энергоэффективного проекта путем снижения уровня оплаты за использование энергоресурсов. Кроме того, по мнению многих специалистов, вложение собственных средств потребителя в проведение энергетического обследования будет дополнительным стимулом для скорейшего внедрения мероприятий по энергосбережению. Подобные же меры существуют в ряде стран для стимулирования специальных образовательных услуг в области энергосбережения. Специальное обучение проходит персонал предприятий, специалисты фирм, экономисты, население, государственные чиновники.

Тема 8.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

8.1. Влияние электроэнергетики на окружающую среду

Энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Краткая экологическая характеристика основных объектов электроэнергетики, на базе которых может осуществляться ее развитие, свидетельствует о том, что все они оказывают то или иное отрицательное воздействие на окружающую среду. Практически нет объектов, которые совсем не влияют на окружающую среду.

Энергетика влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ).

В то же время ни в коем случае нельзя считать все объекты электроэнергетики экологически равноценными. Наибольшее число отрицательных воздействий связано с развитием и эксплуатацией ТЭС.

Тепловые электростанции, сжигающие органические виды топлива, неблагоприятно влияют практически на все сферы окружающей среды и подвергают природу всем рассмотренным видам воздействий, включая выбросы радиоактивных веществ в составе летучей золы дымовых газов, которые по оценкам ряда специалистов превышают объем радиационных выбросов АЭС при их нормальной эксплуатации. Радиоактивные вещества, содержащиеся в первичном топливе, выносятся за пределы ТЭС с твердыми частицами (золой) и рассеиваются с дымовыми газами на огромной территории.

Отрицательное воздействие ТЭС усугубляется тем, что их работа должна обеспечиваться постоянной добычей топлива (топливная база), сопровождаемой дополнительными отрицательными воздействиями на окружающую среду: загрязнением воздушного бассейна, воды и земли; расходом земельных и водных ресурсов, истощением невозобновляемых запасов топлива (природных ископаемых ресурсов).

Загрязнение природной среды происходит также при транспортировании топлива, как в виде его прямых потерь, так и в результате расхода энергоресурсов на его перевозку, которая в среднем по территории России производится на расстоянии около 800 км.

Общая сумма позиций, по которым определяется отрицательное воздействие объектов электроэнергетики на окружающую среду, оказалась наибольшей для ТЭС, использующих органическое топливо.

По такой качественной оценке воздействия на окружающую среду на втором месте находятся атомные электростанции с их топливной базой. Среди факторов неблагоприятного воздействия АЭС такие грозные, как

радиационная опасность.

Среди большого числа загрязнителей воздуха (более 200) выделяются пять основных, на долю которых приходится 90-95 % валового выброса вредных веществ в различных регионах страны. К ним относятся: твердые частицы (пыль, зола); оксиды серы; оксиды азота; оксиды углерода; углеводороды. В электроэнергетике к основным загрязняющим атмосферу веществам относятся три первых. Выбросы электроэнергетики достигают 1/3 общего количества вредных веществ, поступающих в атмосферу от стационарных источников.

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу электростанциями за 10-летний период заметно снизилось, хотя выработка электроэнергии за тот же период возросла на 27 %. Это снижение обеспечено за счет изменения структуры генерирующих мощностей, совершенствования систем золоочистки, увеличения доли используемого природного газа, уменьшения количества сжигаемого на электростанциях высокосернистого мазута и снижения средней сернистости углей.

По уровню опасности основные выбросы электростанций относятся к III классу, т.е. не являются самыми опасными. Наряду с рассмотренными выше основными загрязняющими атмосферу веществами в дымовых газах электростанций имеется некоторое количество еще более вредных, в том числе канцерогенных, веществ, относящихся к I классу опасности. Установлено, что существенные количества канцерогенных веществ образуются при слоевом сжигании топлива. Сжигание же топлива в пылеугольных топках снижает количество выбросов канцерогенных веществ на четыре порядка. Бензапирен и другие канцерогенные вещества хоть и присутствуют в продуктах сгорания электростанций, но в таких небольших дозах, что определяют не более 3-4 % токсичности продуктов сгорания мощных ГРЭС.

Строительство крупных ТЭС, сжигающих твердое топливо в пылеугольных топках или природный газ, способно существенным образом улучшить канцерогенную обстановку в населенных пунктах за счет отказа от большого числа мелких котельных, в выбросах которых на четыре порядка больше канцерогенных веществ, чем у крупных электростанций. Тем более что и осуществляются эти выбросы через низкие трубы, не способствующие их достаточному рассеиванию.

При сгорании в топках котлов электростанций органического топлива образуются твердые и газообразные вредные вещества (так называемые «отходящие»), транспортируемые в составе дымовых газов по газоходам котла в дымовую трубу. Часть «отходящих» вредных компонентов поглощается другими составляющими дымовых газов (например, оксиды серы частично поглощаются золой) в котле и в процессе движения по газоходам. На выходе из дымовой трубы они улавливаются специальными устройствами, например золоуловителями. Все, что не поглощено и не уловлено, выбрасывается в атмосферу. Эти не уловленные и не поглощенные вредные вещества называются «вредными выбросами» или

просто «выбросами».

С дымовыми газами ТЭС в атмосферу поступает большое количество различных вредных веществ. Самая большая доля их приходится на золу (твердые частицы), оксиды серы и азота, выбросы которых нормируются и рассчитываются на перспективу.

Другие выбросы (СО и СО₂) не учитываются и не контролируются, т. к. в условиях нормальной эксплуатации монооксид углерода в выбросах ТЭС отсутствует. В связи с этим выбросы монооксида углерода не учитываются, как и выбросы диоксида СО₂, объем которого очень велик. Этот газ не токсичен и в природном цикле служит источником получения кислорода в процессе фотосинтеза растений.

Ученые ряда стран отмечают нарастание концентрации СО₂ в атмосферном воздухе, что, по-видимому, является результатом увеличения его выброса в связи с сжиганием все возрастающего количества органического топлива в мире, в том числе и на электростанциях, а также сокращения площади лесных массивов из-за интенсивной вырубке лесов во всех регионах Земли, и особенно в бассейне р. Амазонки, леса которого по праву считаются легкими планеты. Повышение концентрации СО₂ в атмосфере планеты способно оказать глобальное влияние на климат планеты, создавая так называемый «парниковый эффект», ведущий к увеличению средней температуры воздуха, таянию ледников, повышению уровня мирового океана, затоплению обширных прибрежных районов Земли и другим неблагоприятным воздействиям.

При экологическом сопоставлении вариантов развития электроэнергетики следует учитывать, что при прочих равных условиях источники электроэнергии, сжигающие органические виды топлива и выбрасывающие большое количество СО₂, имеют определенный минус по сравнению с электростанциями, принципиально не влияющими на создание «парникового эффекта». К их числу относятся в первую очередь гидроэлектростанции, а также АЭС и электростанций на альтернативных источниках.

Говоря о воздействии на температурные условия окружающей среды, уместно, по-видимому, остановиться на нарушениях теплового баланса в результате прямых выбросов теплоты, связанных с работой электростанций.

Практически вся тепловая энергия, выделяющаяся при использовании топлива (как органического, так и ядерного), идет на пополнение теплового баланса планеты и, естественно, баланса того локального района, в котором размещается электростанция. При сжигании органического топлива в окружающую среду дополнительно поступает та тепловая энергия, которая была накоплена в нем за миллионы лет существования Земли. Дополнительное поступление теплоты в окружающую среду связано в первую очередь с несовершенством процесса преобразования тепловой энергии в электрическую (КПД преобразования для обычных ТЭС находится на уровне 35 %, а для АЭС 30 %). Имеют место тепловые потери в электрических сетях (8-10 %), потери в процессе преобразования

электроэнергии в энергию механическую, тепловую и т. д.

Сравнивая воздействие различных источников электроэнергии на окружающую среду, необходимо принимать во внимание только тот прирост теплоты в общем тепловом балансе Земли или района, который связан с различными условиями использования первичных энергоресурсов.

В этом отношении наиболее чистыми источниками являются гидроэлектростанции, которые практически не влияют на тепловой баланс Земли. Они, по существу, позволяют полезно использовать только ту возобновляемую часть солнечной энергии, которая постоянно поступает на Землю и формирует ее естественный тепловой баланс.

При создании гидроэлектростанций значительная часть потенциальной энергии водотока превращается в электрическую энергию, которая полезно расходуется в народном хозяйстве. Коэффициент полезного действия ГЭС высок и находится на уровне 90-95 %.

Тепловая электростанция для производства такого же количества электроэнергии нуждается в использовании невозобновляемой энергии, накопленной в топливе, которая в меру своих масштабов нарушает тепловой баланс планеты.

Тепловой баланс АЭС складывается еще хуже. Полезно используемая энергия современных АЭС составляет только 1/3 энергии, выделяемой в результате ядерных реакций. Энергетический блок АЭС мощностью 1 млн. кВт имеет тепловую мощность 3 млн. кВт. Соответственно при развитии АЭС возрастают размеры поступления теплоты в баланс Земли и концентрированно в тепловой баланс района размещения АЭС.

Огромное количество сбросной тепловой энергии ТЭС и АЭС является потенциальным ресурсом для его полезного использования.

Надежные способы оценки реального вклада выбросов теплоты ТЭС и АЭС в глобальное потепление климата на Земле в настоящее время отсутствуют. Поэтому при сопоставлении вариантов развития электроэнергетики вклад электростанций в нарушение теплового баланса Земли можно учитывать только качественно, имея в виду, что практически чистыми в этом отношении являются только гидроэлектростанции, а из ТЭС и АЭС предпочтение по этому показателю должно отдаваться ТЭС на органических видах топлива.

Наименьшее количество воздействий среди традиционных источников электроэнергии оказывают гидроэлектростанции. Это дает основание считать их наиболее экологически чистыми источниками электроэнергии из числа традиционных. При этом ряд сред (воздух, земля) вообще не загрязняется при работе гидроэлектростанций.

Большое преимущество ГЭС заключается также в том, что их воздействие ограничивается локальными зонами водохранилищ и что они используют только возобновляемую энергию водотока, не нуждаются в топливных базах и транспортировании топлива и не расходуют невозобновляемых полезных ископаемых.

Среди неблагоприятных воздействий ГЭС главным является

затопление обширных территорий, которое и определяет экологическое лицо ГЭС.

Число отрицательных воздействий на окружающую среду нетрадиционных источников электроэнергии, как правило, невелико, за исключением геотермальных электростанций.

Увеличение мощности и выработки электроэнергии, необходимое для обеспечения прироста потребительского спроса на электроэнергию, создает предпосылки для усиления отрицательного воздействия электроэнергетики на окружающую среду. Дополнительные воздействия могут выражаться в изъятии земельных и водных ресурсов, загрязнении земель, вод и атмосферного воздуха.

В связи с этим одной из важнейших проблем экологической оптимизации развития электроэнергетики является всемерное сокращение этих воздействий с использованием различных природоохранных мероприятий.

Среди природоохранных мероприятий в электроэнергетике могут быть выделены две принципиально различные группы.

К первой из них относятся технические мероприятия, осуществляемые на объектах электроэнергетики и способствующие сокращению на них вредных выбросов и сбросов, снижению концентрации вредных веществ, а также ресурсосбережение, утилизация отходов производства и т. д.

Ко второй группе природоохранных мероприятий могут быть отнесены такие, которые обеспечивают снижение отрицательного воздействия на окружающую среду за счет оптимизации топливно-энергетического баланса электроэнергетики, оптимизации структуры и размещения электростанций.

Возможности первой группы природоохранных мероприятий определяются техническим прогрессом в энергомашиностроении, качеством разработки проектных решений по объектам электроэнергетики, полнотой учета при проектировании требований охраны окружающей среды, экономической и социальной приемлемостью предлагаемых решений.

Мероприятия второй группы исследуются и применяются с учетом того, что на объектах в полной мере реализуются мероприятия первой группы, т.е. мероприятия второй группы не заменяют, а дополняют комплекс мероприятий первой группы. Возможности второй группы природоохранных мероприятий в структурной оптимизации определяются качественными и количественными характеристиками топливно-энергетических ресурсов рассматриваемого региона, набором альтернативных источников, которые могут быть использованы для покрытия прироста электропотребления (ГЭС, АЭС, ГРЭС и т. д.), их размещением, экологическими и экономическими характеристиками.

На условия оптимизации развития и размещения объектов электроэнергетики существенное влияние может оказать состояние окружающей среды в районе, включая наличие земельных и водных ресурсов, уровень фонового загрязнения окружающей среды. Очевидно, что

в случае повышенного уровня загрязненности окружающей среды могут возникнуть условия, при которых размещение здесь электростанции без нарушения санитарных норм окажется невозможным даже при использовании всех доступных мероприятий первой группы. В этом случае радикальным средством охраны природы в данном районе может быть вынос электростанции в другой, более благоприятный в экологическом отношении район, либо изменение вида топлива или типа электростанции. Важно при этом подчеркнуть, что в любых вариантах развития и размещения электростанций, при любом наборе объектных природоохранных мероприятий обязательным является обеспечение норм охраны природной среды и безопасности человека.

Из изложенного следует, что реализация системных мероприятий в значительной мере зависит от специфических особенностей рассматриваемого региона, которые в каждом отдельном случае должны изучаться индивидуально.

8.2. Влияние электромагнитных полей устройств электроэнергетики на человека и оборудование

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) любой электронной системы подразумевается способность системы нормально функционировать в заданной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам. Надежная работа электронной аппаратуры является актуальной частью проблемы обеспечения электромагнитной совместимости электрооборудования.

Электромагнитная совместимость характеризуется не только взаимодействием устройств автоматики с окружающей средой, но и взаимодействием элементов этих устройств между собой.

Электромагнитную совместимость можно определить как способность электрической установки или ее элементов функционировать в заданной электромагнитной обстановке так, чтобы не вызывать недопустимого электромагнитного воздействия на окружающую среду.

По определению, электромагнитное поле (ЭМП) - это особая форма материи, посредством которой осуществляется воздействие между электрическими заряженными частицами.

Среди основных источников ЭМП можно перечислить:

- Электротранспорт (трамваи, троллейбусы, поезда и т.д.);
- Линии электропередач (городского освещения, высоковольтные);
- Электропроводка (внутри зданий, телекоммуникации и т.д.), бытовые электроприборы;
- Теле- и радиостанции (транслирующие антенны);
- Спутниковая и сотовая связь (транслирующие антенны);
- Радары;
- Персональные компьютеры.

Электротранспорт. Транспорт на электрической тяге – электропоезда (в том числе поезда метрополитена), троллейбусы, трамваи и т.п. – является относительно мощным источником магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц.

Линии электропередач. Провода работающей линии электропередачи создают в прилегающем пространстве электрическое и магнитное поля промышленной частоты. Расстояние, на которое распространяются эти поля от проводов линии, достигает десятков метров. Дальность распространения электрического поля зависит от класса напряжения ЛЭП; чем выше напряжение – тем больше зона повышенного уровня электрического поля, при этом размеры зоны не изменяются в течение времени работы ЛЭП. Дальность распространения магнитного поля зависит от величины протекающего тока или от нагрузки линии. Поскольку нагрузка ЛЭП может неоднократно изменяться как в течение суток, так и со сменой сезонов года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также меняются.

В 70-х годах для населения по электрическим полям промышленной частоты были введены жесткие нормативы, и по настоящее время являющиеся одними из самых жестких в мире. Они изложены в Санитарных нормах и правилах "Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты" № 2971. В соответствии с этими нормами проектируются и строятся все объекты электроснабжения.

Несмотря на то, что магнитное поле во всем мире сейчас считается опасным для здоровья, предельно допустимая величина магнитного поля для населения в России не нормируется. Причина – отсутствие финансирования для исследований и разработки норм. Большая часть ЛЭП строилась без учета этой опасности.

Электропроводка. Наибольший вклад в электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне промышленной частоты 50 Гц вносит электротехническое оборудование здания, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания, а также распределительные щиты и трансформаторы. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно повышен уровень магнитного поля промышленной частоты, вызываемый протекающим электротоком. Уровень электрического поля промышленной частоты при этом обычно невысокий и не превышает ПДУ для населения 500 В/м.

Бытовая электротехника. Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, являются источниками электромагнитных полей. Наиболее мощными следует признать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой "без инея", кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа. Значения магнитного поля тесно связаны с

мощностью прибора - чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе.

Сотовая связь. Сотовая радиотелефония является сегодня одной из наиболее интенсивно развивающихся телекоммуникационных систем. Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС) и мобильные радиотелефоны (МРТ). Базовые станции поддерживают радиосвязь с мобильными радиотелефонами, вследствие чего БС и МРТ являются источниками электромагнитного излучения в УВЧ диапазоне.

Базовые станции поддерживают связь с находящимися в их зоне действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта, БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 до 1880 МГц.

Среди установленных в одном месте антенн БС имеются как передающие (или приемопередающие), так и приемные антенны, которые не являются источниками ЭМП.

БС являются видом передающих радиотехнических объектов, мощность излучения которых (загрузка) не является постоянной 24 часа в сутки. Загрузка определяется наличием владельцев сотовых телефонов в зоне обслуживания конкретной базовой станции и их желанием воспользоваться телефоном для разговора, что, в свою очередь, коренным образом зависит от времени суток, места расположения БС, дня недели и др. В ночные часы загрузка БС практически равна нулю, т.е. станции в основном "молчат".

Имеющиеся научные данные и существующая система санитарно-гигиенического контроля при введении в эксплуатацию базовых станций сотовой связи позволяют отнести базовые станции сотовой связи к наиболее экологически и санитарно-гигиенически безопасным системам связи.

Мобильные радиотелефоны. Мобильный радиотелефон (МРТ) представляет собой малогабаритный приемопередатчик. В зависимости от стандарта телефона, передача ведется в диапазоне частот 453 – 1785 МГц. Мощность излучения МРТ является величиной переменной, в значительной степени зависящей от состояния канала связи "мобильный радиотелефон – базовая станция", т.е. чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения МРТ. Максимальная мощность находится в границах 0,125 - 1 Вт, однако в реальной обстановке она обычно не превышает 0,05 - 0,2 Вт. Для людей, окружающих человека, разговаривающего по мобильному радиотелефону, электромагнитное поле, создаваемое МРТ, не представляет никакой опасности.

Персональные компьютеры. Основным источником неблагоприятного воздействия на здоровье пользователя компьютера является средство визуального отображения информации на электронно-лучевой трубке. Ниже перечислены основные факторы его неблагоприятного воздействия.

Эргономические параметры экрана монитора:

- снижение контраста изображения в условиях интенсивной внешней

засветки;

- зеркальные блики от передней поверхности экранов мониторов;
- наличие мерцания изображения на экране монитора;

Излучательные характеристики монитора:

- электромагнитное поле монитора в диапазоне частот 20 Гц - 1000 МГц;
- статический электрический заряд на экране монитора;
- ультрафиолетовое излучение в диапазоне 200 - 400 нм;
- инфракрасное излучение в диапазоне 1050 нм - 1 мм;
- рентгеновское излучение $> 1,2$ кэВ;

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц.

Влияние на здоровье пользователя электромагнитных полей компьютера. По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем в контрольных группах; болезни сердечно-сосудистой системы – в 2 раза чаще, болезни верхних дыхательных путей – в 1,9 раза чаще; болезни опорно-двигательного аппарата – в 3,1 раза чаще. С увеличением продолжительности работы на компьютере соотношение здоровых и больных людей среди пользователей резко возрастает.

Исследования показали, что даже при кратковременной работе (45 минут), в организме пользователя под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин. Замечено, что у групп лиц (в данном случае это составило 20 %) отрицательная реакция организма не проявляется при работе с ПК менее 1 часа. Исходя из анализа полученных результатов, сделан вывод о возможности формирования специальных критериев профессионального отбора для персонала, использующего компьютер в процессе работы.

Зонами, воспринимающими аэроионы в организме человека, являются дыхательные пути и кожа. Единого мнения относительно механизма воздействия аэроионов на состояние здоровья человека нет.

У пользователей дисплеев развивается мышечная слабость, изменения формы позвоночника. Пользователи дисплеев часто находятся в состоянии стресса. Пребывание человека в условиях длительно действующего стресс-фактора может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний.

Из средств защиты предлагаются защитные фильтры для экранов мониторов. Они используются для ограничения действия вредных факторов со стороны экрана монитора, улучшают эргономические параметры экрана монитора и снижают излучение монитора в направлении пользователя.

Биологическое действие электромагнитных полей. Электрические и магнитные поля являются очень сильными факторами

влияния на состояние всех биологических объектов, попадающих в зону их воздействия. Например, в районе действия электрического поля ЛЭП у насекомых проявляются изменения в поведении: так, у пчел фиксируется повышенная агрессивность, беспокойство, снижение работоспособности и продуктивности, склонность к потере маток; у жуков, комаров, бабочек и других летающих насекомых наблюдается изменение поведенческих реакций, в том числе изменение направления движения в сторону с меньшим уровнем поля.

У растений распространены аномалии развития – часто меняются формы и размеры цветков, листьев, стеблей, появляются лишние лепестки.

Здоровый человек страдает от длительного пребывания в поле ЛЭП. Кратковременное облучение (минуты) способно привести к негативной реакции только у гиперчувствительных людей или у больных некоторыми видами аллергии. Например, хорошо известны работы английских ученых, в начале 90-х годов показавших, что у ряда аллергиков под действием поля ЛЭП развивается реакция по типу эпилептической.

При продолжительном пребывании (месяцы – годы) людей в электромагнитном поле ЛЭП могут развиваться заболевания преимущественно сердечно-сосудистой и нервной систем человека. В последние годы в числе отдаленных последствий часто называются онкологические заболевания.

Биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональные заболевания.

Особо опасными ЭМП могут быть для детей, беременных (эмбрион), людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой системы, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом.

На уровне нервной клетки, структурных образований по передачи нервных импульсов (синапсе), на уровне изолированных нервных структур возникают существенные отклонения при воздействии ЭМП малой интенсивности. Изменяется высшая нервная деятельность, память у людей, имеющих контакт с ЭМП. Эти лица могут иметь склонность к развитию стрессовых реакций. Определенные структуры головного мозга имеют повышенную чувствительность к ЭМП.

Человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле. Однако, для того, чтобы эта реакция переросла в патологию и привела к заболеванию, необходимо совпадение ряда условий – в том числе достаточно высокий уровень поля и продолжительность облучения. Поэтому, при использовании бытовой техники с малыми уровнями поля и/или кратковременно, ЭМП бытовой техники не оказывает влияния на здоровье основной части населения. Потенциальная опасность может грозить лишь людям с повышенной чувствительностью к ЭМП и аллергикам, также зачастую обладающим повышенной чувствительностью к ЭМП. Кроме того, согласно современным представлениям, магнитное поле

промышленной частоты может быть опасным для здоровья человека, если происходит продолжительное облучение (регулярно, не менее 8 часов в сутки, в течение нескольких лет) с уровнем выше 0,2 микротесла.

Принципы обеспечения безопасности населения.

Основная мера защиты - предупредительная. В целях предупреждения негативного влияния необходимо:

- исключить продолжительное пребывание (регулярно по несколько часов в день) в местах повышенного уровня магнитного поля промышленной частоты;
- кровать для ночного отдыха максимально удалять от источников продолжительного облучения, расстояние до распределительных шкафов, силовых электрокабелей должно быть 2,5 - 3 метра;
- если в помещении или в смежном есть какие-то неизвестные кабели, распределительные шкафы, трансформаторные подстанции – удаление должно быть максимально возможным; оптимально – померить уровень электромагнитных полей до того, как жить в таком помещении;
- при необходимости установить полы с электроподогревом, выбирать системы с пониженным уровнем магнитного поля.

Основной принцип защиты здоровья населения от электромагнитного поля ЛЭП состоит в установлении санитарно-защитных зон для линий электропередачи и снижении напряженности электрического поля в жилых зданиях и в местах возможного продолжительного пребывания людей путем применения защитных экранов.

Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП, которые на действующих линиях определяются по критерию напряженности электрического поля – 1 кВ/м.

Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП согласно СН № 2971-84

Напряжение ЛЭП	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1150 кВ
Размер санитарнозащитной (охранной) зоны	20 м	30 м	40 м	55 м

В пределах санитарно-защитной зоны ВЛ запрещается:

- размещать жилые и общественные здания и сооружения;
- устраивать площадки для стоянки и остановки всех видов транспорта;
- размещать предприятия по обслуживанию автомобилей и склады нефти и нефтепродуктов;
- производить операции с горючим, выполнять ремонт машин и механизмов. Территории санитарно-защитных зон разрешается использовать как сельскохозяйственные угодья, однако рекомендуется выращивать на них культуры, не требующие ручного труда.

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. История и современные проблемы электроэнергетики и высоковольтной электрофизики: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 219 с.
2. Современные проблемы электроэнергетики: краткий курс лекций / Валеев И.М., КГЭУ. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2008.
3. <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/>
4. <http://esis-kgeu.ru/ecology/214-ecology>
5. <http://tochka-rosta.pro/Novosti/vliyanie-energetiki-na-okruzhayushhuyu-srede.html>