

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский  
государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ)

Кафедра «Агроинженерия, электро- и теплоэнергетика»

Ю. Я. Чукреев

## ВВЕДЕНИЕ В ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Учебное пособие

*Утверждено учебно-методическим советом  
Сыктывкарского лесного института в качестве учебного пособия  
для студентов направлений подготовки бакалавриата 13.03.02  
«Электроэнергетика и электротехника», 35.03.06 «Агроинженерия»  
всех форм обучения*

Самостоятельное учебное электронное издание

Сыктывкар 2022

УДК 378:621.3  
ББК 31.2  
Ч-88

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Сыктывкарского лесного института.

**Ответственный редактор:**

**Ф. Ф. Асадуллин**, доктор физико-математических наук, профессор

Чукреев, Ю. Я.

Ч-88 Введение в профессиональную деятельность : учебное пособие : самостоятельное учебное электронное издание / Ю. Я. Чукреев ; Сыкт. лесн. ин-т. — Электрон. дан. — Сыктывкар : СЛИ, 2022. — URL: <http://lib.sfi.komi.com>. — Загл. с экрана.

Учебное пособие по дисциплине «Введение в профессиональную деятельность» знакомит студентов-первокурсников с основными специальными дисциплинами — электрооборудование, электротехнологии, электроснабжение, передача энергии на расстояние. Материал, представленный в пособии, прививает студентам определенный строй мышления и знакомит с назначением смежных дисциплин, изучаемых в институте. Освещены все основные стороны электроэнергетического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, рассматриваемые с точки зрения как исторического, так и естественнонаучного обоснования, эффективности и конструктивного воплощения.

Предназначено для студентов направления подготовки бакалавриата 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения.

УДК 378:621.3  
ББК 31.2

Темплан 2021/22 учеб. г. Изд. № 2.

\* \* \*

*Самостоятельное учебное электронное издание*

ЧУКРЕЕВ Юрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор

**ВВЕДЕНИЕ В ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

Учебное пособие

Электронный формат pdf. Разрешено к публикации 21.10.2022. Объем 4,2 уч.-изд. л.  
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СЛИ)  
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, [institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)  
Издано в СЛИ. Заказ № 26.

© Чукреев Ю. Я., 2022  
© СЛИ, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ.....	5
1.1. Лекции — основа обучения в институте .....	5
1.2. Практические занятия и лабораторные работы.....	7
1.3. Зачеты и экзамены.....	8
1.4. Краткие сведения о технике безопасности .....	11
1.5. Использование библиографии .....	16
<i>Контрольные вопросы</i> .....	18
РАЗДЕЛ 2. ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ .....	19
2.1. Общие представления об энергетике .....	19
2.2. План ГОЭЛРО — первый в мире государственный план развития народного хозяйства .....	20
2.3. Взаимосвязь энергетике и экономики.....	22
2.4. Энергоресурсы и их использование .....	23
2.5. Краткие сведения об электроэнергетике России и Республики Коми .....	26
<i>Контрольные вопросы</i> .....	29
РАЗДЕЛ 3. ТИПЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ .....	31
3.1. Тепловые конденсационные электрические станции .....	31
3.2. Теплоэлектроцентрали.....	37
3.3. Газотурбинные установки .....	39
3.4. Парогазовые установки .....	40
3.5. Атомные электростанции .....	41
3.6. Гидравлические электрические станции.....	44
3.7. Гидроаккумулирующие электрические станции .....	47
3.8. Приливные электрические станции.....	50
3.9. Другие виды электростанций.....	51
<i>Контрольные вопросы</i> .....	54
РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	56
4.1. Потребление электрической энергии .....	56
4.2. Применение электрической энергии и электротехнологии .....	58
<i>Контрольные вопросы</i> .....	65
РАЗДЕЛ 5. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	66
5.1. Элементы и их графическое изображение.....	66
5.2. Принцип работы и конструктивное выполнение основных элементов электроэнергетической системы и системы электроснабжения.....	70
5.3. Передача энергии на расстояние .....	79
5.4. Преимущества объединения энергетических систем .....	81
<i>Контрольные вопросы</i> .....	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	86

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки бакалавриата 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 35.03.06 «Агроинженерия» всех форм обучения, обучающихся в Сыктывкарском лесном институте. Курс «Введение в профессиональную деятельность» преподается на первом курсе. Он должен создать у студентов основные представления об их специальности в большом понимании — об энергетике, о ее значении в современном обществе, об истории ее развития, о влиянии на технический и социальный прогресс. Этот курс является одним из важнейших. Его воздействие на студента-первокурсника, как правило, только что пришедшего со школьной скамьи и мало знающего о своей будущей специальности, очень велико. От успеха данного курса, от того, насколько заинтересуется студент своей будущей специальностью, в значительной степени зависит вся его последующая студенческая и даже инженерная деятельность. В процессе работы над курсом студент не только получает представление о своей будущей специальности, но и, что немаловажно, получает определенные навыки работы в вузе. В этом курсе студент получает представление обо всех разделах энергетики и их взаимосвязях, об энергетических системах и основных, происходящих в них процессах преобразования, передачи и потребления энергии, о принципах работы и конструктивном выполнении энергетических установок, о современном состоянии и перспективах развития энергетики страны и республики.

Изучение курса «Введение в профессиональную деятельность» относится к первому этапу подготовки бакалавра. Роль бакалавра, в какой-то мере заменяющего сегодня инженера, становится достаточно важной. В годы перестройки понятие «инженер» (бакалавр) в значительной степени утратило ту творческую, изобретательскую сторону, которая должна быть для него характерна. Ведь само слово «инженер» (франц. *ingenieur*) подразумевает человека, способного к созданию нового, к изобретательности. В сегодняшнем образовании этому понятию больше соответствует магистр. Бакалавр же — это лицо, только освоившее образовательную программу, но еще не инженер и тем более не магистр. Тем не менее он может занимать инженерные должности, по которым предусмотрено наличие высшего образования. В современных условиях изменений в сфере высшего образования функции бакалавра становятся более ответственными, особенно в удаленных от центральной части страны регионах страны.

## **РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ**

Государство в нашей стране предоставляет большие возможности всем гражданам для получения высшего образования. И эти возможности нужно правильно использовать учащимся, что, к сожалению, происходит не всегда. Дело в том, что учиться надо уметь. По этому поводу имеется много высказываний и публикаций. Не имея возможности привести их, остановимся здесь только на некоторых основных вопросах обучения в вузах.

Процесс обучения имеет три составляющие: понимание, знание, умение. Каждая из этих составляющих требует своего подхода, и все эти составляющие необходимы для самостоятельной деятельности будущего специалиста — бакалавра. Можно, например, понимать явление, однако, не обладая соответствующими навыками, не уметь спроектировать, сделать ту или иную установку. Понимание, в свою очередь, предполагает самостоятельность при подходе к решению задач, возникающих во время обучения в высшей школе. Основным при выработке самостоятельности является организация работы студентов, включая и работу во время слушания лекций. Иногда справедливо говорят, что высшее образование — это умелая ориентация учащейся молодежи плюс ее самостоятельная работа.

Может показаться, что обучение в вузе сводится к накоплению тех и только тех знаний, которые имеют отношение к будущей специальности. Но это не так. Инженеру, как и бакалавру, в практической работе потребуется незначительная часть тех знаний, которые он получил в течение обучения в институте. Самая главная цель обучения заключается в том, чтобы после института бакалавр был способен воспринимать новое, умел творчески мыслить, ставить технические задачи и решать их, был готов к повышению своего уровня знаний, в том числе и за счет поступления в магистратуру.

Отдельные слагающие учебного процесса, такие, как лекции, практические занятия, лабораторные работы и т. д., закрепляются и превращаются в единую систему знаний только самостоятельной работой студентов.

### **1.1. Лекции — основа обучения в институте**

Лекции, кажущиеся на первый взгляд пассивной формой учебного процесса, в действительности должны быть активными. Для студента они не должны сводиться к переписыванию в тетрадку слов лектора и выписываемых им на доске формул. Лекции — это творческое, активное восприятие слушателями материала, тут же, на лекции, осмысливаемого. Для слушателя наиболее важно научиться выделять в лекции изложение логики основного содержания, канву математического доказательства, не запутавшись при этом в деталях. Манерой изложения, интонацией голоса лектор подчеркивает главные, принципиальные положения лекции, на которые нужно студентам обратить внимание.

Важность работы с книгой очевидна. Но очевидно и то, что книга остается равнодушной к переживаниям учащихся, а лектор реагирует на то, как воспри-

нимает материал аудитория. Если нужно повторить отдельные части, положения или замедлить темп чтения лекции, то лектор всегда может делать это для лучшего усвоения материала учащимися. Слушая лекцию, не нужно распылять внимания на мелочи, если они даже и непонятны, их следует отмечать ни полях конспектов, позднее выясняя у лектора.

На лекции излагается не только конкретное содержание предмета, но и в концентрированном виде дается историческое развитие техники, излагается научный метод, обобщается опыт многих лет. Поэтому следует обращать внимание на широту постановки задачи и стремиться получить представление о затронутой технической и научной проблеме в целом.

Нельзя не повторить, хотя это звучит и тривиально, что студенту в институте нужно прежде всего научиться учиться, получить прочный запас знаний. А получить этот запас знаний студенту непросто. Здесь имеется ряд трудностей. Во-первых, те конкретные знания, которые даются в институте, могут со временем устареть и выпускник в своей практической работе столкнется с совершенно иной техникой. Поэтому за годы учебы важно усвоить основные принципы развития, получить фундаментальные знания, овладеть методологией исследований, чтобы впоследствии можно было быстро, «на ходу» подключиться к развитию техники. Во-вторых, прочные знания нельзя получить заучиванием. Прочные знания предполагают глубокое понимание изучаемого материала. И эту способность глубоко проникать в суть рассматриваемых нужно развивать, стремиться быстро схватывать новые идеи и использовать их при решении своих практических задач.

Лекция относится к одному из наиболее ответственных видов учебного процесса. Именно лекция должна продемонстрировать логику рассуждений, дать сжатый обзор научной мысли за десятилетия и столетия, ввести слушателя в храм современной науки, а не только в ремесленную мастерскую техники. Между тем в большинстве случаев на лекциях именно те важные мысли, которые излагаются лектором, те основные соображения и предположения вокруг которой строится ход доказательства, меньше всего привлекают внимание аудитории, и, напротив: в любом конспекте наверняка оказываются записанными все математические преобразования, которые можно легко найти в учебнике. Очень плохо, когда нет мыслей в конспекте, но много такого рода записей.

Как же нужно слушать лекции? Часто внимание слушателя сосредоточивается только на механической записи того, что появляется на доске, поэтому за ходом рассуждения он следить уже не может. Основным на лекции должно быть понимание мыслей и идей лекции, а не только фактов и формул. Главное внимание должно быть сосредоточено вокруг основных идей рассматриваемого вопроса, вокруг того стержня идей, которые преподносятся на лекции и составляют ее главную ценность.

Уточним теперь, что все-таки и как следует записывать на лекции. Записывать, конечно, приходится по-разному. Естественно, что у каждого есть или должна быть своя отработанная форма записи. Но есть и некоторые общие положения. Так, абсолютно недопустимо делать записи на клочках бумаги или в разных тетрадах. Записывать лекции всегда нужно в одной тетради, на одной

стороне листа, оставляя поля, с тем, чтобы потом можно было сделать замечания, записать что-то дополнительно, сделать выписки из книг. Недопустимо вести записи мелким неразборчивым почерком так, что и сам автор записей не разберет их.

Для записей лекций нужно отработать почерк, пользоваться условными обозначениями (значки «больше», «меньше», сокращения — ЭДС, м. д. с. и т. д.). Самое главное — преодолеть «ленивую доверчивость ума», или, можно сказать, своего рода «барство ума», готового бездумно следовать за лектором и переписывать его выкладки. Преодолев это, важно следить за лектором, ходом его мысли и установить прочный духовный контакт с ним.

Помня, что лекция — это совместная работа лектора и слушателя, можно, не стесняясь, попросить, например, читать медленнее, или, напротив, быстрее. Контакт с аудиторией, к сожалению, часто бывает недостаточным. Бывает так, что хороший контакт с аудиторией, обычно возникающий на первых лекциях, затем через четыре-пять лекций теряется. Возникает такое положение, при котором аудитория слушает и записывает, но уже видно, что большая ее часть перестала следить за ходом мыслей лектора. Причин здесь много, и первая причина, основная, состоит в том, что по всякому мало-мальски сложному курсу следить за лекцией только «с голоса» и быть в курсе мыслей лектора очень сложно. Здесь требуется дополнительная работа, без которой нельзя достигнуть цели лекции у большинства слушателей. Отрыв лектора от аудитории связан, прежде всего, с тем, что после лекции студенты, как правило, не заглядывают в свои записи до тех пор, пока не подойдет сессия. Дело, конечно, тут не только в том, что студентам некогда готовиться к занятиям так, чтобы следующая лекция была действительно интересной. Студент, к сожалению, часто не чувствует потребности и необходимости в подготовке к очередной лекции, не понимает, что только слушать и записывать с голоса значит быстро терять и понимание сути и вместе с тем интерес к лекции.

Для систематического просмотра лекций нужна определенная дисциплина. Если бы в вузе дело было поставлено так, как в школе, если бы студенты знали, что их всегда могут спросить и они могут получить «текущую» двойку, то, конечно, нашлись бы у них эти 20—30 минут. Сейчас, когда студенты бездумно сидят по 4, а то и по 6 часов на лекциях несколько дней в неделю, это время без предварительной (пусть небольшой) подготовки просто пропадает, а при подготовке оно могло быть использовано творчески. Вот почему в настоящем курсе так много уделяется внимания необходимости активизации лекций.

## **1.2. Практические занятия и лабораторные работы**

Кроме лекционных занятий, в высших учебных заведениях значительное время, и даже большее, занимают другие виды занятий, такие как практические занятия, лабораторные работы, курсовые проекты и т. д.

*Практические занятия* предназначены разъяснять на конкретных примерах и расчетах те общие положения, которые давались на лекциях. Роль упражнений ве-

лика, на них, говоря образно, как бы оживают теоретические положения. Поэтому относиться к ним нужно очень серьезно. К упражнениям, так же как и к лекциям, следует заранее готовиться. На упражнениях желательно восстановить в памяти соответствующий лекционный материал и постараться увязать рассматриваемые конкретные задачи с теми общими проблемами, которые излагались на лекциях.

Не менее значительна роль *лабораторных работ*. Они так же, как и упражнения, иллюстрируют, закрепляют и уточняют общие положения лекционного материала. Физические процессы и закономерности изучаются при выполнении лабораторных работ на конкретных физических объектах. При этом у учащихся вырабатываются навыки практической работы со схемами, приборами, установками, появляется некоторый опыт экспериментальных исследований. Если к лабораторным работам не подготовить нужный теоретический материал, то время на их проведение будет практически потрачено напрасно.

### 1.3. Зачеты и экзамены

Изучение студентом учебного материала заканчивается зачетом или экзаменом, которые должны играть важную роль в подготовке будущих бакалавров. Экзамены увязываются с основной задачей высшей школы — с развитием творческих и умственных способностей, с умением воспринимать материал.

Для того чтобы экзамен не казался неким «страшным» актом, чтобы не было разговоров о перегрузках, необходимо правильно организовать систематическую работу в течение семестра. Студент страдает не от перегрузки, а от неравномерной нагрузки в течение семестра. Подавляющее большинство студентов более 2/3 семестра работает в половину силы, поэтому конец семестра у них оказывается перегруженным. Именно в это время обычно и поднимается вопрос о перегрузке, о чрезмерном объеме заданий и т. д., и т. п.

В совершенствовании планирования текущей работы студентов есть и другая сторона дела. Институт призван готовить специалистов, умеющих работать, организаторов промышленного производства, а через магистратуру — и организаторов науки. И если в институте студенты не научатся сами систематически работать и планировать свое время, свою работу, то вряд ли в будущем они станут хорошими руководителями производства.

Преувеличение трудностей экзамена часто вызвано тем, что студенты в течение семестра мало уделяют внимания усвоению теоретической части курса. Их занятия ограничиваются механическим записыванием лекций с расчетом выучить (или вызубрить) материал в те несколько дней, которые отводятся на подготовку к экзамену. Это грубая ошибка, так как за такое непродолжительное время можно повторить некоторые выводы, доказательства, но нельзя сделать самого главного — нельзя понять дух науки и ее специфику и внутреннюю логику, без которых знания будут поверхностными.

Некоторые студенты говорят: «Экзамены — это лотерея». Но это не так, даже в том случае, когда экзамены принимаются в виде тестов. И тем более не так, когда со студентом беседует преподаватель. Разделы всегда связаны между



собой, хотя связи эти часто и незаметны для студента. Поэтому экзаменатор непосредственно из ответа студента или анализа результатов опроса, проведенного компьютером по одному разделу, уже получает определенное представление о том, как экзаменующийся знает другие разделы. И иногда достаточно одного дополнительного вопроса, чтобы картина стала ясна.

Молодежи свойственно переоценивать себя, и это, в общем, неплохая черта. Но при подготовке к экзамену нельзя переоценивать свои силы. В первом приближении лучше оценить свои знания на балл ниже, чем это кажется. Если студент желает получить удовлетворительную оценку, следует готовиться на хорошую оценку. Надо сказать, что на переоценку знаний влияют иногда и окружающие товарищи. Студенты еще не очень хорошо разбираются в людях и часто принимают внешнюю бойкость за ум и способности. А за столом экзаменатора такая бойкость не всегда помогает. Выходит такой студент после экзамена за дверь и говорит: «Я ему все хорошо ответил, а он придрался к пустяку и поставил тройку». Если студенты не поверят такому товарищу и выскажут свои сомнения, то принесут ему только пользу.

Много нежелательных отметок появляется из-за формального заучивания теории. Печально, что затрачено так много труда, все заучено, а понимания нет. Довольно распространенная причина плохой сдачи экзамена в том, что студент «не доучил». Ему не хватило одного дня или одного часа. Некоторые студенты почти сознательно не доучивают материал одной-двух лекций, надеясь, что этот материал «не достанется».

Есть еще одна причина, влияющая на исход экзаменов, — это временное (даже небольшое) заболевание или бытовые неурядицы. Во время подготовки к экзамену нервная система сильно напряжена, и поэтому, скажем, даже легкий насморк может отразиться на результатах экзамена. У каждого экзаменатора имеются в памяти случаи, когда он был вынужден снизить отметку студенту, явно отвечающему ниже своих возможностей по причине временного заболевания. В таких случаях студенту, может быть, следует брать у врача справку и просить деканат перенести экзамен.

Во время сессии нужно особенно тщательно следить за своим здоровьем, сном, личной гигиеной и бытом. Многие занимаются в условиях, где много отвлекающих моментов и не всегда создается рабочая обстановка. Конечно, это вопрос вкуса и привычки, но куда лучше заниматься в хорошо проветриваемых читальных залах, где сама обстановка располагает к сосредоточенной умственной работе.

Очень важно разумно распределить количество дней, отводимых на подготовку к экзаменам. По этому вопросу следует заблаговременно посоветоваться с преподавателями. О режиме во время экзаменов каждый студент имеет представление из средней школы. Вечером после сдачи экзамена можно посетить кинотеатр, театр, сходить на концерт, каток и т. д. В другие дни лучше избегать «сильно действующих» развлечений. Надо усиленно и целеустремленно заниматься каждый день с утра до 6—7 ч вечера, после чего лучше всего устраивать полутора- или двухчасовую прогулку на свежем воздухе. Даже если студент уверен в знании данного предмета и может позволить себе активный и продолжи-

тельный отдых, не стоит этого делать, чтобы не демобилизовать себя и не нарушить жесткий режим экзаменационной сессии. Появившиеся свободные дни лучше посвятить тем предметам, в знании которых нет полной уверенности.

Никоим образом нельзя заниматься ночью накануне экзамена. У некоторых студентов накануне экзамена появляется паническое настроение: им кажется, что они ничего не помнят, что в голове у них все «перемешалось» и т. п. Как правило, для такой паники нет оснований, поэтому не нужно поддаваться подобным настроениям. Иное дело, если студент вообще «не дочитал» последних разделов. Но такой ситуации легко избежать, если разумно спланировать подготовку к экзаменам.

При подготовке важно правильно пользоваться предэкзаменационными консультациями. К консультации весь материал должен быть подготовлен. Лектор не должен и не будет на консультации повторять те или иные места курса. Он будет отвечать только на конкретные вопросы, и эти вопросы надо подготовить. При изучении материала по конспекту или учебному пособию следует выписывать вопросы в связном виде на отдельном листе. Если консультация не подготовлена, она пройдет вяло и может оказаться впустую потраченным временем.

Некоторые студенты делают ошибку, не приходя на консультации, полагая, что у них нет вопросов к лекторам. Но на консультации лектор не только отвечает на вопросы, но часто и по собственной инициативе дает разъяснения по наиболее трудным разделам курса. Кроме того, он выделит те вопросы, на которые (по опыту предыдущих экзаменов) студенты отвечали неудовлетворительно. Наконец, в работе преподавателя, как и во всяком другом деле, могут быть погрешности и недочеты. На предэкзаменационных консультациях лектор имеет возможность выправить эти недостатки. А студент, пропустивший консультацию, окажется по сравнению с остальными в менее выгодном положении.

Остается деликатный вопрос о взаимоотношениях преподавателя и студента на экзамене. Прежде всего, нужно подчеркнуть, что экзаменатор, как правило, в высшей степени доброжелательно относится к каждому студенту. Целый семестр преподаватель читал курс, затрачивая много сил, стремился научить студентов «своему» предмету. Что может быть приятнее для него, чем услышать хороший ответ и поставить за него хорошую отметку. Итак, преподаватель, приступая к опросу, относится доброжелательно к каждому студенту, видя в нем заранее добросовестного и толкового человека. Но у студента есть все же риск потерять право на эту доброжелательность. В каких случаях это происходит? Прежде всего, тогда, когда студент пытается пользоваться шпаргалками или прибегает к другим недозволенным источникам информации (мобильному телефону, перешептыванию, изъяснению знаками или переписке с соседом и т. д.). Студент, пытаясь обмануть преподавателя, теряет право на доброжелательность с его стороны. Экзаменатору предоставлено право удалять в этом случае студента с экзамена. Но нередко экзаменатор поступает иначе. Он приглашает студента за стол, откладывает в сторону его листки (какой смысл принимать их во внимание, если студент списывал?) и начинает спрашивать без подготовки по смежному разделу. Результаты такого экзамена нетрудно предвидеть.

Еще одна возможность потерять расположение экзаменатора состоит в следующем. Студент не знает, как ответить на вопрос и пытается уйти от него в «общие рассуждения», полагаясь на свою «эрудицию», или пробует перевести разговор в область, более ему знакомую. Эти приемы не годятся для того, чтобы дезориентировать экзаменатора, который хорошо понимает психологию студента. Лучше прямо сказать «не помню», «не знаю», чем признаться в своем незнании в столь неискренней форме, как уход от прямого ответа на вопрос.

Допустим, что студент все же получил нежелательную оценку. Очень стыдно бывает за тех студентов, которые выпрашивают более высокую оценку: «Я все знаю (я все выучил), спросите, пожалуйста, еще». Крайне редко преподаватель соглашается на эти просьбы и почти никогда не меняет первоначальную оценку. Ведь «нежелательная» оценка выносится только после очень трезвого размышления. Поэтому нельзя не посоветовать студентам следующее: если уж произошла такая неприятность, то надо вести себя, соблюдая чувство собственного достоинства, делая определенные выводы, анализируя допущенные при работе в семестре и подготовке ошибки.

#### **1.4. Краткие сведения о технике безопасности**

Для организации деятельности студента большое значение составляют вопросы, связанные с техникой безопасности. В настоящем учебном пособии они подробно рассматриваться не будут. В программе для бакалавров вопросам техники безопасности посвящен специальный курс; здесь же приводятся только самые элементарные сведения. Техника безопасности требует серьезного отношения с первых шагов деятельности студента электротехнической направленности, так как ему приходится иметь дело с различными лабораторными установками, содержащими электрические устройства. Поэтому уже на первом этапе учебного процесса необходимо усвоить основные требования и понятия техники безопасности.

Существуют противоречивые суждения и данные о величинах напряжений и токов, представляющих опасность для жизни человека. Известны случаи, когда при электротравмах люди погибали, подвергаясь воздействию сравнительно небольших величин напряжений и токов, и, напротив, выживали при напряжениях в несколько киловольт и токах в сотни миллиампер. Отсутствие однозначных представлений о степени опасности объясняется сложностью явлений, происходящих в организме человека, большим числом влияющих факторов, зависимостью от сложнейших биофизических и биохимических процессов, существенным влиянием нервной системы, а, следовательно, и невозможностью в полной мере использовать данные экспериментов, проводимых на животных.

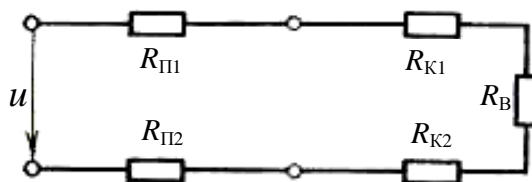
Первые исследования действия электрического тока на человека были проведены еще в конце XVI в. английским врачом Джильбертом. В нашей стране изучение поражений электрическим током и описание проводились с 1880 г. в журнале «Электричество», их целью было выявление закономерностей действия электрического тока на человека и разработка защитных мер. Еще в 20-е

гг. прошлого столетия было доказано положение о том, что существенную роль во многих случаях электротравматизма играет «фактор внимания», т. е. состояние нервной системы человека в момент поражения. Трагический, смертельный исход, по-видимому, наступает вследствие нарушения электропроводности центральной нервной системы, управляющей основными жизненно необходимыми функциями человека.

Эмоциональное состояние человека непосредственно влияет на величину электрического сопротивления его тела, что подтверждается экспериментами. Так, если измерять, например, с помощью электрического моста сопротивление тела человека, то оказывается, что при внезапных раздражениях, таких, как зажигание лампочки, прикосновение горячим или холодным предметом, сообщение сенсационной новости, происходит резкое понижение сопротивления. В таком состоянии, следовательно, электротравмы наиболее опасны.

Сопротивление тела человека зависит также и от величины напряжения. С возрастанием напряжения сопротивление уменьшается значительно — более чем в 20 раз. При относительно небольших напряжениях (12—36 В) сопротивление в среднем составляет величину  $(8—10) \cdot 10^3$  Ом. Количественно оценивая сопротивление тела человека и зная поражающее напряжение, можно определить условно величины поражающих токов, которые находятся в пределах миллиампер.

При прикосновении человека к частям электроустановок, находящимся под напряжением, создается электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных эквивалентных сопротивлений  $R_{П1}$  и  $R_{П2}$ . Они включают в себя сопротивления обуви, одежды, изолированного инструмента, предмета, через который происходит прикосновение, и т. д., а также сопротивления кожного покрова  $R_{К1}$  и  $R_{К2}$  человека и сопротивления внутренних тканей  $R_B$ <sup>1</sup> (рис. 1). Сопротивление кожи больше сопротивления внутренних тканей. Ориентировочные значения эквивалентных сопротивлений в цепи прикосновения приведены в табл. 1. Видно, что исход воздействия на человека того или иного напряжения зависит от таких факторов, как вид обуви и одежды, состояние пола или площадки, на которой находится человек, так как эти предметы во многом могут определять величину электрического тока, протекающего в цепи.



**Рис. 1.** Цепь прикосновения человека к частям электроустановок, находящихся под напряжением

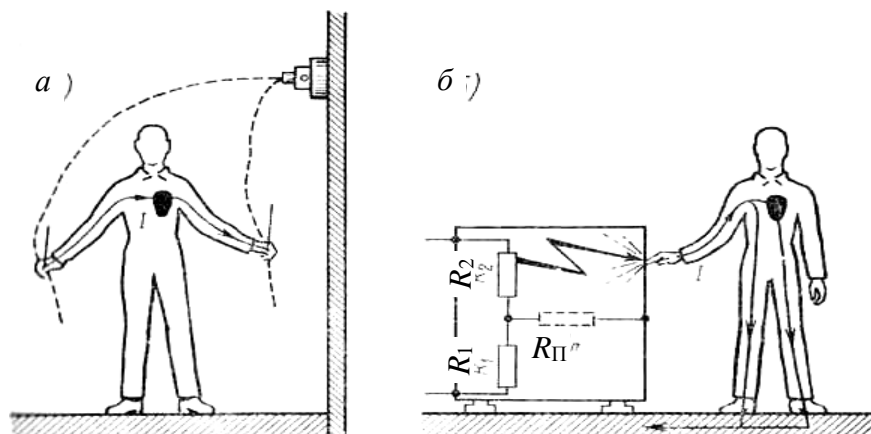
На рис. 2 приведены два случая поражения электрическим током: *a* — человек обеими руками касается токоведущих частей, находящихся под напряжением. При этом протекающий ток определяется величиной напряжения и сопротивлени-

<sup>1</sup> Говоря о сопротивлении кожи, следует иметь в виду величину ее поверхности.

ем тела человека;  $b$  — человек одной рукой касается поврежденного аппарата, находясь при этом на проводящем основании. В этом случае ток, проходящий через тело человека, зависит не только от его сопротивления и величины напряжения, но и от ряда других сопротивлений, например сопротивлений установки в месте ее повреждения ( $R_1, R_2, R_{\Pi}$ ), обуви, проводящей подставки и т. д.

**Таблица 1.** Ориентировочные значения эквивалентных сопротивлений

Виды сопротивления	Величина сопротивления, кОм
Изолированный монтерский инструмент	1000—10000
Одежда сухая	100—1000
Пропитанная потом рабочая одежда	1—2
Рабочая одежда с мокрыми участками	0
Обувь сухая или с профилированными подметками из изоляционного материала	10—100
Обувь на кожаных подметках, влажная	0,1



**Рис. 2.** Примеры поражения человека электрическим током

Все электроустановки по напряжению подразделяют на установки до 1000 В и выше 1000 В. Анализ поражений людей электрическим током показал, что больше половины их приходится на установки до 1000 В — примерно 76 %. Однако это не означает, что указанные установки, иногда называемые низковольтными, более опасны. Специально проведенные исследования показали, что большую опасность представляют напряжения выше 1000 В, при которых сильнее поражается нервная система. То обстоятельство, что большая часть несчастных случаев происходит при напряжении до 1000 В, видимо, объясняется следующим фактом. Электроустановок и различного рода агрегатов, приборов этого напряжения очень много и с ними имеют дело большое число людей, не имеющих зачастую необходимых знаний об электричестве и его опасностях.

Поражения человека электрическим током зависят от рода тока. Наиболее часто встречаются постоянный ток (1) и переменный синусоидальный (2) ток (рис. 3). Переменный ток более опасен, чем постоянный. Значительно реже встречаются импульсный ток и ток, возникающий при разряде конденсатора.

Величины токов по их действию на человека принято подразделять на четыре диапазона (табл. 2).

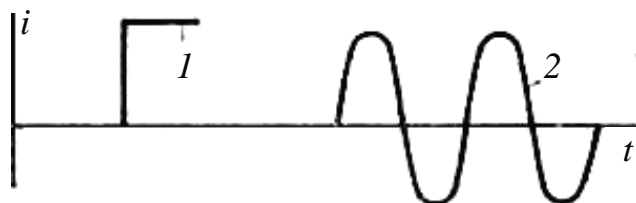


Рис. 3. Виды электрического тока

Таблица 2. Диапазоны действия токов

Диапазон	Переменный ток	Постоянный ток
I	0—25 мА	0—80 мА
II	25—80 мА	80 мА — 3 А
III	80 мА — 3 А	3—8 А
IV	Свыше 3 А	Свыше 8 А

**Диапазон I.** При токах до 15 мА отпусkanie находящихся под напряжением частей установок, например труб или проводов, еще возможно; при токах 15—25 мА происходит судорожное сокращение мускулатуры, разжатие руки и отпусkanie находящегося под напряжением проводника невозможно, наступает также небольшое судорожное сокращение дыхательной мускулатуры, однако повреждения возбуждающей нервной системы сердца отсутствуют.

**Диапазон II.** Наступает значительное повышение кровяного давления, а также судорожность дыхания вплоть до остановки его. Пока ток протекает, сердце останавливается, после прекращения протекания работает аритмично. При длительности протекания 25 с остановка сердца переходит в фибрилляцию.

**Диапазон III.** Наступает необратимая фибрилляция желудочков сердца, за исключением случая очень небольшой длительности протекания тока — 0,3 с. При этом эффекты такие же, как и при протекании токов диапазона II.

**Диапазон IV.** Во время протекания тока наступает остановка кровообращения и дыхания, последующая длительная, но обратимая аритмия сердца. При столь больших токах возникают тяжелые ожоги.

В целом электрический ток способен вызвать спазм мускулатуры, электролитическое воздействие, фибрилляцию желудочков сердца, тепловое воздействие, воздействие на нервную систему.

В литературе иногда указываются предельно допускаемые величины токов. Они представляют собой экспериментальные данные, полученные на животных и распространены на человека. Воздействие электрического тока в каждом конкретном случае зависит от большого числа самых различных факторов, таких, как состояние здоровья, кожного покрова, нервной системы, атмосферы, одежды, от того, какими частями тела соприкасается человек с токоведущими частями, от длительности протекания тока, рода тока и т. д. При одних стечениях обстоятельств протекание определенной величины тока может вызвать тяжелый исход, при других — не вызвать никаких неприятностей. Величина же тока, безусловно, влияет на последствия. Чем больше ток, тем выше вероятность тяжелых электротравм.

Многочисленные наблюдения показали, что неожиданные прикосновения к токоведущим частям вызывают острое раздражающее действие на организм человека без видимых последствий либо последствиями в виде местных поражений.

Под *электротравмой* обычно понимают нарушение анатомических соотношений и функций тканей или органов, сопровождающееся местной и общей реакцией организма и вызванное воздействием электрического тока. При электротравмах может образовываться, а может и не образовываться электрическая цепь, проходящая через тело человека. Во втором случае поражение может проявиться в ожоге электрической дугой, ослеплении и травмах при падении.

Основной источник электротравм — повреждение изоляции токоведущих частей электрооборудования. Повреждения происходят по разным причинам: как вследствие естественного «старения» — ухудшением со временем электрических и механических характеристик изоляции, так и вследствие неблагоприятного воздействия на нее во время аварийных процессов, например при чрезмерном нагревании и воздействии электродинамических усилий, вызванных токами коротких замыканий.

К изоляции предъявляют определенные требования в отношении ее качества. Эти требования сформулированы в Правилах устройств электроустановок (ПУЭ), Правилах технической эксплуатации (ПТЭ), в государственных стандартах. Например, в соответствии с ПТЭ сопротивление изоляции цепей релейной защиты переменного тока должно составлять 6 мОм, а для цепей автоматического электропривода — 1 мОм. Во время эксплуатации оборудования сопротивление изоляции ухудшается. О допустимости эксплуатации изоляции судят по разности величин ее сопротивлений во время эксплуатации и перед вводом оборудования в действие. Если снижение сопротивления произошло на величину 30 % и более, то сопротивление изоляции считается недостаточным.

Огромную роль в повышении безопасности работы электрооборудования напряжением выше 1000 В имеют испытания изоляции повышенным напряжением преимущественно постоянного тока. Такие испытания стали широко применяться еще с середины 30-х годов прошлого столетия.

Около 80 % всех электротравм происходит при однополюсных соприкосновениях человека с токоведущими частями. Сопротивление образующейся при этом электрической цепи зависит обычно от изолирующих свойств пола. Этими свойствами во многом определяется опасность электротравм.

Еще с начальных этапов развития электротехники к числу эффективных защитных средств относили заземление корпусов электрооборудования и конструктивных металлических частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции токоведущих частей. Наряду с упомянутым заземлением, к защитным мероприятиям от поражений электрическим током относятся также устройство изолирующих площадок для обслуживания оборудования.

Снижение электротравматизма достигается разработкой и внедрением эффективных мероприятий по охране труда. Весьма важно проводить тщательный

анализ электротравм, выявлять те отрасли экономики, где травмы случаются наиболее часто, с тем, чтобы предусмотреть систему мер, направленных на повышение безопасности работы людей. Пока еще остается высоким электротравматизм на отдельных предприятиях коммунального и сельского хозяйства. Часты поражения электрическим током при работе с переносными электроприборами из-за повреждения изоляции проводов. При сооружении так называемых «временок» — электрических сетей, подающих электроэнергию к стационарным установкам, используемым, например, на строительстве, иногда нарушаются правила и применяются провода, для этих целей не предназначенные, что и приводит к электротравмам. «Временки» во многих случаях являются источником повышенного травматизма.

Строгое соблюдение правил по охране труда и изучение опасностей электрического тока позволяют существенно снизить электротравматизм.

**Меры первой помощи.** Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или продолжительное время находился под током, ему необходимо обеспечить полный покой до прибытия врача и дальнейшее наблюдение в течение 2—3 ч, а в случае невозможности быстро вызвать врача — срочно доставить пострадавшего в лечебное учреждение. Пострадавшего, находящегося в бессознательном состоянии, но сохранившего дыхание, нужно удобно уложить на мягкую подстилку, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха и дать понюхать нашатырный спирт. Затем растереть тело, укрыть его и вызвать врача. В случае, когда пострадавший не дышит или дышит редко и судорожно, нужно делать искусственное дыхание. При отсутствии признаков жизни (дыхания, сердцебиения) у пострадавшего нельзя считать его мертвым. Смерть часто бывает кажущейся, и признать ее может только врач. Для успешного оживления людей дорога каждая секунда. Поэтому меры первой помощи должны оказываться немедленно и непрерывно в том месте, где произошел несчастный случай. Переносить пострадавшего можно только лишь тогда, когда ему или оказывающему помощь угрожает опасность, а также при неблагоприятных обстоятельствах — в случае дождя, сырости, темноты и т. п. Искусственное дыхание нужно делать до тех пор, пока не появятся признаки самостоятельного дыхания. Однако если дыхание начнет ослабевать, то искусственное дыхание необходимо возобновить. Пришедшего в сознание требуется уложить, согреть и дать валериановой настойки (15—20 капель).

## 1.5. Использование библиографии

Техника использования литературы в учебной работе важна начинающим студентам прежде всего для того, чтобы уметь пользоваться теми книжными богатствами, которые за многие годы накоплены в библиотеках, и для того, чтобы уметь находить ту конкретную литературу, которая будет нужна для текущей работы студента: подготовки к экзаменам, зачетам, лабораторным работам; выполнения проектов и учебных исследований. В одной из лекций курса «Введение в специальность» даются основные представления о библиотечных



каталогах и о том, как надо находить в них сведения об имеющейся литературе. Остановимся вкратце на этих представлениях.

Для удобного пользования библиотечными фондами существуют специальные каталоги. Каждому читателю следует иметь представление о двух основных типах каталогов: алфавитном и систематическом.

Алфавитный каталог содержит карточки с описаниями книг, располагаемых в алфавитном порядке фамилий авторов, заглавий и коллективов, т. е. организаций, от имени которых опубликована данная работа. Если книга имеет не более трех авторов, ее описания следует искать в каталоге по фамилии авторов; если число авторов больше трех, то карточка ставится в каталог в алфавитном порядке заглавия; таким же образом в алфавитном порядке заглавий располагаются карточки с описаниями журналов.

В отдельных случаях книги и периодические издания располагаются в каталоге в алфавитном порядке учреждений, общественных или иных организаций, рассматриваемых как авторы материала, опубликованного от их имени (так называемый коллективный автор). В алфавитном каталоге описания книг располагаются независимо от их содержания. Например, на букву «С» может стоять карточка с описанием романа, автор которого Сидоров, сборника статей нескольких авторов, заглавие которого «Стационарные процессы ...», и трудов Сыктывкарского лесного института (последний в данном случае рассматривается как коллективный автор).

Алфавитный каталог служит для быстрого нахождения конкретного произведения, выяснения наличия этого произведения в фондах данной библиотеки. Алфавитный каталог можно сравнить с адресным бюро, позволяющим быстро найти «адрес» книги.

Если читателю неизвестны авторы и заглавия книг, с которыми он хотел бы познакомиться по определенному вопросу, ему следует обратиться к систематическому каталогу. В нем описания произведений группируются в соответствии с их содержанием (по отраслям знаний и их подразделениям) и размещены в определенной логической последовательности.

Карточки на книги, относящиеся к одной отрасли знания, объединяются в систематическом каталоге, образуя отдел данной отрасли знания (например, «Технические науки»). В систематическом каталоге отделы широких отраслей знаний подразделяются на подчиненные, входящие в эти отрасли знания разделы. Например, разделами отдела «Технические науки» будут «История техники», «Горное дело», «Энергетика», «Металлургия», «Технология металлов», «Машиностроение» и др.

В каждом разделе систематического каталога будут подразделения. Например, карточки с описаниями литературы по энергетике могут быть сгруппированы в следующие подразделы: «Электрические системы», «Электроснабжение», «Электротехнология» и др. В подразделе «Электроснабжение» в отдельные группы собран материал по характеристикам электрических нагрузок, токам коротких замыканий, выбору силовой и коммутационной аппаратуры и т. д. Такая структура систематического каталога дает возможность найти имеющуюся в библиотеке литературу по определенной интересующей читателя теме.

В отраслевых библиотеках обычно наиболее подробно разрабатываются разделы систематического каталога, соответствующие данным отраслям. Каждому студенту необходимо ознакомиться со структурой своей библиотеки, схемой расположения материала в систематическом каталоге, узнать, какие библиографические указатели имеются в ее фондах.

### **Контрольные вопросы**

1. Каково значение энергетики в техническом прогрессе? Приведите примеры.
2. Назовите основные вузы России, готовящих специалистов в области электрификации и автоматизации сельского хозяйства?
3. Каким образом необходимо готовиться к лекциям и практическим занятиям?
4. Каким образом надо готовиться к зачету и экзамену?
5. В чем принципиальное отличие курсовой работы и курсового проекта?
6. Перечислите основные моменты соблюдения техники безопасности при работе в электротехнической учебной лаборатории.
7. Электроустановки по напряжению подразделяются на два вида, какие?
8. Какие сопротивления образуют электрическую цепь при прикосновении человека к токоведущим частям?
9. Приведите примеры поражения человека электрическим током.
10. Какой род тока наиболее опасен для человека при его прикосновении к токоведущим частям и почему?
11. Для электроустановок какого класса напряжений наиболее часты поражения людей электрическим током?
12. Что понимается под электротравмой? Приведите основной источник их возникновения.
13. Какое основное назначение заземления электроустановок в сетях низкого напряжения?
14. Приведите возможные схемы прохождения электрического тока при соприкосновении человека с электрооборудованием, находящимся под напряжением.
15. Дайте основные представления о библиотечных каталогах. Чем они принципиально отличаются?

## РАЗДЕЛ 2. ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ

### 2.1. Общие представления об энергетике

Понятия «энергетика» и «энергетическая наука» употребляются давно, однако и в настоящее время вкладываемый в них смысл нельзя считать установившимся. Под *энергетикой*, или энергетической системой, следует понимать совокупность больших естественных (природных) и искусственных (созданных человеком) систем, предназначенных для получения, преобразования, распределения и использования в экономике энергетических ресурсов всех видов.

Из понятия энергетики вытекает понятие энергетической науки, ее предмет и методы изучения. Под *энергетической наукой* понимается система знаний о свойствах и взаимодействиях энергетических потоков и влиянии их на человеческое общество в социальном, экономическом и научно-техническом планах. Такое определение энергетической науки соответствует общему понятию науки как формы общественного сознания, отображенной в систему упорядоченных знаний, которые корректируются в ходе социального и научно-технического прогресса.

Энергетическая наука занимается изучением закономерностей процессов и явлений, прямо или косвенно связанных с получением необходимых для народного хозяйства энергетических ресурсов и созданием установок, вырабатывающих, преобразующих и потребляющих различные виды энергии. Ее основой нужно и сегодня считать ленинский план ГО-ЭЛРО — первый общегосударственный план, определивший значение электрификации для экономики и важность комплексного подхода к энерго- и топливоснабжению страны. Энергетическая наука, понимаемая в широком смысле, развивается в трех основных направлениях:

1) изучение закономерностей развития и оптимальных пропорций энергетики и электрификации, а также изучение природы и свойств больших развивающихся систем в энергетике. Это направление, имеющее своей целью совершенствование методов прогнозирования, планирования и эксплуатации систем энергетики, тесно связано с социальными процессами и экономикой страны;

2) совершенствование способов получения, преобразования, передачи, распределения и использования энергоресурсов и энергии различных видов; повышение коэффициента полезного действия всех энергоустановок;

3) создание новых методов и средств получения и преобразования различных видов энергии в электрическую; разработка новых способов передачи электрической энергии.

## 2.2. План ГОЭЛРО — первый в мире государственный план развития народного хозяйства

План государственной электрификации России (сокр. ГОЭЛРО) — первый в истории человечества единый государственный перспективный план развития всех отраслей экономики — разработан по заданию В. И. Ленина. В использовании электроэнергии в экономике России он видел не только источник глубочайших инновационных преобразований в технике, но и источник огромных прогрессивных воздействий на развитие общества. В ряде своих работ он показывает, что планомерное развитие электрификации высокими темпами требует организации планового ведения хозяйства всей страны. Высокие количественные показатели развития энергетики требуют качественно новых форм ее организации, в первую очередь построения крупных объединенных энергетических систем.

В первые же годы после Великой Октябрьской революции в бывшем СССР были начаты работы по революционному преобразованию всей экономики на основе всеобщей электрификации. Внедрение электротехники в экономические преобразования послужили мощным фактором, в какой-то мере устранившим противоположности между городом и деревней. Сегодня, к сожалению, умалчивают прозорливые идеи деятелей советского времени, но широко развитая система радиосвязи и телевидения, густая сеть линий электропередачи, покрывшая территорию России, ярко доказывают гениальность их предвидения.

Государственная комиссия по электрификации России была создана 24 марта 1920 г. под председательством **Г. М. Кржижановского**. В состав комиссии вошли видные ученые и инженеры, такие, как **Г. О. Графтио** — автор проектов Волховской и Свирской гидроэлектростанций, **И. Г. Александров** — автор проекта Днепровской гидроэлектростанции, **Б. И. Угримов**, **К. А. Круг**, **Н. Н. Башков** и **Е. Я. Шульгин**. Всего к работе в комиссии было привлечено около 200 виднейших деятелей науки и техники. В крайне тяжелых условиях комиссия в короткий срок проделала большую работу, результаты которой представлены в книге «План электрификации РСФСР», написанной на 650 страницах. В плане предусматривалось выполнение двух программ: программы А — восстановления и реконструкции существующих электростанций и объединения их электрическими сетями и программы В — сооружения в течение 10—15 лет 30 новых крупных электростанций общей мощностью 1750 МВт. Предусматривалось также развитие электрических сетей и объединение электростанций на параллельную работу в радиусе 200—400 км, т. е. создание энергосистем. Для выработки электроэнергии предполагалось сооружение крупных районных станций с лучшими (по сравнению с мелкими станциями) техническими и экономическими показателями.

В плане ГОЭЛРО наряду с развитием электроэнергетики рассмотрено комплексное развитие различных отраслей экономики России, в первую очередь создание крупной машинной индустрии. При этом темпы ввода энергетических мощностей должны были опережать темпы роста других отраслей промышленности. Так, за 10—15 лет выпуск промышленной продукции должен был увеличиться на 80—100 %, а мощность электрических станций за это же время должна была возрасти в 2,5 раза.

В плане предусматривалось районирование страны, проводимое с учетом природных сырьевых энергетических ресурсов и специфических национальных условий. При этом районы, имевшие источники энергии, не рассматривались только как ее поставщики; одновременно со строительством энергетических объектов там развивалась крупная промышленность, электрифицировалось сельское хозяйство, быт, проводилась механизация и автоматизация наиболее тяжелых, трудоемких работ, менялись условия труда и этим обеспечивался подъем культуры на окраинах страны, в условиях царской России остававшихся дикими. За годы действия плана ГОЭЛРО различие в уровнях промышленного развития экономических районов бывшего СССР сократилось более чем в 20 раз.

При создании плана ГОЭЛРО и последующей реализации его идей были заложены основы современной энергетической науки. Впервые в мире был реализован современный подход к энергетике как к большой системе, обладающей определенными закономерностями. В дальнейшем, и особенно в настоящее время, в условиях научно-технического прогресса, в развитие энергетике как науки было внесено много нового. Однако основные, наиболее существенные положения, высказанные впервые в плане ГОЭЛРО, остаются в силе и по настоящее время; они являются базой для создания современных ЕЭС.

Планом ГОЭЛРО предусматривалось:

- наиболее экономичное использование топлива, достигаемое совместной параллельной работой различных ТЭС и ГЭС;
- широкое использование на электростанциях местных топливных ресурсов;
- использование на ГЭС водных энергетических ресурсов, в особенности в районах, бедных органическим топливом;
- создание высоковольтных электрических сетей, объединяющих мощные станции, что позволило бы увеличить выработку электроэнергии на удаленных электростанциях и снизить потери при ее передачи на большие расстояния.

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

План ГОЭЛРО представляет не только исторический интерес. Его принципы используются при решении современных задач, связанных с завершением создания Единой энергетической системы России. Основной итог плана ГОЭЛРО заключается в том, что на его основе в исторически короткие сроки была преодолена вековая отсталость царской России. Так, в 20-е гг. прошлого столетия наша страна занимала одно из последних мест по выработке энергии, а уже в конце 40-х гг. она заняла первое место в Европе и второе в мире.

## 2.3. Взаимосвязь энергетики и экономики

Энергетика представляет собой большую систему и, являясь таковой, она состоит из отдельных подсистем, связанных между собой таким образом, что раздельное рассмотрение подсистем невозможно без учета их взаимного влияния и обратных связей. Развитие и функционирование энергетики зависят от социальных и демографических факторов (политических и экономических аспектов состояния данной страны, наличия в ней рабочей силы, размещения населения, расположения источников энергии и т. д.). Выработка энергии связана с ее потреблением в промышленности, сельском хозяйстве, быту и на транспорте.

Будучи большой системой и взаимодействуя с рядом подсистем, энергетика в теоретическом аспекте связана с рядом научных дисциплин и обычно рассматривается состоящей из отдельных разделов. В этих разделах выделяют общую энергетику, управление энергетикой, включая проблемы кибернетики электрических систем, электро-, гидро- и теплоэнергетику, атомную энергетику. К энергетике в широком плане относится также топливоснабжение, включающее снабжение ископаемым топливом (углем, торфом, газом, нефтью, ядерным горючим). Каждый из разделов энергетики имеет определенные, в известной мере самостоятельные, экономические, практические и научные задачи. Широту всех этих задач, возникающих перед специалистами, работающими отдельных отраслях энергетики, можно характеризовать хотя бы тем, что специалисты-энергетики готовятся сейчас более чем по 25 специальностям и 40 специализациям. Такое дифференцирование энергетических проблем произошло исторически. В настоящее время оно становится не вполне оправданным, вызывая трудности при решении комплексных задач энергетики, требующих от специалистов широкого кругозора в проблемах, которые стоят перед современной и тем более будущей энергетической наукой и техникой.

Развитие человеческого общества и его успехи на пути цивилизации и прогресса непосредственно связаны с повышением производительности труда и улучшением материальных условий жизни людей. Необходимое условие научно-технического и социального прогресса состоит в увеличении количества потребляемой энергии и освоении новых, более эффективных ее видов.

Количество потребляемой современными машинами энергии очень велико. Представление об этом количестве может дать следующее образное сравнение: все работоспособное население мира, работая с полным напряжением физических сил по 8 ч в сутки, не смогло бы за год выработать одной сотой той энергии, которая получается сейчас за счет сжигания топлива и энергии рек.

Электроэнергетика занимается производством электроэнергии, ее транспортировкой и распределением. Особенность электроэнергетики состоит в том, что ее продукция не может накапливаться для последующего использования: производство электроэнергии в каждый момент времени должно соответствовать размерам потребления с учетом нужд самих электростанций и потерь в сетях. Поэтому связи в электроэнергетике обладают постоянством, непрерывностью и осуществляются мгновенно.

Электроэнергетика оказывает большое воздействие на территориальную организацию хозяйства: позволяет осваивать топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) удаленных восточных и северных районов; развитие магистральных высоковольтных линий способствует более свободному размещению промышленных предприятий; крупные ГЭС притягивают к себе энергоемкие производства; в восточных районах электроэнергетика является отраслью специализации и служит основой формирования территориально-производственных комплексов.

Считается, что для нормального развития экономики рост производства электроэнергии должен обгонять рост производства во всех других отраслях. Большую часть выработанной электроэнергии потребляет промышленность.

Процесс потребления энергии на нашей планете исторически протекал крайне неравномерно. Бурный рост потребления электроэнергии характерен для послевоенного периода. Так за период с 50-х годов прошлого столетия до 2010 г. потребленный объем электроэнергии составил более  $\frac{3}{4}$  всей потребленной энергии за всю историю существования человечества. Характерна здесь и неравномерность в потреблении энергии. Так, в доисторическую эпоху каждый человек, использовавший свою мускульную силу и энергию впервые зажженного костра, тратил приблизительно одинаковое количество энергии. Приблизительно можно считать ее распределение равномерным — 1:1. В наше время неравномерность в потреблении энергии на душу населения стала огромна: для различных стран она выражается отношением 1 к 35. Неравномерность в потреблении электроэнергии еще больше. Так, на одного жителя в Норвегии приходится около 28000 кВт · ч, в Канаде 190000 кВт · ч, в США — 14000 кВт · ч, в то время как в Индии, Индонезии, Филиппинах — всего лишь 800 кВт · ч. В современной России примерно 7500 кВт · ч, в Казахстане — 6000 кВт · ч, в Китае, менее 4000 кВт · ч. При этом наибольший рост потребления на одного жителя за последнее десятилетие (на 2014 г.) наблюдался в Китае (70 %), Турции (66 %), Индии (62 %). Для сравнения в США — минус 4 %, Россия — плюс 22 %, Казахстан — плюс 37 %.

## 2.4. Энергоресурсы и их использование

Под *энергоресурсами* понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия. Энергия — количественная оценка различных форм движения материи, которые могут превращаться друг в друга, — условно подразделяется по видам: химическая, механическая, электрическая, ядерная и т. д. Из большого разнообразия встречающихся в природе энергоресурсов выделяют основные, которые используются в больших количествах для практических нужд. К ним относят энергию рек, водопадов, различные органические топлива, такие, как уголь, нефть, газ; ядерное топливо, тяжелые элементы урана и тория, а в перспективе и легкие элементы.

Энергоресурсы разделяют на возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (вода, ветер, и т. п.), а ко вторым — ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (например, каменный уголь, нефть).

Энергия, непосредственно находящаяся в природе (энергия органического топлива, воды, ветра, солнца), называется *первичной*. Энергия, получаемая человеком после преобразования первичной энергии на специальных установках — станциях, — называется *вторичной* (энергия электрическая, пара, горячей воды и т. п.). При этом станции в своем названии содержат указание на то, какой вид первичной энергии и в какую вторичную на них преобразуется. Например, тепловая электрическая станция (сокращенно ТЭС) преобразует тепло (первичную энергию) в электрическую (вторичную), гидроэлектростанция (ГЭС) — механическую энергию движения воды в электрическую, атомные электрические станции (АЭС) — энергию распада атома в электрическую. Кроме того, первичную энергию приливов преобразуют в электрическую на приливных электростанциях (ПЭС), аккумулируют энергию воды на гидроаккумулирующих станциях и т. д.

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

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

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

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

4. Передача и распределение преобразованной энергии.

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

Необходимо заметить, что если общую энергию применяемых первичных энергоресурсов принять за 100 %, то полезно используемая энергия составит 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»), энергия приливов и отливов («синий уголь»), тепловая энергия земных недр (геотермальная энергия), лучистая энергия Солнца.

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 примерно в четыре раза ниже среднемирового.

Концентрация потребления энергоресурсов в наиболее развитых странах привела к такому положению, когда примерно 30 % всего населения в мире потребляет около 90 % всей вырабатываемой энергии. Эти цифры определенным образом характеризуют социальное неравенство, отраженное в неравномерности



потребления энергоресурсов. Несовпадения мест сосредоточения и потребления энергоресурсов вызывают необходимость в транспортировке энергии. Энергия может передаваться в различной форме. Например, можно перевозить нефть и уголь от месторождений до крупных промышленных центров и городов и затем сжигать их на электростанциях, получая электрическую энергию и тепло. Возможен и другой вариант, когда электростанция сооружается вблизи месторождений топлива, а электрическая энергия передается по линиям электропередачи к удаленным промышленным предприятиям и городам.

Целесообразность передачи на расстояние тех или иных носителей энергии определяется их энергоемкостью, под которой понимается количество энергии, приходящееся на единицу массы физического тела. Среди энергоносителей, применяемых в настоящее время, наибольшей энергоемкостью обладают радиоактивные изотопы урана и тория. Их энергоемкость достигает  $2,22 \text{ ГВт} \cdot \text{ч/кг}$  ( $8 \times 10^{12} \text{ Дж/кг}$ ). 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 в настоящее время топлива в среднем по всем видам составляет  $0,834 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$  ( $3 \times 10^6 \text{ Дж/кг}$ ).

Органическое топливо в силу его специфических свойств и исторически сложившихся условий пока остается основным источником используемой человечеством энергии. Топливо по своей природе относится к невозобновляемым источникам энергии, так как оно запасено в далекие доисторические эпохи и практически не восполняется. Запасы всех видов топлива, которое может быть извлечено из недр Земли, ограничены и оцениваются по данным Мировой энергетической конференции (МИРЭК) в  $28,3 \text{ млн ТВт} \cdot \text{ч}$ , или в  $3480 \text{ млрд т}$  условного топлива.

За единицу условного топлива (у. т.) принимают такое топливо, при сгорании 1 кг которого выделяется  $29,3 \text{ МДж}$  ( $8,12 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ ) тепла. Эта условная единица используется для сопоставления различных видов топлива.

Мировые угольные ресурсы оцениваются так: общие —  $14,81 \text{ трлн т}$  в 75 странах мира; разведанные запасы —  $1,25 \text{ трлн т}$  (8 % от общегеологических). Из них каменный уголь — 60 %, бурый — 40 %. Более 90 % разведанных запасов сосредоточено в Северном полушарии (к северу от 300 с. ш.). Большая часть как общих, так и разведанных запасов сосредоточено в экономически развитых странах. Из развивающихся стран значительными запасами обладают только Индия, Ботсвана, а также Китай. Десять крупнейших бассейнов (по общим ресурсам): Тунгусский, Ленский, Канско-Ачинский, Кузнецкий, Рурский, Аппалачский, Печорский, Таймырский, Западный, Донецкий. При оценке общегеологических ресурсов можно указать на то, что на Азию (в основном благодаря Ленскому, Тунгусскому, Таймырскому, Кузнецкому и Канско-Ачинскому бассейнам России) приходится  $8,1 \text{ трлн т}$ , на Америку —  $4,3$ , на Европу —  $1,3$ , на Австралию и Океанию —  $0,8$  и на Африку —  $0,3 \text{ трлн т}$ . Но чаще оперируют данными о разведанных ресурсах. В табл. 3—6 приведена информация о распределении мировых запасов топлива и первые 10 стран по их разведанным ресурсам.

**Таблица 3.** Мировые запасы топлива

Виды топлива	Единица измерения	Запасы	
		общегеологические	разведанные
Уголь	млрд т	5500	1750
Нефть	млрд т	500	140
Природный газ	трлн м <sup>3</sup>	400	150

**Таблица 4.** Страны с самыми большими разведанными ресурсами угля

Страна	Ресурсы, млрд т
США	445
Китай	296
Россия	202
ЮАР	116
Австралия	116
ФРГ	106
Украина	47
Великобритания	45
Индия	38
Казахстан	34

**Таблица 5.** Страны, обладающие самыми большими запасами нефти

Страна	Ресурсы, млрд т
Саудовская Аравия	35,8
Россия	20,0
Ирак	15,1
Кувейт	13,3
ОАЭ	12,6
Иран	12,3
Венесуэла	11,1
Мексика	4,0
Ливия	3,8
США	3,7

**Таблица 6.** Страны, обладающие самыми большими запасами природного газа

Страна	Запасы, трлн м <sup>3</sup>
Россия	48,1
Иран	20,9
Катар	8,5
ОАЭ	5,8
Саудовская Аравия	5,7
США	4,7
Венесуэла	4,1
Алжир	3,7
Индонезия	3,5
Нигерия	3,3

По размерам разведанных угольных ресурсов (табл. 4) мировое первенство принадлежит Северной Америке (главную роль при этом играют Аппалачский и Западный бассейны США). Из всех мировых разведанных запасов можно отметить, что, во-первых, на США, Китай и Россию приходится почти 3/4 угольных ресурсов, во-вторых, что в составе «первой десятки» резко преобладают экономически развитые страны (80 % общемировых разведанных ресурсов). При анализе табл. 5 бросается в глаза исключительная роль Юго-Западной Азии и, прежде всего, стран Персидского залива, в мировых ресурсах нефти: на них приходится почти 2/3 этих ресурсов. В отличие от ресурсов угля ресурсы нефти на 86 сосредоточены в развивающихся странах. Это обстоятельство оказывает очень большое воздействие на всю мировую экономику, да и на политику. Географическое распределение мировых ресурсов природного газа (135 трлн м<sup>3</sup>, табл. 6) оказывается несколько иным. Из регионов мира первое место по этому показателю занимает страны СНГ, второе — Юго-Западная Азия, а далее с большим отставанием следуют Южная и Юго-Восточная Азия, Северная и Латинская Америка.

## **2.5. Краткие сведения об электроэнергетике России и Республики Коми**

Электроэнергетический сектор России — один из крупнейших в мире. Он во многом определяет конкурентоспособность и потенциал роста российской экономики, значительную долю которой составляют энергоемкие отрасли. Счи-

тается, что для нормального развития экономики рост производства электроэнергии должен обгонять рост производства во всех других отраслях. Большую часть выработанной электроэнергии потребляет промышленность. По производству электроэнергии (1025 млрд кВт · ч в 2014 г.) Россия занимает четвертое место после США, Японии и Китая.

По масштабам производства электроэнергии выделяются Центральный экономический район (17,8 % общероссийского производства), Восточная Сибирь (14,7 %), Урал (15,3 %) и Западная Сибирь (14,3 %). Среди субъектов РФ по выработке электроэнергии лидируют Москва и Московская область, Ханты-Мансийский автономный округ, Иркутская область, Красноярский край, Свердловская область. Причем электроэнергетика Центра и Урала базируется на привозном топливе, а сибирские регионы работают на местных энергоресурсах и передают электроэнергию в другие районы.

Электроэнергетика современной России главным образом представлена тепловыми электростанциями, работающими на природном газе, угле и мазуте, в последние годы в топливном балансе электростанций возрастает доля природного газа. Около 1/5 отечественной электроэнергии вырабатывают гидроэлектростанции и порядка 15 % — атомные электростанции.

Тепловые электростанции (ТЭС), работающие на низкокачественном угле, как правило, тяготеют к местам его добычи. Для электростанций на мазуте оптимально их размещение рядом с нефтеперерабатывающими заводами. Электростанции на газе ввиду сравнительно низкой величины затрат на его транспортировку преимущественно тяготеют к потребителю. Причем в первую очередь переводят на газ электростанции крупных и крупнейших городов, так как он является более чистым в экологическом отношении топливом, чем уголь и мазут. Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ — производящие и тепло, и электроэнергию) тяготеют к потребителю независимо от топлива, на котором они работают (теплоноситель при передаче на расстояние быстро остывает).

Самыми крупными тепловыми электростанциями мощностью более 3,5 млн кВт каждая являются Сургутская (в Ханты-Мансийском АО), Рефтинская (в Свердловской области) и Костромская ГРЭС. Мощность более 2 млн кВт имеют Киришская (около Санкт-Петербурга), Рязанская, Новочеркасская и Ставропольская, Заинская (Поволжье), Рефтинская и Троицкая (Урал), Нижневартовская и Березовская электростанции в Сибири.

Геотермические электростанции, использующие глубинное тепло Земли, привязаны к источнику энергии. В России на Камчатке действуют Паужетская и Мутновская ГТЭС. Гидроэлектростанции — весьма эффективные источники электроэнергии. Они используют возобновляемые ресурсы, обладают простотой управления и обладают высокой экономической эффективностью, в силу отсутствия потребления топлива. Поэтому стоимость производимой ими электроэнергии в 5—6 раз ниже, чем на ТЭС. В России созданы гидроэнергетические каскады на Волге и Каме, Ангаре и Енисее. Общая мощность Волжско-Камского каскада — 11,5 млн кВт (11 электростанций). Самыми мощными являются Волжская (2,5 млн кВт) и Волгоградская (2,3 млн кВт). Еще более мощный (22 млн кВт) — Ангаро-Енисейский каскад, включающий самые крупные в стране ГЭС:

Саянскую (6,4 млн кВт, в настоящее время идет реконструкция), Красноярскую (6 млн кВт), Братскую (4,6 млн кВт), Усть-Илимскую (4,3 млн кВт).

Приливные электростанции (ПЭС) используют энергию высоких приливов и отливов в отсеченном от моря заливе. В России действует опытная Кислогубская ПЭС у северного побережья Кольского полуострова.

Атомные электростанции (АЭС) используют высокотранспортабельное топливо. Учитывая, что 1 кг урана заменяет 2,5 тыс. т угля, АЭС целесообразнее размещать вблизи потребителя, в первую очередь в районах, лишенных других видов топлива. Первая в мире АЭС была построена в 1954 г. в г. Обнинске (Калужская обл.). Сейчас в России действует 8 атомных электростанций, из которых самыми мощными являются Курская и Балаковская (Саратовская обл.) по 4 млн кВт каждая. В западных районах страны действуют также Кольская, Ленинградская, Смоленская, Тверская, Нововоронежская, Ростовская, Белоярская. На Чукотке — Билибинская АТЭЦ.

Важнейшая тенденция развития электроэнергетики — объединение электростанций в энергосистемах, которые осуществляют производство, передачу и распределение электроэнергии между потребителями. Они представляют собой территориальное сочетание электростанций разных типов, работающих на общую нагрузку. Объединение электростанций в энергосистемы способствует возможности выбирать наиболее экономичный режим нагрузки для разных типов электростанций; в условиях большой протяженности государства, существования поясного времени и несовпадения пиковых нагрузок в отдельных частях таких энергосистем можно маневрировать производством электроэнергии во времени и пространстве и перебрасывать ее по мере надобности во встречных направлениях.

В настоящее время функционирует Единая энергетическая система (ЕЭС) России. В ее состав входят многочисленные электростанции европейской части и Сибири, которые работают параллельно, в едином режиме, сосредоточивая более 4/5 суммарной мощности электростанций страны. В регионах России восточнее Байкала действуют небольшие изолированные энергосистемы.

Энергетической стратегией России на ближайшее десятилетие предусмотрено дальнейшее развитие электрификации за счет экономически и экологически обоснованного использования ТЭС, АЭС, ГЭС и нетрадиционных возобновляемых видов энергии, повышение безопасности и надежности действующих энергоблоков АЭС.

Электроэнергетика Республики Коми представлена как централизованной системой энергоснабжения, так и децентрализованными объектами (дизельными электростанциями), принадлежащими промышленным, строительным, коммунальным и прочим организациям. Одиннадцать тепловых электростанций республики Коми суммарной мощностью 2381 МВт обеспечивают централизованное энергоснабжение потребителей. Крупнейшими электростанциями являются Печорская ГРЭС (ОАО «ИНТЕР РАО-Электрогенерация», установленная мощность 1060 МВт), Сосногорская ТЭЦ (ОАО «ТГК-9», 390 МВт), Воркутинская ТЭЦ-2 (ООО «Воркутинские ТЭЦ», 270 МВт), блок-станция ТЭЦ ОАО «Монди СЛПК» (436 МВт). Все крупные станции, кроме Воркутинских ТЭЦ, работают на природ-

ном газе. Воркутинские ТЭЦ-1 (25 МВт) и ТЭЦ-2, а также Интинская ТЭЦ (18 МВт) в качестве топлива используют уголь.

Выработка электроэнергии в Республике Коми на 2014 г. имеет положительное сальдо: производства (9,69 млрд кВт · ч) и потребления (8,95 млрд кВт · ч) электроэнергии. Энергосистема Коми входит в состав ЕЭС России (объединенная ЭЭС Северо-Запада) и имеет электрические связи с Котласским энергоузлом Архангельской энергосистемы по ВЛ 220 кВ Урдома — Микунь и ВЛ 110 кВ Жешарт — Яренск и с Кировской энергосистемой по ВЛ 110 кВ Летка — Мураши. В то же время пропускная способность данных связей составляет всего 5 % от собственной нагрузки, поэтому энергосистема республики фактически работает на самобалансе, изолированно от ОЭС и должна рассчитывать только на собственные энергоисточники. В Архангельскую энергосистему в 2014 г. передано более 150 млн кВт · ч электроэнергии, из Кировской энергосистемы получено около 60 млн кВт · ч. Транспортные ограничения не позволяют выдать за пределы энергосистемы избыточную мощность Печорской ГРЭС (в настоящее время величина «запертой» мощности оценивается в 400—500 МВт).

Территориально внутри энергосистемы Коми выделяются пять параллельно работающих энергоузлов: Воркутинский, Интинский, Печорский, Ухтинский (Центральный), Южный (Микунь — Сыктывкарский), соединенные системообразующими ВЛ 220 кВ Печорская ГРЭС — Ухта — Микунь (две ЛЭП) и Печорская ГРЭС — Инта — Воркута (одна ЛЭП) общей протяженностью более 1250 км. В целом в электроэнергетический комплекс Республики Коми входят 25 линий электропередачи класса напряжения 220 кВ общей длиной более 1900 км, 95 линий электропередачи класса напряжения 110 кВ общей длиной 4600 км, шесть транзитов 110 кВ и три транзита 35 кВ, 123 трансформаторные подстанции и распределительных устройства электростанций высшего напряжения 110—220 кВ с суммарной мощностью трансформаторов более 6500 МВА.

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите понятие энергетики и энергетической науки. Каковы основные направления развития последней?
2. Каково значение энергетики в техническом прогрессе? Приведите примеры.
3. Назовите основные причины широкого применения электроэнергии во всех отраслях современного общества.
4. Охарактеризуйте план ГОЭЛРО. Как он расшифровывается, кто являлся его идеологом?
5. Приведите основные этапы становления электроэнергетики в нашей стране в соответствии с планом ГОЭЛРО.
6. Что понимается под энергетическими ресурсами?
7. Назовите основные возобновляемые и невозобновляемые энергоресурсы.
8. Перечислите пять стадий процесса энергетического производства получения энергии.
9. Охарактеризуйте основные виды энергоресурсов и их запасы в России и в Республике Коми.
10. Какие виды запасов энергоресурсов характерны для Республики Коми?
11. Что такое условное топливо? Для каких целей введено это понятие?
12. Приведите определение энергии. Понятие первичной и вторичной энергии.

13. Приведите основные виды энергоресурсов, используемых в нашей стране.
14. Через какой показатель производится сравнение тепловой эффективности разных видов топлива?
15. Охарактеризуйте структуру ТЭК России и Республики Коми.

## РАЗДЕЛ 3. ТИПЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

### 3.1. Тепловые конденсационные электрические станции

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

Все тепловые двигатели подразделяются:

- по виду используемого рабочего тела — пар или газ;
- по способу преобразования тепловой энергии в механическую — поршневой или роторный (табл. 7).

Таблица 7. Способы преобразования энергии

Способ работы	Рабочее тело	
	пар	газ
Поршневой	Паровая машина	Двигатель внутреннего сгорания
Роторный	Паровая турбина	Газовая турбина

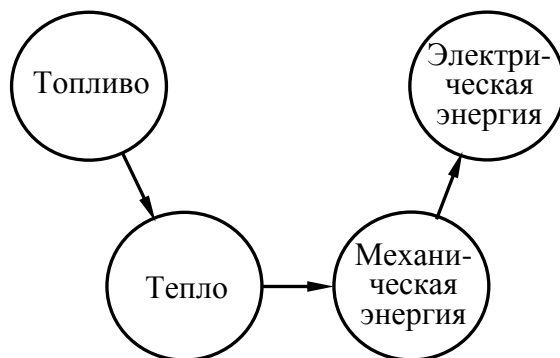
В поршневом способе для преобразования используется потенциальная энергия рабочего тела, получаемая при его нагревании. В роторном способе используется кинетическая энергия движущихся с большой скоростью частиц рабочего тела.

Паровая машина была единственным двигателем, используемым в промышленности и на транспорте в XVIII и XIX вв. В настоящее время она практически не используется.

В наше время наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания, используемые на автомобильном транспорте. В стационарной энергетике двигатели внутреннего сгорания находят ограниченное применение.

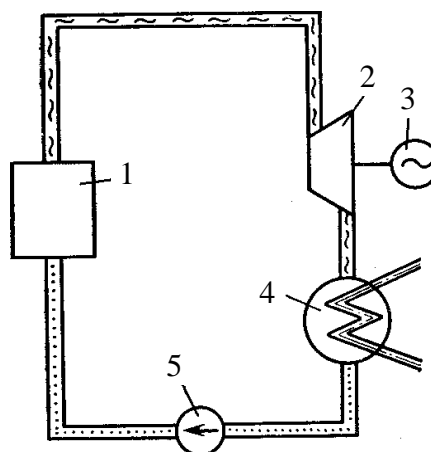
На современных тепловых станциях устанавливают паровые турбины. Первая паровая турбина, предназначенная для вращения электрического трехфазного генератора, была установлена на электростанции в Англии в 1899 г. С тех пор началось развитие мощных паротурбинных электростанций. В качестве тепловых двигателей на электрических станциях используют также газовые турбины. Для повышения эффективности работы тепловых двигателей стремятся максимально увеличить температуру рабочего тела и его давление до величин, приемлемых по условиям механической прочности конструкционных материалов.

В современных паровых установках, составляющих основу энергетики, используется пар при температуре 600 °С и давлении 30 МПа. Для охлаждения рабочего тела (пара) обычно применяют холодную воду, которая понижает его температуру до 30—40 °С. При этом давление пара резко падает. На рис. 4 схематически показаны стадии преобразования первичной энергии органического топлива в электрическую энергию.



**Рис. 4.** Схема преобразования энергии на тепловых станциях

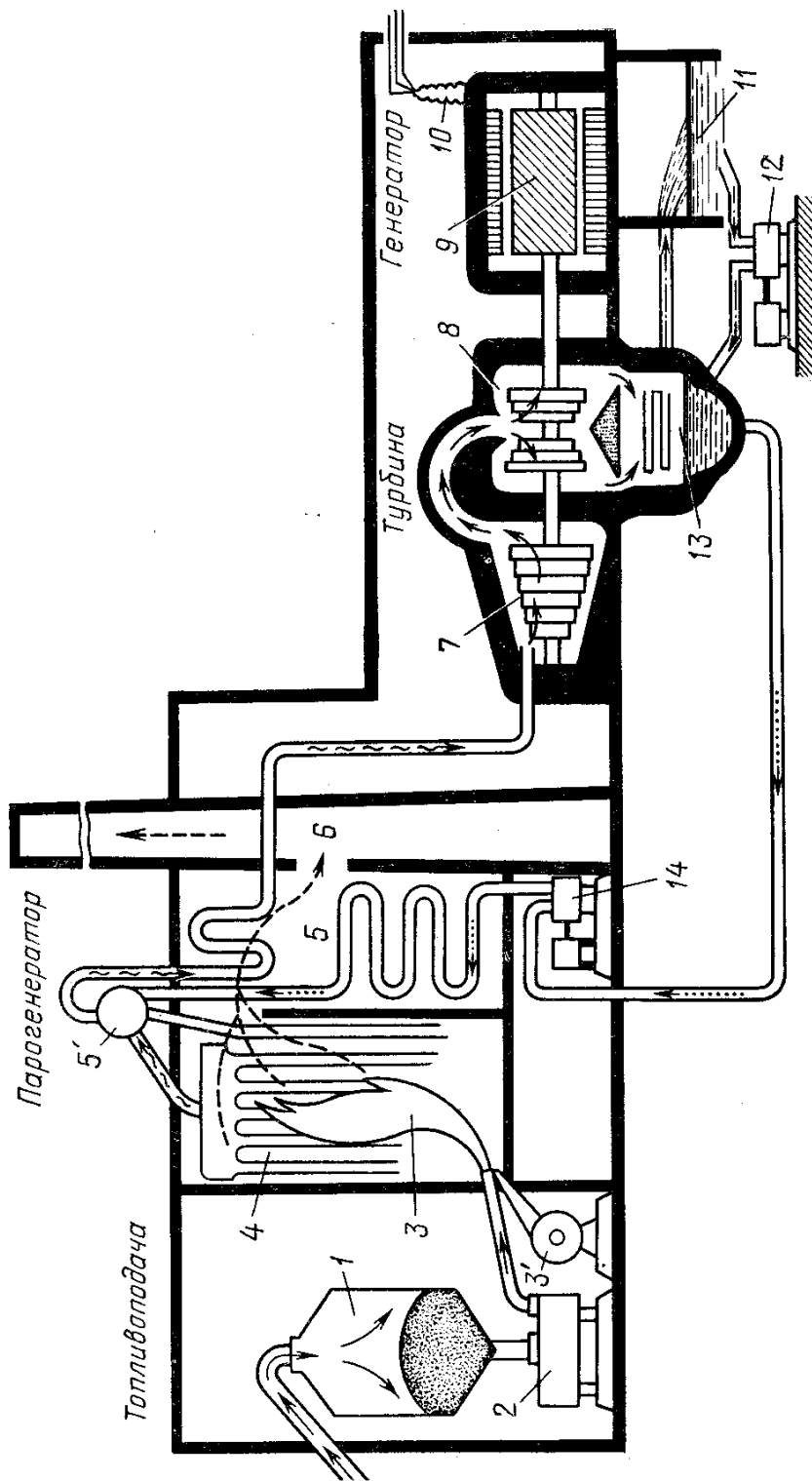
Основные процессы теплового цикла паровых установок происходят в следующих элементах: в парогенераторах — подвод тепла, в турбинах — расширение пара, в конденсаторах — охлаждение. С помощью насосов высокого давления производится сжатие, при котором конденсат нагнетается в парогенератор. Схема тепловой станции показана на рис. 5. Станция такого типа работает следующим образом. Из бункера 1 (рис. 6) уголь поступает в дробильную установку 2, где он превращается в пыль. Угольная пыль вместе с воздухом из воздуходувки 3' подается в топку 3. Тепло, получаемое при сжигании угля, используется для преобразования воды в пар в трубах 4. Вода по змеевику 5 накачивается насосом 14 в барабан котла 5'. Пар, нагретый потоком горячих газов, уходящих в трубу 6, при высокой температуре и при высоком давлении поступает сначала в левую ступень турбины 7 и далее во вторую ступень 8. В турбине энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора генератора 9, вырабатывающего электрическую энергию. Отработанный в турбине пар поступает в конденсатор 13, превращается в воду, которая насосом 14 подается в котел, и затем цикл превращения воды повторяется. Охлаждение пара в конденсаторе производится с помощью воды, забираемой из водоема (пруда или реки) 11, накачиваемой насосом 12 и вновь выбрасываемой в водоем. Продукты сгорания угля проходят через очистительные сооружения (не показанные на рис. 6), где выделяются зола, твердые частички несгоревшего угля и прочие примеси, а оставшиеся газы через трубу 6 выбрасываются в атмосферу. Электрическая энергия, получаемая от статора генератора, отдается в электрическую систему через выводы 10.



**Рис. 5.** Структурная схема тепловой конденсационной станции:

- 1 — парогенератор; 2 — паровая турбина;
- 3 — электрический генератор;
- 4 — конденсатор; 5 — насос;
- ~ ~ ~ ~ — пар; · · · · · — охлажденная вода





**Рис. 6.** Схема тепловой конденсационной электрической станции.  
 — топливо; — горячие пары; ~ ~ ~ пар; ····· конденсат;  
 — ····· — охлажденная вода

Рассмотрим несколько подробнее основные элементы тепловой конденсационной станции, показанные на рис. 5. Пар получают в парогенераторе. Современный парогенератор представляет собой сложное техническое сооружение больших размеров, высота которого соизмерима с высотой пятиэтажного дома. В топке парогенератора сжигается превращенный в мелкую пыль уголь, газ или распыленная нефть при температуре 1500—2000 °С. Для наиболее полного сжигания топлива с помощью вентиляторов в больших количествах подается подогретый воздух. Появляющееся в процессе сгорания топлива тепло нагревает воду, превращает ее в пар и увеличивает его температуру и давление до расчетных значений. Использованные горячие газы дымососами вытягиваются из парогенератора и подаются в очистительные устройства, а затем направляются в дымовую трубу.

Вода, подаваемая в парогенератор, предварительно очищается от примесей, содержание которых допускается в количестве меньшем, чем в питьевой воде. Очистка воды производится в специальных устройствах — питателях.

По конструктивному выполнению парогенераторы подразделяют на барабанные и прямоточные. В барабанном парогенераторе (рис. 7) имеется стальной барабан 3, в нижней части которого находится вода, а в верхней части — пар. По циркуляционной трубе 2 вода поступает в трубки экрана 1, покрывающие стенки толки 7. Трубки экрана выполняют стальными, небольшого диаметра (примерно 40 мм снаружи и 32 мм внутри), для того чтобы они смогли выдержать большое давление пара. В крупном парогенераторе каждый час испаряются сотни тонн воды и поэтому трубки имеют общую длину до 50 км.

Чтобы повысить эффективность работы парогенератора, вода перед подачей в барабан нагревается в экономайзере 5, а воздух перед подачей в топку подогревается горячими газами в воздухоподогревателе 6. Выходящий из барабана пар дополнительно нагревается в пароперегревателе 4.

В барабанном парогенераторе происходит естественная циркуляция воды и пароводяной смеси за счет их разной плотности. По мере увеличения температуры и давления пара уменьшается разность в плотностях воды и пара, что ухудшает их циркуляцию.

В прямоточном парогенераторе барабана нет. Циркуляция воды и пара создается насосами (рис. 8). Вода через водоподогреватель 3 поступает в трубы 1, расположенные в топке, превращается в пар, который затем подается в пароперегреватель 2 и далее в турбину. В воздухоподогревателе 4 происходит подогрев воздуха перед подачей его в топку. Прямоточные парогенераторы требуют чувствительного и точного регулирования подачи воды. Кроме того, к питательной воде, используемой в парогенераторах этого типа, предъявляют очень высокие требования в отношении ее качества.

Прямоточные котлы получили широкое распространение, так как они дешевле барабанных. Кроме того, котлы других конструкций не позволяют получать пар при давлении выше 20 МПа. У барабанных парогенераторов при высоких давлениях нарушается естественная циркуляция воды и пара.

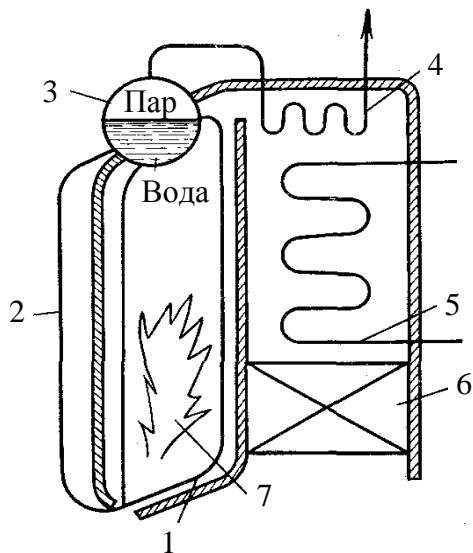


Рис. 7. Барабанный парогенератор

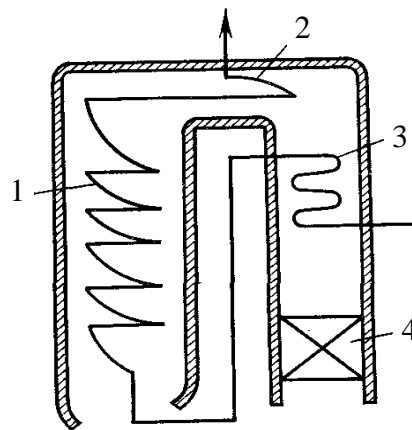


Рис. 8. Прямоточный парогенератор

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

Если перед входом в сопло пар имел некоторую начальную скорость  $c_0$  и начальное давление  $p_1$  (рис. 9), то после выхода из сопла в результате расширения пара происходит увеличение его скорости до величины  $c_1$  и уменьшение давления до величины  $p_2$ . Температура пара при этом также значительно понижается.

После выхода из сопла пар подается на рабочие лопатки турбины. Если турбина активная, то между ее рабочими лопатками расширения пара не происходит, следовательно, давление пара не меняется (см. рис. 9). Абсолютная скорость движения пара уменьшается от  $c_1$  до  $c_2$  вследствие вращения турбины со скоростью  $v$ .

Конструктивно обычно турбина выполняется в виде нескольких ступеней, каждая из которых состоит из одного венца сопловых лопаток и одного венца рабочих лопаток. Сопловые и рабочие лопатки закреплены на окружностях одинакового радиуса.

У реактивной турбины или ступени происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток. В зависимости от показателей расширения пара в каналах турбины характеризуют степенями реактивности. В настоящее время турбины выполняют многоступенчатыми, причем в одной и той же турбине могут быть как активные, так и реактивные (с различной степенью реактивности) ступени. Изменение параметров пара в реактивной ступени турбины показано на рис. 10. В соплах турбины происходит частичное расширение пара до промежуточного давления  $p'_1$ . Дальнейшее расширение пара до давления  $p_2$  происходит в каналах между лопатками. Абсолютная скорость пара в сопле увеличивается до величины  $c'_1$ , а в каналах между лопатками уменьшается из-за вращения лопаток до величины  $c_2$ .

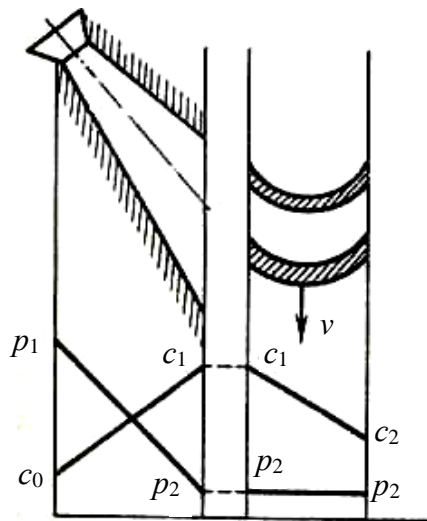


Рис. 9. Работа активной турбины

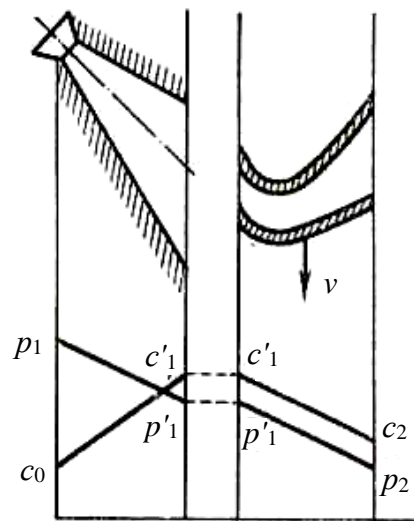


Рис. 10. Работа реактивной турбины

В реактивных турбинах помимо центробежных сил, возникающих при изменении скорости движения пара, на лопатки действуют реактивные силы, вызванные расширением пара. Появление реактивной силы можно продемонстрировать на следующем примере. Пусть в бак, установленный на тележке (рис. 11), подведен пар под давлением, который в положении *a*, равномерно действует на все стенки. Если убрать пробку, то равновесие бака сразу же нарушится. На правую стенку будет действовать неизменная сила, а сила, действующая на левую стенку, резко уменьшится, так как давление окружающей среды меньше, чем давление в баке. Пар устремится из бака, а тележка под действием реактивной силы начнет двигаться вправо (положение *б*).

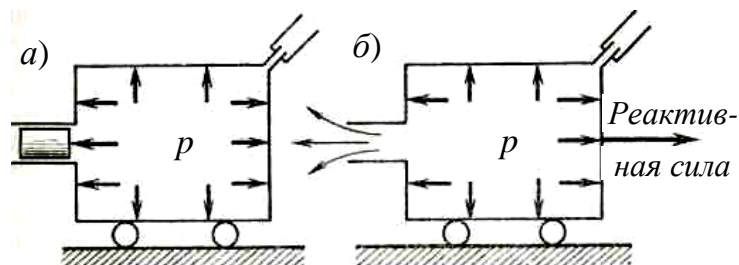


Рис. 11. Возникновение реактивной силы

**Конденсаторы.** Пар, выходящий из турбины, направляют для охлаждения и конденсации в специальные устройства, называемые конденсаторами. Конденсатор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого имеется большое число латунных трубок. По трубкам протекает охлаждающая вода, поступающая в конденсатор обычно при температуре 10—15 °С, а выходящая из него — при температуре 20—25 °С. Пар обтекает трубки сверху вниз, конденсируется и снизу удаляется. Давление в конденсаторе поддерживается в пределах 3—4 кПа, что достигается охлаждением пара. Расход охлаждающей воды составляет примерно 50—100 кг на 1 кг пара. На электростанции мощностью 1 ГВт расходуется 40 м<sup>3</sup>/с охлаждающей воды.

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

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

**Тепловой баланс конденсационной электрической станции.** На тепловых электрических станциях происходят многократные преобразования энергии, сопровождающиеся потерями. Процесс преобразования химической энергии топлива в электрическую с выделением различного рода потерь на различных стадиях производства можно представить тепловым балансом. Если в нем за 100 % принять химическую энергию, получаемую при сжигании угля в топках котлов, то только примерно 25 % этой энергии превращается в электрическую (рис. 12). Наибольшие потери тепла происходят в конденсаторе. С охлаждающей водой конденсатора уносится 55 % тепла.

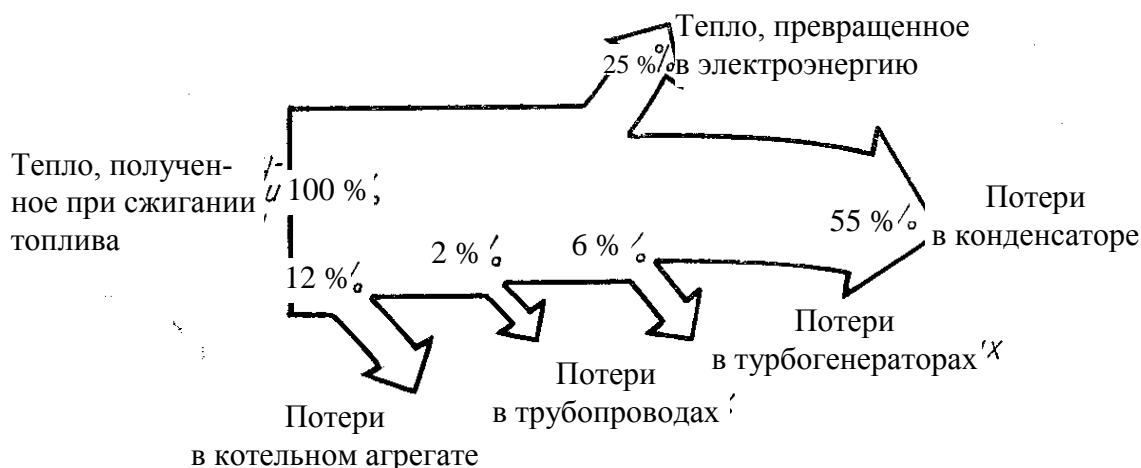


Рис. 12. Тепловой баланс конденсационной электростанции

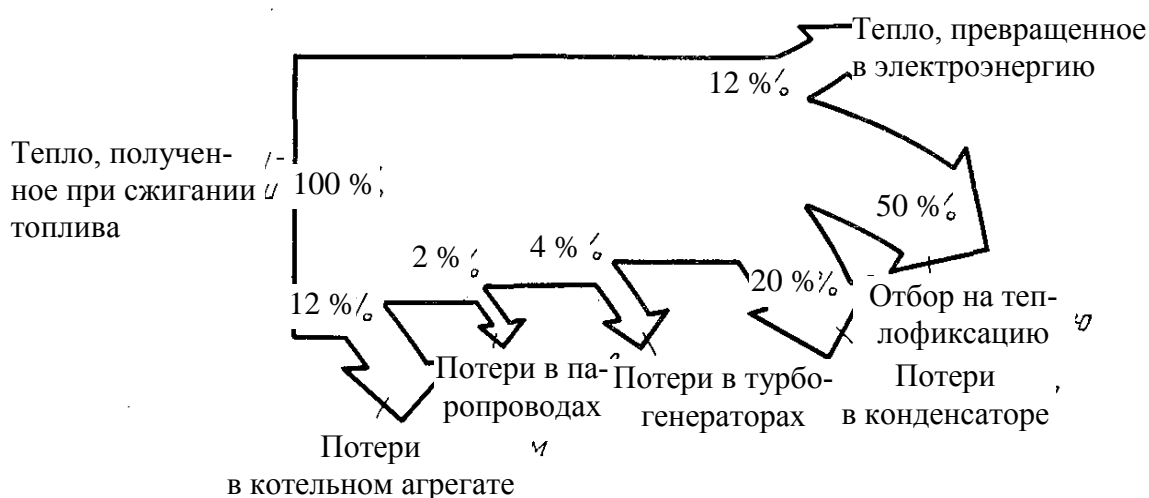
### 3.2. Теплоэлектроцентрали

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

В России больше 1/2 всего добываемого топлива расходуется на тепловые нужды предприятий. В этих условиях естественно использовать пар, получаемый в парогенераторах на тепловых станциях как для выработки электроэнер-

гии, так и для теплофикации потребителей. Электростанции, выполняющие такие функции, называются *теплоэлектроцентралями*.

Отработанный в турбинах конденсационных станций пар имеет температуру 25—30 °С и поэтому непригоден для использования в технологических процессах на предприятиях. Во многих производствах требуется пар при давлении 0,5—0,9 МПа, а иногда и до 2 МПа для приведения в движение прессов, паровых молотов, турбин. Иногда требуется горячая вода при температуре 70—150 °С. Для получения пара с необходимыми для потребителей параметрами используют специальные турбины с промежуточными отборами пара. В таких турбинах, после того как часть энергии пара израсходуется на приведение в движение турбины и параметры его понизятся, производится отбор некоторой доли пара для потребителей. Оставшаяся доля пара далее обычным порядком используется в турбине и затем поступает в конденсатор. Поскольку для части пара перепад давления оказывается меньшим, несколько возрастает расход топлива на выработку электроэнергии. Однако такое увеличение расхода пара на выработку электроэнергии на ТЭЦ и связанное с этим увеличение расхода топлива в конечном счете оказываются меньшими по сравнению с расходом топлива в случае раздельной выработки электроэнергии и выработки тепла на небольших котельных установках. Благодаря более полному использованию тепловой энергии КПД ТЭЦ достигает 60—65 %, (в современных и вовсе доходит до 80 %) а КПД КЭС — не более 43 %. На рис. 13 приведен примерный вид теплового баланса теплоэлектроцентрали.



**Рис. 13.** Тепловой баланс конденсационной электростанции

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

Конденсат, получаемый после использования пара потребителями, представляет собой воду, практически лишенную примесей солей, так как она перед подачей в парогенераторы очищается в питателях. Конденсат целесообразно собирать и затем вновь использовать для производства пара. Поэтому паровая сеть состоит из паровых труб и конденсаторопроводов. Водяная сеть также состоит из двух видов трубопроводов — подающих и обратных.

Тепловые сети обычно прокладывают под землей, но иногда применяют и наземную прокладку труб на эстакадах или отдельно стоящих мачтах. Так как при нагревании трубопроводы расширяются, а следовательно, изменяется их длина, то определенное количество опор, поддерживающих трубы, выполняются подвижными. Для уменьшения потерь тепла теплопроводы снаружи покрывают тепловой изоляцией, в качестве которой применяют диатомовый кирпич, диатомовые фасонные изделия, минеральную вату и пенобетон. Пенобетон изготавливается из цементного раствора с добавлением пенообразователя. После застывания массы получается материал, содержащий большое количество замкнутых, заполненных воздухом ячеек, что и обеспечивает его хорошие теплоизоляционные свойства. Тепловая изоляция позволяет при передаче горячей воды, имеющей температуру около 150 °С, иметь потери не более 0,4—0,6 °С на каждом километре. Однако даже такие небольшие потери при развитых тепловых сетях составляют в совокупности значительное количество тепла, на выработку которого требуется большой расход топлива.

Экономия топлива связана с совершенствованием тепловой изоляции, поэтому повышение ее качества относится к одной из важнейших задач теплофикации. Эффективность работы системы теплоснабжения во многом зависит от рационального размещения теплоэлектроцентралей, которые стремятся по возможности приблизить к крупным потребителям тепла и электрической энергии, так как передача тепла в виде пара неэкономична при расстояниях свыше 5—7 км. На решение вопроса о целесообразных местах расположения теплоэлектроцентралей в последнее время значительное влияние оказывает загрязнение ими окружающей среды.

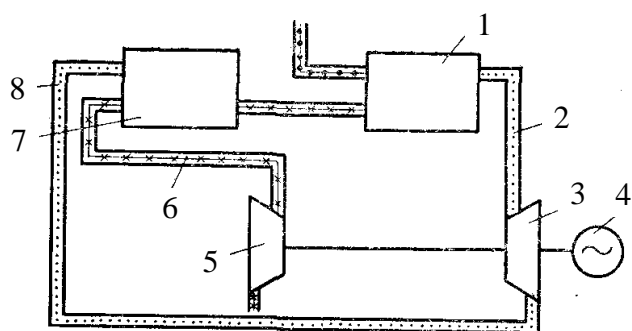
Централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепла и электрической энергии имеет большие преимущества: обеспечивает основную долю потребности в тепле промышленного и жилищно-коммунального хозяйства, уменьшает расходование топливно-энергетических ресурсов, а также материальных и трудовых затрат в системах теплоснабжения.

### 3.3. Газотурбинные установки

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

По конструктивному исполнению и принципу преобразования энергии газовые турбины не отличаются от паровых. Экономичность работы газовых турбин примерно такая же, как и двигателей внутреннего сгорания, а при очень высоких температурах рабочего тела экономичность газовых турбин выше, чем двигателей внутреннего сгорания. Газовые турбины более компактны, чем паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания. Широкое распространение газовые турбины получили на транспорте. Современные газовые турбины работают на газовом и жидком топливе.

Работа газотурбинной установки осуществляется следующим образом. В камеру сгорания подается жидкое или газообразное топливо и воздух (рис. 14). Получающиеся в камере сгорания газы 2 с высокой температурой и под большим давлением направляются на рабочие лопатки турбины 3. Турбина вращает электрический генератор 4 и компрессор 5. Компрессор необходим для подачи под давлением воздуха 6 в камеру сгорания. Сжатый в компрессоре воздух перед подачей в камеру сгорания подогревается в регенераторе 7 отработанными в турбине горючими газами 8. Подогрев воздуха позволяет повысить эффективность сжигания топлива в камере сгорания.



**Рис. 14.** Принципиальная схема газотурбинной установки:

- - - - - топливо; -x-x- — воздух;

····· — продукты сгорания

### 3.4. Парогазовые установки

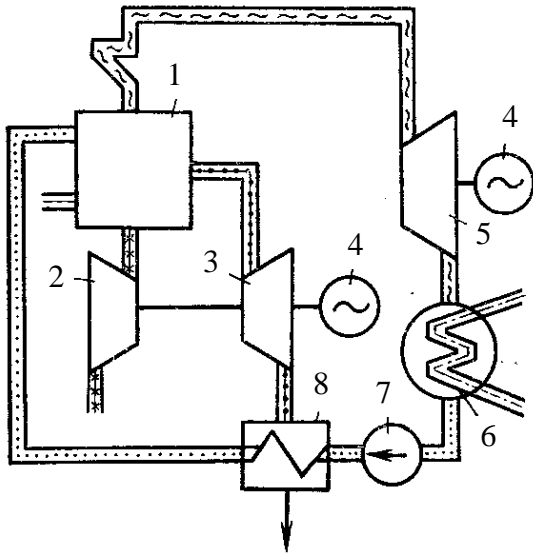
Отработанные газы, покидающие газотурбинную установку, имеют высокую температуру, что неблагоприятно сказывается на КПД термодинамического цикла. Совмещение газо- и паротурбинных агрегатов таким образом, что в них происходит совместное использование тепла, получаемого при сжигании топлива, позволяет на 8—10 % повысить экономичность работы установки, называемой парогазовой.

Парогазовые установки, использующие два вида рабочего тела — пар и газ — относятся к бинарным. В них часть тепла, получаемого при сжигании топлива в парогенераторе, расходуется на образование пара необходимых параметров, который затем направляется в паровую турбину (рис. 14). Охлажденные до температуры 650—700 °С газы попадают на рабочие лопатки газовой турбины. Отработанные в турбине газы используются для подогрева питательной воды, что позволяет уменьшить расход топлива и повысить КПД всей установки, который может достигать примерно 44 %.

Парогазовые установки могут работать также по схеме, в которой отработанные в газовой турбине газы поступают в паровой котел (рис. 15). Газовая турбина в этом случае служит как бы частью паросиловой установки. В камере сгорания газотурбинной установки сжигается 30—40 % топлива, а в парогенераторе — остальное топливо.

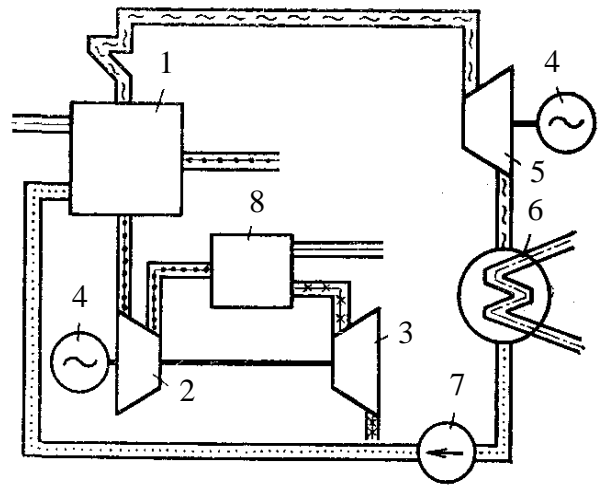
Газотурбинные установки могут работать только на жидком или газообразном топливе, так как продукты сгорания твердого топлива, содержащие золу и механические примеси, оказывают вредное влияние на лопатки газовой турбины.





**Рис. 14.** Принципиальная схема парогазовой установки:

- 1 — парогенератор; 2 — компрессор;  
 3 — газовая турбина; 4 — генератор;  
 5 — паровая турбина; 6 — конденсатор;  
 7 — насос; 8 — экономайзер;  
 ~ ~ ~ ~ ~ — пар; . . . . . — вода и конденсат;  
 ————— — топливо; -x-x-x- — воздух;  
 - - - - - — продукты сгорания;  
 - . . . - . . — охлажденная вода



**Рис. 15.** Схема парогазовой установки с выбросом отработанных газов в паровой котел:

- 1 — парогенератор; 2 — газовая турбина;  
 3 — компрессор; 4 — генератор;  
 5 — паровая турбина; 6 — конденсатор;  
 7 — насос; 8 — камера сгорания;  
 ~ ~ ~ ~ ~ — пар; . . . . . — вода и конденсат;  
 ————— — топливо; -x-x-x- — воздух;  
 - - - - - — продукты сгорания;  
 - . . . - . . — охлажденная вода

В газотурбинных установках, так же как и в обычных паросиловых установках, тепловая энергия преобразовывается в механическую в турбинах и механическая энергия — в электрическую в генераторах. Эта схема электромеханического преобразования энергии обладает тем существенным недостатком, что необходимо использовать материалы, способные выдерживать большие механические нагрузки при высоких скоростях вращения вала турбины и высоких температурах. Ограниченная прочность материалов вынуждает использовать пар при температурах не выше 600 °С, в то время как температура сжигаемого топлива достигает 2000 °С. Сокращение разницы в этих температурах позволит существенно повысить КПД тепловых установок.

### 3.5. Атомные электростанции

Во второй половине 40-х гг. прошлого столетия, еще до окончания работ по созданию первой советской атомной бомбы (испытание состоялось 29 августа 1949 г.), советские ученые приступили к разработке первых проектов мирного использования атомной энергии, генеральным направлением которого сразу же стала электроэнергетика. В 1948 г. по предложению **И. В. Курчатова** начались первые работы по практическому применению энергии атома для получения электроэнергии.

В 1950 г. в США был создан реактор EBR-I недалеко от города Арко, штат Айдахо. Данный реактор 20 декабря 1951 г. в ходе эксперимента выработал пригодное для использования электричество мощностью 800 Вт. После этого мощность реактора была повышена для обеспечения электроэнергией станции, на которой находился реактор. Это дает право называть данную станцию первой экспериментальной АЭС, но при этом она не была подключена к энергетической сети.

Первая в мире промышленная АЭС мощностью 5 МВт была запущена 24 июня 1954 г. в городе Обнинске (Калужская область). В 1958 г. была введена в эксплуатацию 1-я очередь Сибирской АЭС в Томской области мощностью 100 МВт. Впоследствии ее полная проектная мощность была доведена до 600 МВт. В том же году развернулось строительство Белоярской АЭС. В сентябре 1964 г. был пущен 1-й блок Нововоронежской АЭС мощностью 210 МВт. Второй блок мощностью 365 МВт запущен в декабре 1969 г. В 1973 г. запущена Ленинградская АЭС. Сегодня она уже исчерпала свой ресурс.

За пределами СССР первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 МВт была введена в эксплуатацию в 1956 г. в Колдер-Холле (Великобритания). Через год вступила в строй АЭС мощностью 60 МВт в Шиппингпорте (США). В 1979 г. произошла серьезная авария на АЭС Три-Майл-Айленд, после чего США прекратили строительство атомных реакторов, однако в планах постройка двух новых реакторов на базе старой АЭС лишь к 2017 г.

Крупнейшая АЭС в Европе — Запорожская АЭС в г. Энергодаре (Запорожская область, Украина), строительство которой началось в 1980 г. С 1996 г. работают 6 энергоблоков суммарной мощностью 6000 МВт. Крупнейшая АЭС в мире (по установленной мощности) — АЭС Касивадзаки-Карива (на 2008 г.) находится в Японском городе Касивадзаки префектуры Ниигата, суммарная мощность 8212 МВт.

В 1986 г. — масштабная катастрофа на Чернобыльской АЭС, которая, помимо непосредственных последствий, серьезно отразилась на всей ядерной энергетике в целом. Она вынудила специалистов всего мира пересмотреть проблему безопасности АЭС и задуматься о необходимости международного сотрудничества с целью повышения безопасности АЭС. 15 мая 1989 г. на учредительной ассамблее в Москве было объявлено об официальном образовании Всемирной ассоциации операторов атомных электростанций (англ. WANO), международной профессиональной ассоциации, объединяющей организации, эксплуатирующие АЭС во всем мире. Последняя крупная авария на АЭС произошла в марте 2011 г. в Японии в префектуре Фукусима. Авария на АЭС Фукусима-1 произошла в результате воздействия на АЭС сильного землетрясения и последовавшего за ним цунами.

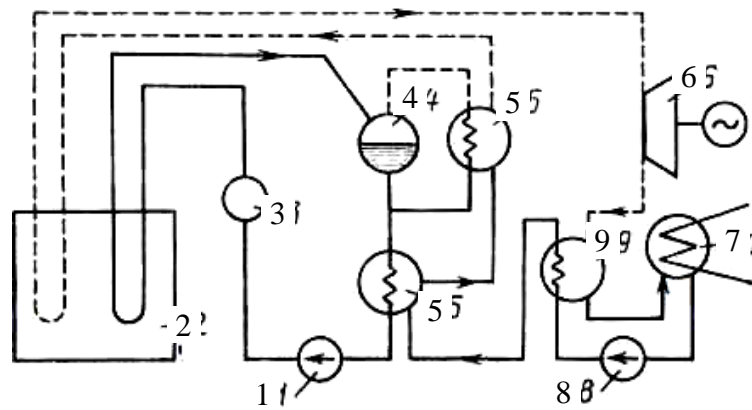
На АЭС энергия, получаемая в результате деления ядер урана на осколки, превращается в тепловую энергию пара или газа и затем в электрическую энергию, т. е. в энергию движения электронов в проводнике. Деление ядер урана происходит при бомбардировке их нейтронами, в результате чего получаются осколки ядер, обычно неодинаковые по массе, нейтроны и другие продукты деления, которые разлетаются в разные стороны с огромными скоростями и имеют, следовательно, большие величины кинетической энергии. Получаемая при

делении ядер энергия почти полностью превращается в тепло. Установка, в которой происходит управляемая цепная ядерная реакция деления, называется *ядерным реактором*. Он является основным элементом станции и состоит из активной зоны, отражателя, системы охлаждения, системы управления, регулирования и контроля и биологической защиты.

В рабочие каналы активной зоны помещают ядерное топливо в виде урановых или плутониевых стержней, покрытых герметичной металлической оболочкой. В этих стержнях и происходит ядерная реакция, сопровождаемая выделением большого количества тепла. Поэтому стержни с ядерным топливом называют *тепловыделяющими элементами* или, сокращенно, *ТВЭлами*. Количество ТВЭлов в активной зоне может достигать до нескольких тысяч.

В активную зону помещают замедлитель нейтронов, через нее также проходит теплоноситель, под которым понимают вещество, служащее для отвода тепла. В качестве теплоносителя используются обычная вода, тяжелая вода, водяной пар, жидкие металлы, некоторые инертные газы (углекислый газ, гелий). Теплоноситель с помощью принудительной циркуляции омывает в рабочих каналах поверхности ТВЭлов, нагревается и уносит с собой тепло для дальнейшего использования. Активная зона окружена отражателем, который возвращает в нее вылетающие нейтроны.

Опыт сооружения и эксплуатации небольших по мощности станций позволил перейти к созданию экономически эффективных и достаточно мощных АЭС, в которых параметры рабочего тела доведены до величин такого же порядка, как и на современных ТЭС. Упрощенная схема таких электростанций приведена на рис. 16, где перегрев пара производится в реакторе, что дает возможность получать высокие температуры пара.



**Рис. 16.** Схема мощной АЭС:

- 1 — насос первого контура; 2 — уран-графитовый реактор;
- 3 — коллектор; 4 — сепаратор; 5 — парогенератор; 6 — турбина;
- 7 — конденсатор; 8 — насос второго контура; 9 — водоподогреватель

Биологическая защита выполняет функции изоляции реактора от окружающего пространства, для того чтобы в него не проникли мощные потоки нейтронов,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -лучи и осколки деления.

Защита реактора выполняется в виде толстого слоя (до нескольких метров) бетона с внутренними каналами, по которым циркулирует вода или воздух для

отвода тепла. Количество этого тепла составляет 3—5 % от всей выделенной в реакторе энергии. Из-за относительно низкой температуры оно в дальнейшем не используется. Защита должна ограничивать как при работе реактора, так и при его остановке уровни излучений до величин, не превышающих допустимых доз. Биологическая защита, в первую очередь, предназначается для создания безопасных условий работы обслуживающего персонала. Поэтому все излучающие устройства (весь первый контур) помещаются внутри защитной оболочки.

Биологическая защита выполняется двумя способами:

- 1) реактор и первый контур со всеми обслуживающими агрегатами находятся внутри защитного устройства и недоступны для обслуживания персонала;
- 2) реактор находится в более толстом защитном устройстве, а остальная часть линии первого контура — в другом, частично защищенном помещении, которое после остановки реактора доступно для обслуживания.

АЭС, являющиеся наиболее современным видом электростанций, имеют ряд существенных преимуществ перед другими видами электростанций. При нормальных условиях функционирования они абсолютно не загрязняют окружающую среду, не требуют привязки к источнику сырья и соответственно могут быть размещены практически везде. Современные энергоблоки имеют мощность соизмеримую со средней по мощности гидроэлектростанцией (ГЭС), при этом коэффициент использования установленной мощности на АЭС (свыше 80 %) значительно превышает этот показатель у гидро- или тепловых электростанций.

По самым оптимистическим прогнозам, минимум через 50 лет на Земле закончатся природные энергоносители. А дальнейшее развитие атомной энергетики, в свете последних крупных аварий в бывшем СССР (Украина) и Японии, стоит под вопросом. Необходимо искать новые источники энергии, и они уже известны. Огромный потенциал скрыт в использовании солнечной энергии. Современные технологии уже сегодня позволяют получить достаточное количество дешевой энергии, способной покрыть нужды всего земного шара. Основная проблема состоит в том, как передать такое колоссальное количество энергии на расстояние.

### 3.6. Гидравлические электрические станции

В основе изучения работы гидроэлектростанций, преобразующих энергию воды в электрическую энергию, лежит наука, называемая *гидравликой*; она включает в себя *гидростатику*, изучающую равновесие жидкостей, и *гидродинамику*, изучающую движение жидкостей. Вода при движении оказывает давление на препятствия, встречающиеся на ее пути; это давление называется *динамическим*. При переходе потока жидкости из более широкой трубы в узкую динамическое давление возрастает, а статическое падает.

Мощность потока воды, протекающего через некоторое сечение — створ, определяется расходом воды  $Q$ , высотой между уровнем воды в верхнем по течению бассейне (верхнем бьефе) и уровнем воды в нижнем по течению бассейне (нижнем бьефе) в месте сооружения плотины. Разность уровней верхнего

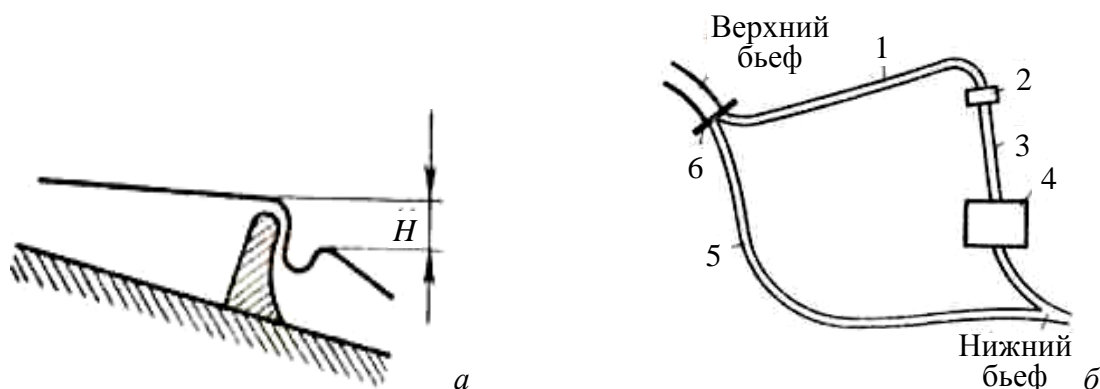
и нижнего бассейнов называется *напором* ( $H$ ). Если расход  $Q$  измерять в  $\text{м}^3/\text{с}$ , а напор  $H$  в м, то мощность потока в створе ( $P$ , кВт) определяется выражением

$$P = 9,81QH.$$

Мощность гидростанции тем больше, чем большее количество воды поступает на лопатки гидротурбины ( $Q$ ) и чем большее давление ( $H$ ) она имеет. В двигателях гидроэлектростанций может быть использована только часть мощности потока воды в створе, зависящая от ряда условий, отраженных в КПД ( $\eta$ ). Тогда мощность станции

$$P = 9,81QH\eta.$$

Для увеличения напора  $H$  создаются искусственные гидротехнические сооружения. На равнинных реках напор создается с помощью плотины (рис. 17, а). В горных местностях строят специальные обводные каналы, называемые деривационными (рис. 17, б). В гидравлических турбинах происходит преобразование энергии воды в механическую энергию вращения вала турбины. Турбина называется *активной*, если принцип ее работы основан на использовании динамического давления воды, и *реактивной*, если используется статическое давление при реактивном (см. рис. 11) эффекте.



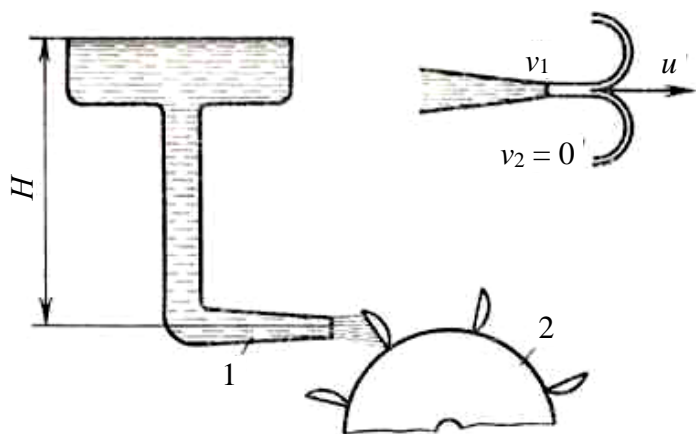
**Рис. 17.** Схемы создания напора:

- а — с помощью плотины; б — с помощью деривационного канала;  
 1 — канал; 2 — напорный бассейн; 3 — турбинные водоводы;  
 4 — здание ГЭС; 5 — русло реки; 6 — плотина

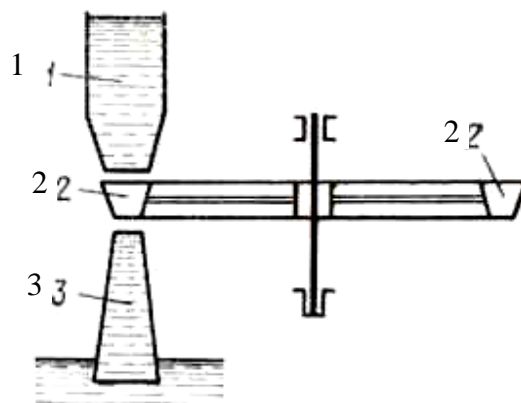
В высоконапорной активной турбине потенциальная энергия гидростатического давления в суживающейся насадке (рис. 18) полностью превращается в кинетическую энергию движения воды. Давление на выходе насадки равно атмосферному. Регулирование поступающей в турбину воды осуществляется специальным маховиком. На крупных станциях такое регулирование производится автоматически.

В нашей стране реки преимущественно равнинные, для которых характерны большие расходы воды и относительно малы величины напора. В таких условиях предпочтительнее использовать реактивные турбины. В реактивной турбине вода по трубе 1, имеющей суживающуюся часть, поступает на рабочие

лопатки 2 (рис. 19). Суживающаяся часть трубы называется *направляющим аппаратом*, в нем происходит частичное преобразование потенциальной энергии воды в кинетическую. Дальнейшее преобразование энергии производится на рабочих лопатках, где проходное сечение воды постепенно уменьшается. Для более полного использования энергии воды и более удобного обслуживания турбины давление па лопатках уменьшают до величин, меньших атмосферного. За турбиной устанавливается отсасывающая труба 3, в которой происходит повышение давления до атмосферного за счет увеличения сечения.



**Рис. 18.** Схема работы высоконапорной активной турбины: 1 — сужающаяся насадка, 2 — активная ковшовая турбина



**Рис. 19.** Схема работы реактивной турбины

В современной гидроэнергетике преимущественно используют три типа турбин:

1) радиально-осевая турбина (турбина Френсиса). Лопатки рабочего колеса этой турбины имеют сложную кривизну, благодаря чему вода, поступающая на лопатки с направляющего аппарата, постепенно меняет направление с радиального на осевое. Число лопаток у таких турбин от 10 до 30. Радиально-осевая турбина выполняется на мощности свыше 100 МВт;

2) поворотной-лопастная турбина (турбина Каплана). Рабочее колесо турбины выполняется в форме винта пропеллера, лопасти которого могут поворачиваться в зависимости от нагрузки;

3) ковшовая турбина (турбина Пельтона). Ее лопатка выполнена в форме сдвоенного ковша с острым ножом посередине. В ковшах происходит изменение направления скорости движения воды на  $180^\circ$ , вследствие чего на лопатки действуют центробежные силы.

Разнообразие природных условий, в которых сооружаются ГЭС, определяет разнообразие конструктивного исполнения турбин. Мощности турбин изменяются от нескольких киловатт до 500 МВт, а на Саяно-Шушенской ГЭС до 640 МВт, частота вращения изменяется от 16,67 до 1500 об./мин. В последнее время стали применяться горизонтальные агрегаты (капсульные), в которых генератор заключен в герметичную капсулу обтекаемую водой. Их КПД превышает 95 %.

При сооружении гидроэлектростанций обычно решают комплекс задач экономики, в который помимо выработки электрической энергии входит регулирование стока воды и улучшение судоходства реки, создание орошаемых

массивов, развитие энергоемких производств, использующих местное сырье и т. д. Для прохода судов устраивают специальные шлюзы, представляющие собой бетонированные каналы, разделенные рядом ворот на шлюзовые камеры (рис. 20). Если судно движется сверху, то открывают затвор 1 и в камеру 3 из камеры 2 впускают воду до тех пор, пока уровни в камерах 2 и 3 не выравняются. Затем закрывают затвор 4 и понижают уровень в камере 3; судно переходит в камеру 5 и т. д. до уровня б. При движении судна снизу уровни воды выравниваются в обратном порядке с помощью мощных насосов.

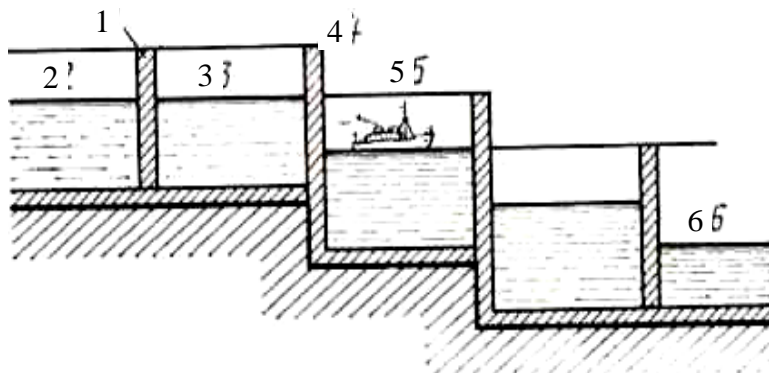


Рис. 20. Шлюз для прохода судов

На равнинных реках гидроэлектростанции с плотинной схемой концентрации напора разделяются на два типа: русловые и приплотинные. На гидростанциях с напором до 30 м здание станции, как и плотина, воспринимает напор и располагается в русле реки. Такие гидроэлектростанции называются русловыми так как с ростом напора увеличивается объем строительных работ по сооружению зданий русловых гидроэлектростанций, то при напорах, превышающих 25—30 м, здание станции помещается за плотиной. Такие ГЭС называются *приплотинными*. На них весь напор воспринимается плотиной. В советское время, как и сегодня гидростроители на равнинных реках нашей страны сооружают станции, напор которых достигает 100 м, например, на Братской ГЭС, построенной на Ангаре, и на Асуанской станции в Египте, которая проектировалась и строилась под руководством советских специалистов.

### 3.7. Гидроаккумулирующие электрические станции

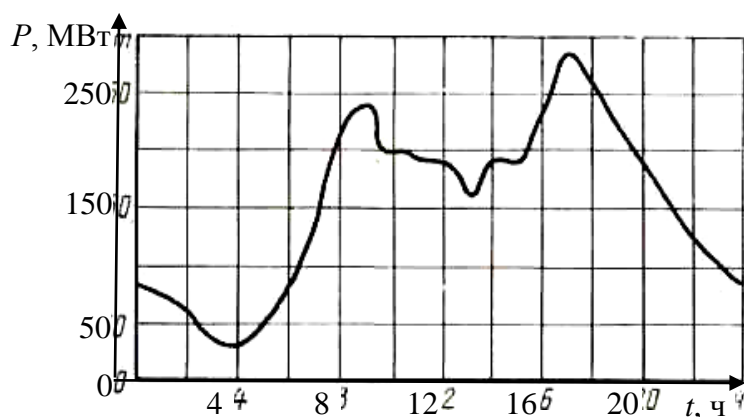
Производство электроэнергии на электрических станциях и ее потребление различными приемниками представляют собой процессы, взаимосвязанные таким образом, что в силу физических закономерностей мощность потребления электроэнергии с учетом ее потерь при доставке по линиям электропередачи в какой-либо момент времени должна быть равна генерируемой мощности.

При идеальном равномерном потреблении электроэнергии происходила бы равномерная работа определенного количества электростанций. В действительности работа большинства отдельных электроприемников неравномерна и суммарное потребление электроэнергии также неравномерно. Можно привести множество примеров неравномерности работы установок и приборов, потреб-



ляющих электроэнергию. Завод, работающий в одну или две смены, неравномерно потребляет электрическую энергию в течение суток. В ночное время потребляемая им мощность близка к нулю. Улицу и квартиры освещают только в определенные часы суток. Работа электробытовых приборов, таких как вентиляторы, пылесосы, электрические печи, нагревательные приборы, телевизоры, компьютеры, стиральные и посудомоечные машины, кондиционеры и т. п., также неравномерна во времени. 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 (рис. 21). Это означает, что в одни часы суток требуется большая суммарная мощность генераторов, а в другие часы часть генераторов или электростанций должна быть отключена или должна работать с уменьшенной нагрузкой.



**Рис. 21.** Примерный график потребления электроэнергии в течение зимних суток в большом городе

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 промышленно развитых странах большая часть электроэнергии (80 %) вырабатывается на тепловых электростанциях, для которых наиболее желателен равномерный график нагрузки. Агрегаты тепловых станций плохо приспособлены к регулированию мощности. Периодические включения и отключения тепловых станций не позволяют решить задачу регулирования мощности из-за большой продолжительности этих процессов. На запуск тепловой станции в лучшем случае требуются часы. Кроме того, работа крупных тепловых станций



в резко переменном режиме нежелательна вследствие повышенного расхода топлива, повышенного износа теплосилового оборудования и, следовательно, снижения его надежности. Все сказанное относится не только к обычным ТЭС, но и к атомным электрическим станциям. В настоящее время дефицит в маневренных мощностях покрывается ГЭС, у которых набор полной мощности с нуля может быть произведен за 1—2 мин. Однако в европейской части СССР степень использованных экономически эффективных гидроэнергоресурсов уже превысила 40 %. Оставшаяся неиспользованной часть ресурсов относится к периферийным районам и небольшим водотокам.

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

Накапливание энергии в водохранилищах на равнинных реках приводит к затоплению обширных территорий, что во многих случаях крайне нежелательно. Небольшие реки малопригодны для целей регулирования мощности в системе, так как они не успевают заполнить водой водохранилище.

Упомянутую выше задачу (снятие пиков) решают *гидроаккумулирующие станции* (ГАЭС), работающие следующим образом (рис. 22). В интервалы времени, когда электрическая нагрузка в объединенных системах минимальна, ГАЭС перекачивает воду из нижнего водохранилища в верхнее и потребляет при этом энергию из системы. В режиме непродолжительных «пиков» — максимальных значений нагрузки — ГАЭС работает в генераторном режиме и расходует запасенную в верхнем водохранилище воду.

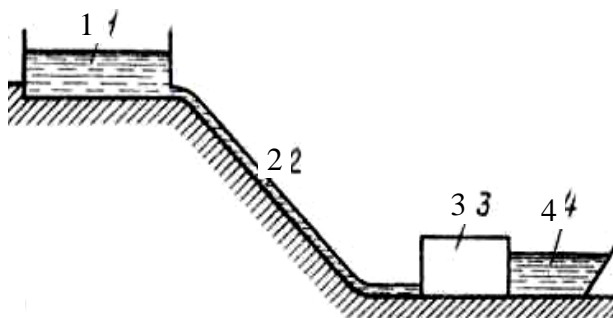


Рис. 22. Схема гидроаккумулирующей станции

В европейской части России возможно сооружение до 200 ГАЭС. В энергосистемах, расположенных в центральной, северо-западной и южной частях, где имеется наибольший дефицит маневренной мощности, естественные перепады рельефа позволяют сооружать станции с небольшим напором (80—110 м). В настоящее время в Сергиево-Посадском районе Московской области работает Загорская ГАЭС, мощностью 1200 МВт с годовой выработкой 1900 млн кВт · ч. Решение о ее строительстве было принято в 1974 г. Два первых обратимых гидроагрегата, мощностью каждого 200 МВт, были введены в эксплуатацию в декабре 1987 г. На полную проектную мощность станция вышла в 2000 г.

### 3.8. Приливные электрические станции

Энергия морских приливов, или, как говорят иногда, «лунная энергия», известна человечеству со времен глубокой древности. 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 еще в XIX в. для снабжения Лондона водой.

Существует огромное количество остроумных проектов приливных технических установок. Только во Франции к 1918 г. было опубликовано более 200 таких патентов. В начале прошлого века предпринимались попытки сооружения мощных *приливных электростанций* (ПЭС). В США в 1935 г. было начато строительство ПЭС Кводди мощностью 200 тыс. кВт. Вскоре строительство, на которое ушло 7 млн долл., было прекращено из-за выявившейся высокой стоимости электроэнергии (на 33 % больше стоимости на тепловой станции). По составленному в 1940 г. проекту в СССР Кислогубская ПЭС вырабатывала бы электроэнергию стоимостью в два раза большей, чем у речных электростанций.

Работа ПЭС определяется космическими явлениями и это выгодно отличает ее от ГЭС, работа которых зависит от многочисленных случайных погодных условий. Наиболее существенный недостаток ПЭС — неравномерность их работы. Неравномерность приливной энергии в течение лунных суток и лунного месяца, не позволяет систематически использовать ее в периоды максимального потребления электроэнергии в системах электроснабжения. Можно компенсировать неравномерность работы ПЭС, 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 достаточно дорогой, так как требуется большая установленная мощность электрических машин.

Работа 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, выравнивается 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 0,5 м.

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 пе-

рекачивание воды из моря в бассейн и тем самым увеличивать напор воды. С созданием обратимых поворотно-лопастных турбин появилась возможность изменения режима работы ПЭС и большего ее приспособления к режиму потребления электроэнергии. При совпадении моментов полной (малой) воды с избытком мощности в системе, что обычно бывает в ночные часы, агрегат работает как насос, перекачивая воду из моря в бассейн и увеличивая тем самым уровень воды в нем (откачивая воду из бассейна в море). Спустя несколько часов, в дневное «пиковое» время, агрегат будет работать в генераторном режиме и выдавать в систему ценную дополнительно запасенную энергию.

Во Франции построены две ПЭС: экспериментальная в Сен-Мало мощностью 9 МВт и в устье реки Ранс мощностью 240 МВт, у которой длина плотины равна 700 м.

Возможности широкого строительства ПЭС в России продолжают изучаться на примере опытной ПЭС на Кольском полуострове. На побережье Белого моря высота приливной волны составляет 2—6 м. В восточной части Мезенского залива, расположенного в Белом море, высота приливной волны достигает 9 м. Если в этом районе соорудить ПЭС путем отсечения всей восточной части Мезенского залива с помощью плотины длиной около 100 км и средней высотой около 15 м, то в ней может быть установлено 2 тыс. турбин общей мощностью 14 ГВт. Такая грандиозная ПЭС смогла бы совместно с речными ГЭС гарантировать бесперебойную работу Единой энергосистемы страны. При этом ГЭС работали бы в наиболее благоприятном для них режиме постоянной нагрузки. Даже на современном этапе это для страны достаточно дорогостоящее и неподъемное мероприятие.

Для сооружения ПЭС удобен Лумбовский залив, расположенный на Мурманском побережье. Этот залив площадью 70 км<sup>2</sup> может быть отсечен от моря плотиной длиной 5 км. Высота приливной волны в заливе достигает 7,2 м. На Лумбовской ПЭС можно было бы в год получать примерно 1 ТВт · ч электроэнергии. Совмещение работы Лумбовской ПЭС с работой ГЭС, расположенных на Кольском полуострове, позволило бы иметь достаточно надежный источник электроэнергии. Однако пока экономические показатели не стимулируют начало такого рода строительства в широком масштабе.

### 3.9. Другие виды электростанций

**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. 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 земных недр. Этому способствовал недостаток обычных энергоресурсов. Схема использования подземного тепла относительно проста. Разогретые подземные воды превращаются в пар, который используется на геотермальных электростанциях и в других технических установках. 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.

В бывшем СССР для ряда районов, например Камчатки, Сахалина и Курильских островов, сооружение геотермальных станций оказывается экономически оправданным. Первая станция такого типа была построена в 1966 г. на Камчатке, в долине реки Паужетка. Ее мощность 12 МВт. На Мутновском месторождении термальных вод 29 декабря 1999 г. запущена в эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС такой же установленной мощностью. В апреле 2003 г. запущена в эксплуатацию первая очередь Мутновской ГеоЭС, установленная мощность на 2007 г. 50 МВт, планируемая мощность станции составляет 80 МВт, выработка в 2007 г. — 360,687 млн кВт · ч. Станция полностью автоматизирована.

В 2007 г. введена в эксплуатацию Океанская ГеоТЭС, расположенная у подножия вулкана Баранского на острове Итуруп в Сахалинской области, мощностью 2,5 МВт. Название этой электростанции связано с непосредственной близостью к Тихому океану.

**Солнечные электростанции.** В предыдущих разделах было показано большое количество новых возможностей преобразования энергии, которые открываются перед человечеством. Многие из них, особенно ядерная и термоядерная энергетика, обещают надолго снять энергетические проблемы с их опасениями относительно нехватки энергии или даже энергетического голода. Однако и при этом останутся проблемы переработки расщепляющихся элементов, проблемы отходов радиоактивно опасных веществ. Наиболее убедительно о проблемах будущего сказал известный французский физик **Ф. Жолио-Кюри**: «Хотя я и верю в будущее атомной энергии и убежден в важности этого изобретения, однако я считаю, что настоящий переворот в энергетике наступит только тогда, когда мы сможем осуществлять массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу, или даже более высокого качества»<sup>2</sup>.

В самом деле, солнце — источник всей жизни на нашей планете и так или иначе источник всех видов получаемой на ней энергии. Поэтому уже давно человек обращал и обращает вновь и вновь свое внимание на прямое использование солнечной энергии. Весьма заманчиво создание солнечных элементов для прямого превращения солнечной радиации в электрическую энергию. В солнеч-

---

<sup>2</sup> Жолио-Кюри Ф. Об организации науки во Франции. Доклад на ноябрьской сессии Отделения физико-математических наук АН СССР в Москве 10 ноября 1949 г. // Избранные труды. М. : Изд-во АН СССР, 1957. С. 518.

ных элементах используется явление фотоэффекта, т. е. вырывание электронов из тела под действием света. Фотоэффект открыт **Герцем** в 1887 г. и детально исследован **А. Г. Столетовым** в 1888 г. Несмотря на то что фотоэлектрический эффект известен давно, природа его пока полностью не изучена. 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 на полупроводник с электронной проводимостью. В замкнутой цепи при этом образуется электрический ток.

Солнечная энергетика является одним из крупнейших сегментов альтернативной энергетики и отрасли использования возобновляемых источников энергии. Сегодня принято различать три основных технологии солнечной энергетики: энергия солнца может использоваться для генерации электроэнергии (фотовольтаика), для получения концентрированной тепловой энергии с целью последующей электрогенерации или для непосредственного нагрева теплоносителя, наиболее часто водного.

Применение солнечной энергии в фотовольтаике на сегодняшний день получило наибольшее распространение. В фотовольтаике энергия солнечного излучения преобразуется в электричество в солнечных батареях, основу которых составляют солнечные элементы, или фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Принято различать несколько поколений ФЭП, среди которых основную долю рынка занимают ФЭП первого поколения на основе кристаллического кремния, получаемого из монокремния. Наиболее перспективными и наиболее дешевыми считаются ФЭП третьего поколения на основе органических материалов. Технический потенциал развития фотовольтаики связан с повышением КПД, т. е. с эффективностью преобразования в ФЭПе солнечного света в электроэнергию.

В концентрированных системах солнечной энергии энергия солнечных лучей с помощью системы линз и зеркал фокусируется в концентрированный луч солнца. Этот луч солнца используется как источник тепловой энергии для нагрева рабочей жидкости, которая расходуется для электрогенерации по аналогии с обычными теплоэлектроцентралями или накапливается для сохранения энергии.

**Использование энергии ветра.** Ветроэнергетика — отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветрогенератор (для получения электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (для использования в транспорте) и др.

Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием активности солнца. Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью. К началу 2015 г. общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 369 ГВт. В 2014 г. количество электрической энергии,

произведенной всеми ветрогенераторами мира, составило 706 ТВт · ч (3 % всей выработанной человечеством электрической энергии). Некоторые страны особенно интенсивно развивают ветроэнергетику, в частности, на 2014 г. в Дании с помощью ветрогенераторов производилось 39 % всего электричества; в Португалии — 27 %; в Никарагуа — 21 %; в Испании — 20 %; в Ирландии — 19 %; в Германии — 8 %; в странах ЕС — 7,5 %. В 2014 г. 85 стран мира использовали ветроэнергетику на коммерческой основе. По итогам 2014 г. в ветроэнергетике занято более 800 тысяч человек во всем мире (в том числе 356 тысяч в Китае и 138 тысяч в Германии).

Крупные ветряные электростанции включаются в общую сеть, более мелкие используются для снабжения электричеством удаленных районов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. Однако сооружение ветряных электростанций сопряжено с некоторыми трудностями технического и экономического характера, замедляющими распространение ветроэнергетики. В частности, непостоянство ветровых потоков не создает проблем при небольшой пропорции ветроэнергетики в общем производстве электроэнергии, однако при росте этой пропорции, возрастают также и проблемы надежности производства электроэнергии.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют способы преобразования различных видов энергии в электрическую?
2. Каким образом работают законы сохранения материи и энергии при преобразовании энергии?
3. Приведите структурную схему преобразования энергии на тепловых электростанциях.
4. Какие существуют виды электростанций?
5. Приведите структурную схему работы конденсационной станции.
6. Какие существуют типы пароперегревателей и для чего они предназначены?
7. Какие основные особенности выработки электроэнергии характерны для конденсационной станции?
8. Приведите структурную схему работы теплоэлектроцентрали. В чем состоит принципиальное отличие теплоэлектроцентрали от конденсационной станции?
9. Приведите структурную схему работы парогазовой электроустановки.
10. Какие основные особенности характерны для парогазовой электроустановки?
11. Приведите структурную схему работы газотурбинной электроустановки.
12. Какие основные особенности характерны для газотурбинной электроустановки?
13. Для чего предназначены парогенераторы и турбины?
14. Для чего на электростанции предназначены генераторы и конденсаторы?
15. Что такое тепловой баланс электростанции?
16. Охарактеризуйте историю развития атомной энергетики в мире и в нашей стране.
17. Принципиальное отличие работы атомной электростанции от тепловой.
18. Приведите основные элементы гидравлической электрической станции. Какие типы турбин в них используются?

19. Принцип работы и назначение гидроаккумулирующих электрических станций. Почему они так называются? Какие станции такого типа имеются в нашей стране?

20. Принцип работы приливных электростанций. Какие станции такого типа имеются в нашей стране?

21. Приведите основные возобновляемые источники энергии.

22. Роль возобновляемых источников энергии в общем энергетическом балансе страны.

## РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### 4.1. Потребление электрической энергии

Промышленность потребляет основную долю электрической энергии, доля которой в период распада СССР составляла немного менее 60 %. Необходимо отметить, что эта доля в период перестройки значительно снизилась и в настоящее время по разным оценкам колеблется в пределах 45—50 %. Снижение доли промышленного потребления в период становления экономики России (с 2005 г.) можно объяснить внедрением энергосберегающих технологий и темпами развития других отраслей экономики России (сельского хозяйства, транспорта). Заметно увеличилось потребление электроэнергии коммунально-бытовыми установками. В самой промышленности произошло увеличение доли производства средств потребления, что также сказалось на перераспределении удельных потреблений электроэнергии.

Электрификация сельского хозяйства во многом определяется специфическими условиями этой отрасли, выражающимися в распространении производства на обширных территориях, низкой концентрации труда, сезонности и т. д. По мере развития электроэнергетических систем (60-е гг. прошлого столетия) сельскохозяйственные потребители в возрастающем количестве стали подключаться к источникам централизованного производства электроэнергии. Это давало возможность существенно снизить себестоимость получаемой в сельскохозяйственных районах электроэнергии. Сегодня эта тенденция не наблюдается. Получили большее распространение локальные системы электроснабжения, что объясняется дороговизной сооружения линий электропередачи высокого напряжения и конкуренцией сооружения малых ТЭЦ в населенных пунктах.

Электрификация и механизация отдельных сельскохозяйственных производств позволяет существенно повысить производительность труда. Например, в результате электромеханизации труда на птицефермах производительность труда удастся повысить на 70 %. В сельском хозяйстве электрическая энергия применяется для самых различных нужд: обогрева помещений в парниковых хозяйствах, приведения в движение вновь создаваемых совершенных производственных механизмов, электромашинного орошения. Кроме того, она применяется в сельскохозяйственных процессах, использующих токи высокой частоты, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, ультразвук и т. п. Применение электроэнергии в быту позволяет максимально приблизить условия жизни в сельской местности к условиям жизни в городе. В настоящее время есть все предпосылки (проблемы импортозамещения) для превращения сельского хозяйства в высокопроизводительную индустриальную отрасль экономики страны.

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



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

Одна из основных тенденций в развитии железнодорожного транспорта — увеличение скорости движения составов. Здесь важно установить разумные, экономичные пределы между скоростями наземного и воздушного транспорта. Считается, что целесообразно увеличивать скорость наземного железнодорожного транспорта до 400 км/ч. В России уже достигнуты скорости движения пассажирских поездов 300 км/ч и более («Сапсан»).

Электрическая энергия в быту расходуется во все возрастающих количествах. В прошлом, на первых этапах развития электроэнергетики и электрификации, электрическая энергия в быту в основном использовалась для освещения. По мере развития электротехнической промышленности создавались совершенные и удобные бытовые приборы — холодильники, телевизоры, стиральные машины и т. п. Широкое применение этих приборов способствовало увеличению потребления электроэнергии. В возрастающем количестве электрическая энергия стала использоваться для приготовления пищи на предприятиях общественного питания и в квартирах, что способствовало улучшению гигиенических условий. В последнее время в быту стали больше применяться кондиционеры, не говоря уже о компьютерах и другой современной технике. Все это привело к повышению доли потребления электроэнергии в коммунально-бытовом секторе экономики страны.

Потребление электроэнергии промышленными предприятиями, транспортом, электробытовыми приборами, подключенными к энергетической системе, меняется как в течение суток, так и в течение года. Примерный вид графика потребления электроэнергии в большом городе в зимний день показан на рис. 21. В утренние часы, когда начинают работу предприятия, включается освещение в квартирах, приводится в движение городской транспорт, потребление электроэнергии значительно возрастает, т. е. наступает так называемый утренний максимум нагрузки. Днем нагрузка в системе уменьшается (обеденные перерывы, окончание работы смен) в связи с некоторым снижением производительности труда. Вечером нагрузка в системе, как правило, достигает максимальных величин, так как в это время напряженно работает городской электрифицированный транспорт, включается уличное освещение, зажигается свет в квартирах и включаются многочисленные электроприборы — телевизоры, компьютеры, электроплиты, электрочайники, другие нагревательные устройства и т. д. В эти же часы продолжают работать некоторые предприятия. Ночью большая часть потребителей электроэнергии не работает и наступает глубокий «провал» нагрузки.

На потребление электрической энергии оказывает влияние и время года. Так, например, в зимнее время больше расходуется электроэнергии на освещение и отопление. Имеют значение также погодные условия. Выпадение снега приводит к повышенному потреблению электроэнергии транспортом. Внезапное похолодание или потепление приводит к изменению потребления энергии на обогрев помещений. Непредвиденно может измениться потребление электроэнергии на промышленных предприятиях, где количество включенного электрооборудования и его мощность могут быть различными, например, из-за перестройки технологического процесса, конструктивных изменений выпускаемых изделий и т. д. Огромное количество факторов, влияющих на потребление электроэнергии в энергетической системе, невозможно заранее однозначно предсказать, так как эти факторы в силу объективных законов, имеют случайную природу. В то же время для управления режимами электроэнергетических систем весьма желательно знать, как будет изменяться во времени потребление энергии.

Прогнозирование графиков нагрузок может быть сделано с помощью методов математической статистики и теории вероятностей. При этом невозможно предсказать абсолютно точно, каким именно будет график нагрузки. Однако, изучая закономерности случайных изменений нагрузки при их массовом повторении, можно предсказать среднестатистическую конфигурацию графика. При этом можно оценить и количественно отклонения реального графика от среднестатистического. В современных условиях точность прогнозирования режимов электропотребления значительно выросла за счет возможности получения достоверной информации по нагрузкам на основе обработки данных телеметрических измерений.

## **4.2. Применение электрической энергии и электротехнологии**

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

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

Неограниченные возможности дробления электроэнергии позволяют создавать установки, обладающие такими большими мощностями, как, например, двигатели, приводящие в движение огромные прокатные станы, и такими малыми мощностями, как электродвигатели для наручных часов.

Представление о масштабах современных электроустановок может дать такое условное сравнение: одна электрическая машина мощностью в 1 ГВт может заменить труд примерно 20 млн человек.

К началу прошлого столетия были созданы предпосылки для перехода промышленности на новую электроэнергетическую базу, которая позволяла свободно, без присущей паросиловой энергетике жесткой связи источника энергии с потребителем, размещать на территории предприятия производственное оборудование. К этому времени был создан генератор постоянного тока и появились возможности централизованной выработки электроэнергии, которой способствовали работы русского электротехника **Д. А. Лачинова** и французского физика **М. Депре**, доказавших экономичность передачи электрической энергии на большие расстояния при высоком напряжении.

Наряду с совершенствованием способов генерации, преобразования, передачи и распределения энергии, разрабатывались способы и установки по использованию в промышленности электрической энергии. В 80-е гг. прошлого столетия был создан экономичный двигатель постоянного тока. Распространение переменного тока стало возможным с изобретением трансформаторов, в которое значительный вклад внесли русские электротехники **П. Н. Яблочков** и **И. Ф. Усагин**.

Особое значение для развития электроэнергетики имело внедрение системы трехфазного тока. Трехфазный асинхронный двигатель был впервые сконструирован в 1889 г. **М. О. Доливо-Добровольским**. Этот двигатель впоследствии стал самым распространенным в силу своей простоты, надежности и экономичности.

Постоянный ток сыграл важную роль на первых этапах электрификации промышленности. Его широко использовали для освещения и приведения в движение различных механизмов. Обнаружилось, что электропривод позволяет легко и просто регулировать режим работы станков. Вначале электропривод получил распространение на переносных установках, в особенности на сверлильных; впоследствии он стал применяться и в стационарных условиях.

Преимущества электрической энергии перед энергией пара подтвердились производственной практикой, которая показала, что наряду с улучшением экономических показателей существенно повышается технический уровень промышленности и улучшаются условия труда. Появилась возможность в любом месте иметь электрический двигатель любой мощности, который мог быть легко и просто включен в работу и у которого можно было бы легко и просто регулировать скорость.

Однако со временем по мере укрупнения промышленных предприятий и увеличения их территориальной протяженности становилось более заметным неудобство ограниченных возможностей передачи электрической энергии на расстояние постоянным током. Разработанная **М. О. Доливо-Добровольским** система генерирования, преобразования, передачи и распределения энергии трехфазного тока сразу же привлекла внимание специалистов во всем мире. В 1891 г. во Франкфурте-на-Майне была сооружена показательная передача электроэнергии трехфазным током на расстояние 100 км с напряжением 15 кВ. Энергия использовалась для освещения и приведения в движение асинхронного двигателя мощностью в 73,6 кВт, соединенного с насосом декоративного водопада. Эта опытная передача продемонстрировала высокую экономичность системы трехфазного тока. КПД передачи составил 75,2 %. На одном из первых заводов — Охтенском пороховом в Петербурге — осуществлена электрификация с исполь-

зованием повышенного напряжения. Паровые машины, расположенные на больших расстояниях друг от друга, были заменены электродвигателями. Распределение энергии по заводу производилось по радиальным линиям при напряжении 2000 В, которое понижалось до 110 В силовыми трансформаторами.

Электрификация силовых процессов в машиностроительном производстве может быть разделена на три этапа.

На первом этапе происходило внедрение единичных приводов, заменивших паросиловые установки и групповые электрические приводы. При единичном приводе энергия между отдельными узлами распределялась механическим способом, что усложняло кинематику станков и вызывало большие потери.

На втором этапе совершенствование машин шло по пути создания многодвигательного привода, когда отдельные движения стали осуществляться от индивидуальных двигателей.

Третий этап, начатый в 60-х гг. прошлого столетия и продолжающийся сегодня характеризуется широким применением средств автоматики для управления электроприводом. Автоматизированный электропривод, базирующийся на достижениях науки и техники, служит основой создания поточного производства машин и оборудования. Он позволяет создавать автоматические станочные линии, технологический процесс которых контролируется и управляется вычислительными машинами. Автоматизированные приводы с частотными преобразователями созданы на блюмингах и целом ряде обрабатывающих станков, на различных механических погрузчиках и т. д. В автоматизации электропривода наблюдается переход от электромеханических устройств к электронным, имеющим такие преимущества как отсутствие контактов, малую инерционность, долговечность и компактность. Развитие электропривода основывается на достижениях в самых различных областях знаний, на использовании методов теории информации, логического синтеза, математического программирования. Важная принципиальная особенность современного автоматизированного электропривода состоит в использовании методов кибернетики.

По мере изучения свойств электрического тока расширялись области его практического применения. Так, изучение химических действий электрического тока и постановка экспериментов позволили **М. Фарадею** в 1833 г. сформулировать законы электролиза, нашедшего далее широкое промышленное применение. Закон теплового действия электрического тока, установленный в 1841—1843 гг. английским физиком **Д. П. Джоулем** и русским академиком **Э. Х. Ленцем**, способствовал развитию электротермии.

Первые электрические печи появились в конце XIX в., после открытия в 1802 г. академиком **В. В. Петровым** электрической дуги. Промышленное применение печи получили во время первой мировой войны (1914—1918), так как появилась острая потребность в больших количествах качественных металлов.

С помощью электролиза стали получать чистые металлы из руд, ценные химические продукты из минералов в форме солей и т. п. Применение электротермии позволило относительно просто получать бывшие редкими и дорогими металлы, такие, как алюминий, карборунд и т. п. Естественно, что широкое промышленное использование методов электротехнологии стало возможным только после внедрения совершенных источников электроэнергии.

Большую группу электротехнологического оборудования составляют электротермические установки, предназначенные для нагревания различных изделий. Превращение электрической энергии в тепловую в этих установках производится различными способами: пропусканием тока по специальным нагревательным элементам или по нагреваемому изделию, созданием электрической дуги, наведением индуктированных токов в проводящем нагреваемом изделии, наведением токов смещения в диэлектрике, помещаемом в электрическом поле высокой частоты.

Нагревательные элементы, используемые в электротермических печах, должны быть достаточно жароупорными и иметь высокое удельное электрическое сопротивление. При относительно невысоких температурах нагрева в печах (1500 К) применяют нихромовые и нихромоалюминисвые сплавы, а при высоких температурах (до 3100 К) используют уголь, графит, молибден и некоторые другие материалы. Материалы нагревательных элементов легко окисляются кислородом воздуха, поэтому печи выполняют вакуумными.

Преимущества прямого нагрева изделий электрическим током состоят в быстром повышении температуры изделия, что исключает потребность в специальной тепловой изоляции; при этом происходят незначительные потери металла на окисление и равномерный нагрев изделия по всему объему. Прямой нагрев металлов электрическим током широко применяется в кузнечном производстве. Количество выделяемого в изделии тепла пропорционально квадрату тока (в соответствии с законом Джоуля — Ленца). Поэтому через изделия пропускают токи, значения которых достигают тысяч ампер при относительно небольшом напряжении (5—25 В). Напряжение на изделии понижается и регулируется специальным трансформатором (рис. 23). Температура нагрева контролируется термопарой.

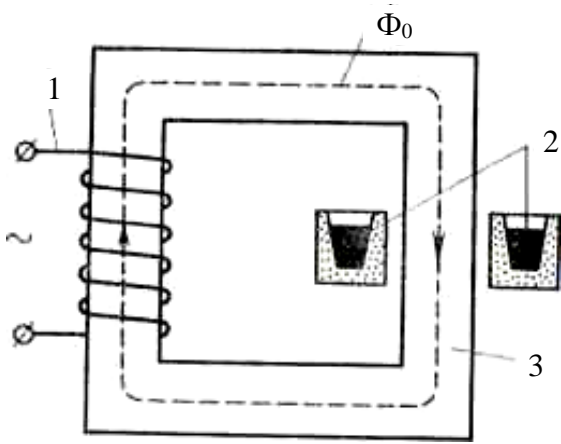
В установках индукционного нагрева происходит наведение токов высокочастотным магнитным полем и выделение вследствие этого тепла.

Индукционные печи имеют хорошие технико-экономические показатели и распространены в промышленности.

Существует большая разновидность конструкций печей, определяемых их назначением (для плавки металлов, поверхностной закалки деталей, низкотемпературного нагрева и т. п.). Индукционные печи со стальным сердечником по конструкции похожи на трансформаторы (рис. 24), отличие от которых состоит в том, что вторичная обмотка у печи выполнена в виде одного витка, обычно представляющего собой расплавленный цветной металл. Первичной обмоткой в стальном сердечнике печи создается переменный магнитный поток, который и индуктирует в металле ток. Выделяемое при протекании тока тепло расплавляет металл, который хорошо перемешивается вследствие электродинамического взаимодействия тока в металле с переменным магнитным полем первичной обмотки.

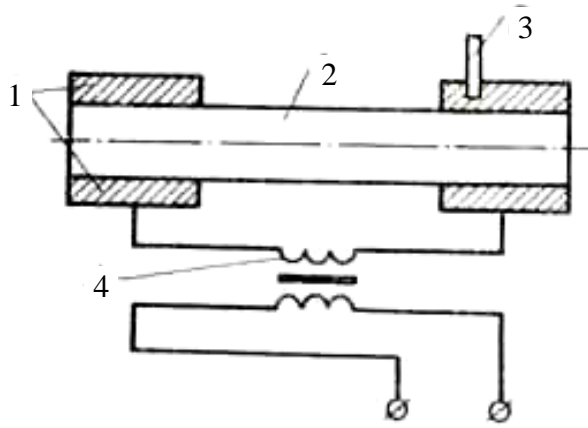
Частота переменного тока в индукционных печах со стальным сердечником соответствует промышленной — 50 Гц.

Индукционные печи без стального сердечника, используемые для выплавки высококачественных сталей и сплавов, получают питание как от сетей со стандартной промышленной частотой тока, так и от источников с повышенной частотой тока.



**Рис. 24.** Индукционная печь со стальным сердечником:

1 — первичная обмотка; 2 — расплавленный металл; 3 — стальной сердечник

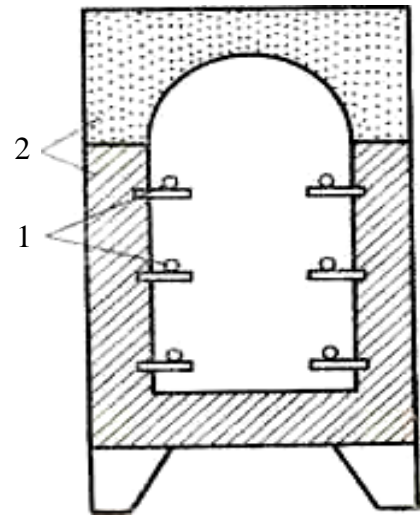


**Рис. 23.** Установка прямого нагрева изделия электрическим током:

1 — электроды; 2 — изделие; 3 — термопара; 4 — регулируемый трансформатор

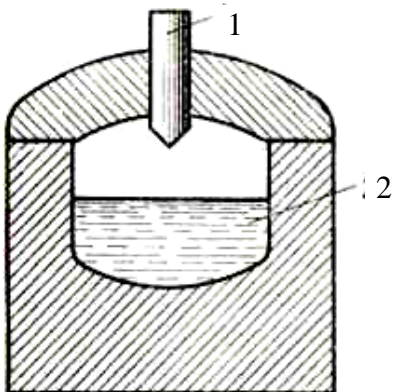
На рис. 25 показана камерная электропечь с нагревателями из нихромовых спиралей. Такие печи обычно предназначаются для термической обработки металлов при мелкосерийном производстве.

Для выплавки качественных металлов и сплавов используют также электрические дуговые печи прямого и косвенного действия. В печах прямого действия дуга горит между электродом и расплавленным металлом (рис. 26), а в печах косвенного действия — между электродами над поверхностью металла (рис. 27). Печи прямого действия, используемые для выплавки качественной стали, выпускаются отечественной промышленностью емкостью до 200 т и мощностью до 40 МВт.



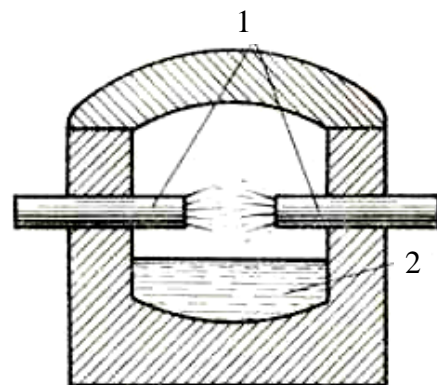
**Рис. 25.** Камерная электропечь:

1 — нагреватели; 2 — футеровка



**Рис. 26.** Схема дуговой печи прямого действия:

1 — электрод; 2 — металл



**Рис. 27.** Схема дуговой печи косвенного действия:

1 — электрод; 2 — металл

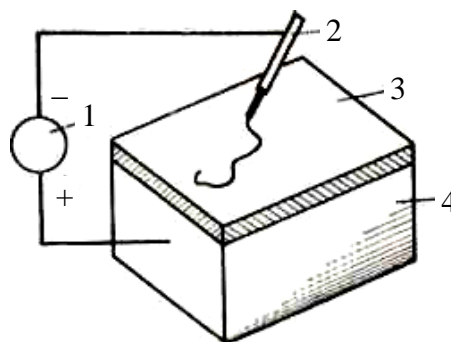
Дуговая электросварка угольным электродом имела большое значение для развития машиностроения. Она была открыта еще в 1882 г. русским инженером **Н. Н. Бенардосом**.

Электросварка металлическим электродом, изобретенная русским инженером **П. Г. Славяновым** в 1888 г., и разработанная им вспомогательная аппаратура позволили широко распространить в промышленности способ неразъемного соединения двух металлов. Работы Н. Г. Славянова получили международной признание. Значительные успехи в области электросварки были достигнуты в 40-е гг. прошлого столетия академиком **Е. О. Патеном** в НИИ электросварки АН Украины, где была разработана установка для скоростной автоматической сварки под слоем флюса. Скоростной способ сварки позволил существенно повысить производительность сварочных работ. В последующие годы происходило дальнейшее совершенствование способов электрической сварки металлов.

Весьма удобна и экономична электрическая контактная сварка, при которой нагрев свариваемых участков деталей происходит за счет выделения тепла при протекании больших токов (до 10 кА) в местах соприкосновений деталей. Для контактной сварки металлов пригоден как постоянный, так и переменный ток. Однако большие токи проще и экономичнее получать с помощью трансформаторов, поэтому для контактной сварки практически применяется только переменный ток.

К прогрессивным методам электротехнологии относится электроэрозионная обработка металлов, в которой используется эффект эрозии (разрушения) материалов электродов при возникновении разрядов в газообразных и жидких средах. При искровых разрядах между электродами в небольшом локальном объеме выделяется энергия и происходит расплавление и частичное испарение металла. Расплавленные частички металла под действием электрического поля выбрасываются в межэлектродный промежуток. Диаметр и глубина образующейся лунки зависят от физических свойств материала. Единичный искровой разряд сопровождается выбросом незначительного количества металла. Но так как искровые разряды повторяются с большой частотой (порядка 100 тыс. раз в секунду), то достигается приемлемая скорость обработки поверхности проводящего материала. Электроэрозионная обработка применима к материалам любой твердости.

Электроэрозионным способом может выполняться обширный комплекс работ, таких, как гравирование, разрезание деталей, копирование, прошивание отверстий, затачивание инструмента, нанесение металлов на поверхности изделий и т. д. На рис. 28 приведена схема установки для электроэрозионного гравирования. Углубленные линии гравюры получают при движении электрода по поверхности изделия за счет разрушения материала изделия импульсными разрядами.



**Рис. 28.** Электроэрозионное гравирование:  
1 — генератор импульсов; 2 — электрод;  
3 — слой диэлектрической жидкости;  
4 — поверхность изделия



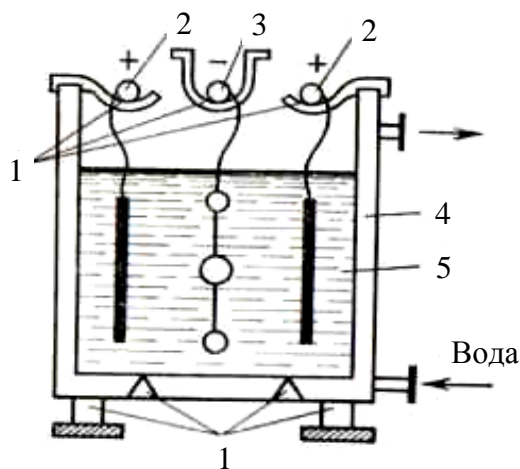
Электрохимическая обработка металлов широко применяется в промышленности. В основе метода лежит эффект перевода металлов в ионное состояние под действием электрического тока в электролите. Соотношения между количествами электричества и металла, переводимого в ионное состояние, установлены законами Фарадея. Электрохимическими методами изменяют свойства поверхностей путем нанесения на них металлических покрытий (серебрение, никелировка, хромирование и т. п.), получают чистые металлы, воспроизводят предметы нанесением на гипсовые и восковые формы металлических покрытий и т. п. Достоинства рассматриваемого метода — возможность обработки больших поверхностей, экономичное использование электрической энергии, универсальность электрохимического оборудования, отсутствие вредных побочных изменений свойств обрабатываемых металлов (что имеет место при обработке металлов воздействием тепла) и т. п.

Ванны для металлопокрытий обычно изготавливают из стали, с внутренней футеровкой из пластмассы (рис. 29). К катодным шинам присоединяют изделие, а к анодным — металлические пластины, материалом которых желательно покрыть изделия. Токпроводящие шины подключают к источнику постоянного тока. Подогрев электролита производят горячей водой, которая циркулирует по специальному кожуху.

В технологических процессах широко используется ультразвук. Он применяется для контроля свойств какой-либо среды без взятия проб. Скорость распространения ультразвуковых колебаний зависит от физико-химических характеристик среды, поэтому эти характеристики можно определять, измеряя скорость распространения ультразвуковых колебаний. Если в контролируемом материале во взвешенном состоянии будут находиться примеси, то это отразится на изменении поглощения энергии ультразвуковых колебаний. Наличие в монолитных материалах неоднородностей также может быть обнаружено с помощью ультразвука (ультразвуковая дефектоскопия), так как на границе двух различных сред происходит частичное отражение колебаний. Распределение энергий между преломленными и отраженными колебаниями зависит от акустических сопротивлений сред.

Ультразвук применяется также для силового воздействия на материалы и интенсификации некоторых производственных процессов, например электролиза и выплавки металлов.

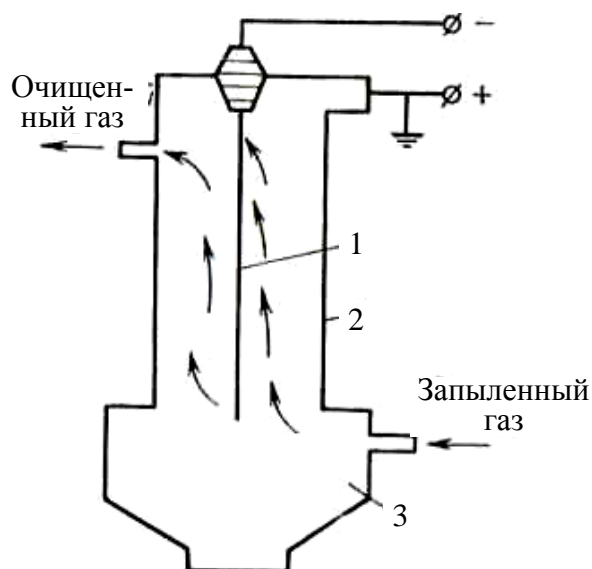
Для нужд ракетной техники, космонавтики, ядерной техники, электроники потребовались сверхчистые материалы, которые способны выдерживать экстремальные условия — высокие скорости и давления, обладать сложным комплексом физических свойств. Для удовлетворения этих требований решающее значение имеют широко развивающиеся методы электротехнологии.



**Рис. 29.** Схема ванны для нанесения металлопокрытий:  
1 — изоляторы; 2 — анодные шины;  
3 — катодные шины; 4 — водопроводящая рубашка; 5 — электролит



В современных условиях важное значение имеют установки по осаждению частичек пыли в дымовых газах тепловых электростанций и заводов, использующие электрическое поле высокого напряжения. В этих установках, называемых *электрофильтрами*, под действием электрического поля происходит улавливание частичек, которым предварительно сообщается электрический заряд. В электрофильтре имеются два электрода — коронирующий (рис. 30), выполняемый в виде проволоки, и осадительный, обычно изготовляемый в виде цилиндра. К электродам подается высокое постоянное напряжение с отрицательным потенциалом на коронирующем электроде. Вблизи коронирующего электрода возникает коронный разряд, сопровождающийся образованием свободных электронов и ионов. Под действием электрического поля электроны и ионы ускоряются и, соударяясь с нейтральными атомами, ионизируют их. Частички пыли, получившие отрицательные заряды, устремляются к положительным электродам и осаждаются на них. Осадительные электроды периодически встряхиваются, пыль с них собирается в специальных бункерах.



**Рис. 30.** Трубчатый электрофильтр:  
1 — коронирующий электрод;  
2 — осадительный электрод; 3 — бункер

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите основные категории потребителей электрической энергии в нашей стране и за рубежом.
2. Какие существуют особенности потребления электроэнергии в объектах сельскохозяйственного назначения? Приведите примеры.
3. Электрификация транспорта, его особенности и объемы потребления в стране.
4. Дайте определения понятия графика электрической нагрузки, и его характерных зон.
5. Для каких целей осуществляется прогнозирование режимов электропотребления объектов электроэнергетики?
6. Приведите основные специфические свойства электроэнергии с позиций ее широкого применения в экономике страны.
7. Что в вашем понимании привело к широкому использованию системы трехфазного тока и кто его идеолог?
8. Дайте определение трансформатора и его назначение в системах передачи энергии на расстояние.
9. Что такое электропривод?
10. Назначение и типы электротермических установок.
11. Приведите примеры различного рода электрических печей.
12. Изобразите схему дуговой печи прямого и косвенного действия.
13. В чем суть электрохимической обработки металлов?
14. Каким образом возможно удаление дымовых газов на тепловых электростанциях?

## РАЗДЕЛ 5. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### 5.1. Элементы и их графическое изображение

Передача электрической энергии осуществляется посредством создания электроэнергетических систем и систем электроснабжения. Под *электроэнергетической системой* понимается совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенных для производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

К элементам электроэнергетической системы относятся:

- генераторы, осуществляющие преобразование механической энергии в электрическую;
- трансформаторы, преобразующие величины напряжений и токов;
- линии электропередачи, предназначенные для транспортировки электроэнергии на расстояние;
- всевозможное вспомогательное оборудование, изменяющее свойства системы;
- устройства управления и регулирования.

Режим системы, т. е. ее состояние в данный момент времени, характеризуется параметрами, определяющими процесс функционирования системы. К параметрам режима относятся величины мощностей, напряжений, токов, частоты и т. д. Режимы подразделяются на установившиеся и переходные. Параметры установившихся режимов сохраняются на рассматриваемом интервале времени неизменными или изменяются относительно медленно. Переходные режимы соответствуют переходу системы от одного установившегося режима к другому; для них характерны относительно медленные и малые или быстрые и значительные изменения параметров. Для того чтобы электроэнергетическая система могла нормально функционировать, а потребители электрической энергии могли работать согласно заложенным в их конструкции характеристикам, необходимо соответствие параметров режима определенным величинам. При этом обеспечивается приемлемое качество электроэнергии, подводимой к потребителям, которое характеризуется значениями напряжения, частоты, симметрией (для трехфазного тока) и синусоидальностью (формой кривой переменного тока).

Физические свойства элементов электрической системы и взаимосвязи элементов между собой характеризуются параметрами электрической системы. К таким параметрам относятся сопротивления элементов, моменты инерции и постоянные времени, характеризующие скорости изменения электрических и механических величин и т. д.

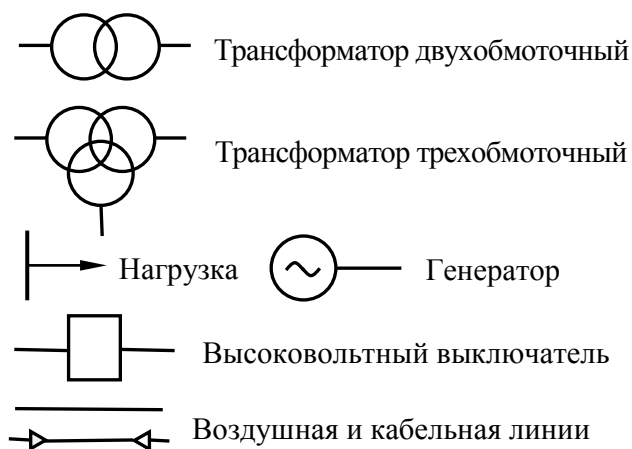
Элементы электрической системы связаны единством происходящих в них процессов. Так, на протекание электромагнитных процессов, вызванных, например, возмущениями в электрической сети, оказывают влияние режимы работы турбин, механическая энергия которых преобразуется в электрическую. На эти же процессы влияют режимы работы электрических двигателей и присоединенных к ним производственных механизмов, так как в двигателях электрическая энергия преобразуется в механическую. Изменения режимов работы

турбины, в свою очередь, вызывают изменения параметров пара в паропроводах, а следовательно, и работы парогенераторов. Расход угля, газа или какого-либо другого органического топлива на ТЭС или расход воды на ГЭС зависит от потребления электроэнергии в системе.

Для графического изображения электроэнергетических систем, а также отдельных ее элементов и связей между элементами используют общепринятые условные обозначения. Условные обозначения, или символы, позволяют на чертеже просто показать тот или иной вид электроустановки. Например, генератор, воздушную или кабельную линию электропередачи условно изображают, отвлекаясь от конкретных технических характеристик — конструктивного выполнения, мощности, размеров, веса, числа оборотов и т. д. Составляя схему из условных обозначений, можно в наглядном виде показать основные, наиболее общие структурные свойства электроэнергетической системы, не затемняя их ненужными деталями.

На заре развития электротехники не было условных обозначений, и ученые и инженеры вынуждены были изображать каждый раз общие виды и разрезы электрооборудования. Но далее, подобно тому, как с развитием культуры и повышением общего уровня цивилизации разговорный язык становился все более абстрактным, язык электротехники также совершенствовал способы изображения наиболее общих свойств широкого класса устройств. Как при слове «дерево» можно представить себе любое дерево — дуб, сосну, ель, молодое дерево и старое, так же при начертании условного изображения трансформатора можно подразумевать и мощный силовой трансформатор, способный преобразовать огромные потоки энергии, и трансформатор миниатюрный, используемый для питания электронных приборов.

На рис. 31 показаны условные обозначения основных элементов электроэнергетической системы. Примерная принципиальная схема относительно простой электроэнергетической системы приведена на рис. 32. Здесь электрическая энергия, вырабатываемая на двух электростанциях различных типов, подводится к потребителям, удаленным друг от друга.



**Рис. 31.** Условные обозначения основных элементов электроэнергетической системы

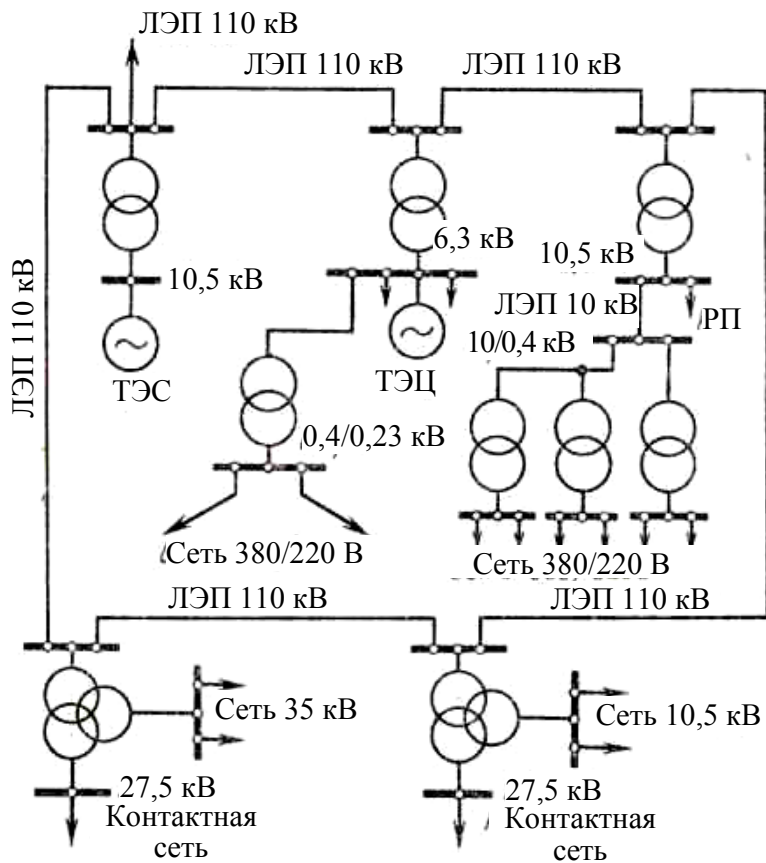


Рис. 32. Принципиальная схема электроэнергетической системы

Для того чтобы передать электрическую энергию на расстояние, ее предварительно преобразовывают, повышая напряжение трансформаторами. У мест потребления электроэнергии напряжение понижают до нужной величины. По начертанию схемы можно понять, что электроэнергия передается по *воздушным линиям* (ЛЭП). Все элементы электроэнергетической системы связаны происходящими в них процессами, и поэтому система при решении ряда задач должна рассматриваться как качественно новое (по сравнению с отдельными элементами) единое образование. К таким задачам можно отнести регулирование частоты и напряжения, определение экономически целесообразных потоков мощностей и т. п. Наряду с системными задачами существуют такие, в которых можно ограничиться рассмотрением отдельных элементов, отвлекаясь от их связей с остальной частью системы. Например, если мощность одного из трансформаторов, подключенных к распределительному пункту (РП), намного меньше мощности других трансформаторов, то при изменениях нагрузки рассматриваемого трансформатора напряжение на шинах РП практически будет оставаться неизменным. Иными словами, можно с достаточной для практических целей достоверностью считать, что трансформатор подключен к источнику с неизменным напряжением, и рассматривать режимы работы трансформатора без учета свойств системы.

Схема, приведенная на рис. 32, представлена в однолинейном изображении. В действительности элементы электроэнергетической системы, работающие на переменном токе, имеют, как правило, трехфазное исполнение. Однако для выявления структуры системы, направлений энергетических потоков, проходящих через ее элементы, и решения многих других вопросов электроэнерге-

тики нет необходимости пользоваться трехфазным изображением системы, а вполне достаточно воспользоваться абстрактным однолинейным ее изображением.

Часть электрической системы, предназначенная для передачи и распределения электрической энергии, содержащая подстанции, линии электропередачи и распределительные устройства, называется *электрической сетью*.

На подстанциях производится преобразование, а иногда и распределение электрической энергии. Под преобразованием электрической энергии понимается изменение величины напряжения и тока в трансформаторах. Электрические сети подразделяют по ряду признаков, таких, как:

1. Напряжение сети. Сети могут быть низковольтными напряжением до 1000 В и высоковольтными напряжением 1000 В и выше.

Элементы современных электрических сетей выполняются на различные величины номинальных напряжений. Номинальное напряжение (ток или какой-либо другой параметр режима) — это такое напряжение, которое соответствует нормальной и экономичной работе элемента электрической системы. Существует шкала стандартных номинальных напряжений: 0,22; 0,38; 0,66; 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150 и 1750 кВ.

2. Род тока. Сети могут быть постоянного и переменного тока. Электрическая энергия может потребляться либо на постоянном, либо на переменном, либо па постоянном и переменном токе. На постоянном токе работают различные электрохимические установки, например ванны для получения различных материалов, электрические двигатели и ряд других потребителей. Среди потребителей электрической энергии, работающих на переменном токе, наиболее распространены асинхронные электрические двигатели. Установки, использующие тепловую энергию, получаемую из электрической, так же как лампы накаливания, обогревательные устройства, могут успешно работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Электрические сети выполняются в основном на переменном токе. Постоянный ток целесообразно использовать при передаче больших мощностей на сверхдальние расстояния.

3. Назначение. Районные сети предназначаются для соединения крупных электрических станций и подстанций и выполняются на напряжение 35 кВ и выше. Сети напряжением 330, 500 и 750 кВ и выше относят к межсистемным связям, так как они в основном предназначаются для соединения крупных электроэнергетических систем. Распределительные сети напряжением ниже 35 кВ, выполняют функции распределения электрической энергии между отдельными потребителями, промышленными предприятиями, сельскохозяйственными нагрузками и т. д.

4. Конструктивное выполнение линий. Линии могут быть воздушными и кабельными.

## **5.2. Принцип работы и конструктивное выполнение основных элементов электроэнергетической системы и системы электроснабжения**

К основным элементам электроэнергетической системы (иногда называемым силовыми элементами) относятся установки, осуществляющие выработку электрической энергии, ее преобразование, передачу на расстояние и потребление.

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

Передача электрической энергии на расстояние осуществляется по воздушным или кабельным линиям. Ее потребление происходит различными механизмами, но, как следует из предшествующего рассмотрения, значительная доля расходуется на приведение в движение производственных механизмов электрическими двигателями переменного тока.

Синхронные генераторы на станциях преобразуют механическую энергию турбин в электрическую. Турбогенераторы тепловых электростанций изготавливаются быстроходными с номинальной частотой вращения 3000 об./мин в соответствии с принятой в России стандартной частотой переменного тока, равной 50 Гц. Большие частоты вращения повышают экономичность работы паровых турбин и позволяют уменьшить габариты турбин и генераторов. Гидрогенераторы, в отличие от турбогенераторов, тихоходные, с различными частотами вращения, определяемыми напором и расходом воды в створе реки. Значительно меньшие частоты вращения роторов гидрогенераторов приводят к относительному увеличению их размеров.

Повышение мощности генераторов может быть получено увеличением токов в обмотках, напряжений и магнитных потоков, что приводит к возрастанию размеров ротора и статора. Однако максимальные размеры ротора ограничиваются допустимыми механическими нагрузками. Поэтому единичные мощности генераторов увеличивают повышением плотности тока в обмотках, что сопровождается значительным выделением в них тепла и, следовательно, необходимостью применять совершенные системы охлаждения. Для охлаждения генераторов используют воздух, водород и воду.

На одном валу с генератором располагается турбина. На тепловых электростанциях турбинные и котельные агрегаты вместе с вспомогательным оборудованием соединяют в независимые блоки. Число блоков на станции обычно достигает 8—12, а мощность станции — 4000—6000 МВт. Место расположения электростанции зависит не только от условий снабжения ее первичными энергоресурсами, но и от наличия в достаточном количестве воды.

Работу главных агрегатов блока обеспечивают вспомогательные машины, для приведения в действие которых расходуется электроэнергия. Мощность, расходуемая на собственные нужды блока, составляет 4—8 % от его мощности.

На тепловых электростанциях электроэнергия расходуется на приготовление топлива, подачу воды в котлы, управление оборудованием и т. п. Расходы

электроэнергии на собственные нужды ГЭС меньше. Они вызываются техническим водоснабжением, управлением гидротехническим и электротехническим оборудованием, охлаждением генераторов и т. п. На крупных ГЭС собственное потребление электроэнергии составляет доли процента от общей выработки.

К механизмам собственных нужд электростанций предъявляют высокие требования в отношении надежности их работы, так как отказы или снижения производительности механизмов могут привести к прекращению выработки электроэнергии крупным блоком и отключению в связи с этим большого количества потребителей электроэнергии. Для механизмов собственных нужд предусматривают резервный источник питания, в качестве которого обычно используют энергосистему.

При пуске блока в работу вначале приводят в движение механизмы собственных нужд. В процессе пуска увеличивают давление и температуру пара, а скорость вращения агрегата доводят до номинальной. Затем подают питание к обмотке возбуждения и генератор электрически соединяют с энергосистемой. Далее постепенно нагружают блок, увеличивая выпуск пара в турбину.

Частые пуски и остановки блоков нежелательны, так как они приводят к повышенному износу основных агрегатов и вспомогательного оборудования, понижают надежность их работы, вызывают дополнительный расход топлива. Обычно блоки непрерывно работают в течение нескольких месяцев. В ночные часы их мощность несколько снижают.

Турбогенераторы вырабатывают электроэнергию обычно при напряжении, не превышающем 24 кВ (на генераторах Печорской ГРЭС — напряжение 18,9 кВ). Чтобы передать электроэнергию на расстояние, необходимо повысить напряжение до 110—1150 кВ и выше. Для этого в блоки включают повышающие силовые трансформаторы. Электростанции в большинстве случаев выдают электроэнергию на двух, иногда на трех напряжениях, на которых производится распределение электроэнергии между отходящими линиями электропередачи.

Имеющиеся на ГЭС водохранилища позволяют регулировать расход воды, а следовательно, и мощность станций таким образом, чтобы обеспечить по возможности равномерную работу тепловых электростанций в системе. При этом в системе в целом достигается наилучший экономический эффект.

В период времени, когда нагрузка в системе уменьшается, вода аккумулируется в водохранилище ГЭС. Агрегаты работают с минимальной мощностью или останавливаются. Как только нагрузка резко возрастает, например, в утренние или вечерние часы «пик», агрегаты ГЭС работают на полную мощность; расход воды в эти часы может превышать ее приток. Процесс пуска и набора мощности гидроагрегатом полностью автоматизирован и производится всего за несколько минут.

Гидравлические турбины хорошо приспособлены к переменному режиму работы. За период регулирования, который зависит от объема водохранилища, расход воды ГЭС равен ее естественному притоку. Период регулирования может составлять сутки, недели и месяцы. Во время паводков, чтобы уменьшить холостой сброс воды через плотину, ГЭС работают круглосуточно с максимальной рабочей мощностью.

Из-за большого объема строительных работ удельная стоимость ГЭС (тыс. руб./МВт) значительно больше, чем у тепловых станций, но зато себестоимость вырабатываемой электроэнергии значительно ниже.

Кроме основных, в электроэнергетической системе имеются различные дополнительные устройства, предназначенные для регулирования свойств основных элементов: всевозможные устройства автоматики, коммутационные аппараты, компенсирующие устройства, изменяющие сопротивления и проводимости линий электропередачи, и т. п. Дополнительные устройства придают электрическим системам качественно новые свойства, повышают надежность их работы, облегчают управление, улучшают качество электроэнергии. Эти устройства вместе с основными элементами составляют органическое единство — *электроэнергетические системы*.

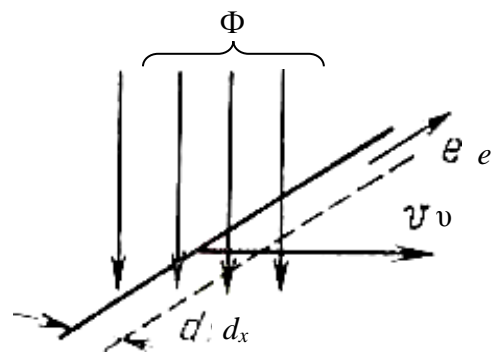
По мере развития техники, расширения и углубления научных знаний совершенствовались конструкции элементов электроэнергетических систем и улучшались характеристики используемых материалов. Принципы работы элементов электроэнергетических систем основаны на использовании законов электротехники.

**Синхронный генератор.** Принцип работы таких генераторов основан на законе электромагнитной индукции Фарадея, который в наиболее общем виде устанавливает, что ЭДС определяется скоростью изменения магнитного потока:

$$e = -d\Phi/dt.$$

Появление ЭДС при движении проводника в магнитном поле иллюстрируется рис. 33.

Машинный генератор переменного тока состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора. Обычно ротор выполняется в виде электромагнитов, обмотки которых называются обмотками возбуждения. Эти обмотки получают питание от источника постоянного тока через кольца и щетки. В пазах статора, выполненного из тонких стальных листов, находятся проводники, соединенные между собой последовательно (рис. 34).



**Рис. 33.** Наведение ЭДС в подвижном проводнике

При вращении ротора в одном проводнике индуцируется ЭДС:

$$e_1 = Blv.$$

Длина проводника  $l$  и скорость вращения ротора  $v$  не изменяются, а магнитная индукция  $B$  изменяется по величине и направлению. Для получения синусоидальной ЭДС необходимо, чтобы распределение магнитной индукции по окружности было синусоидальным. Так как проводники соединены последовательно, то величина ЭДС на зажимах  $ab$  (рис. 35) равна сумме ЭДС, наводимых в каждом проводнике. За один оборот ротора в каждом проводнике проходит два полных периода изменения ЭДС (рис. 36), так как на роторе расположены две пары полюсов.



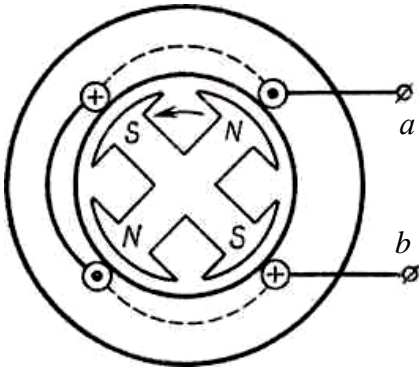


Рис. 34. Условная схема синхронного генератора

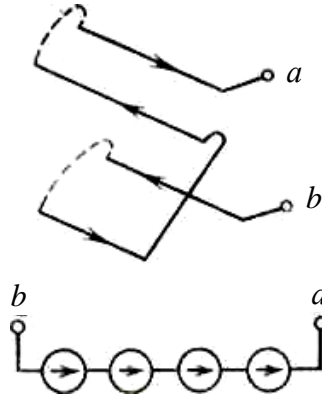


Рис. 35. Определение ЭДС в обмотках генератора

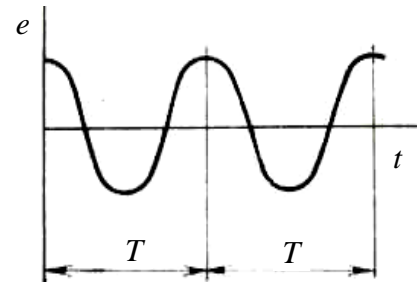


Рис. 36. Изменение ЭДС генератора во времени при одном повороте ротора генератора

Частота переменного тока при частоте вращения ротора  $n$  (об./мин) и числе пар полюсов  $p$  определяется по формуле

$$f = pn/60.$$

Трехфазный синхронный генератор отличается от однофазного тем, что на статоре его расположены три обмотки; каждая из них сдвинута в пространстве относительно другой на угол  $120^\circ$  (рис. 37). При вращении ротора, выполненного в виде электромагнита, в проводниках, расположенных на статоре, будут наводиться ЭДС. ЭДС в электрически связанных проводниках складываются. Например, при вращении ротора против часовой стрелки в проводнике 1 (см. рис. 37) ЭДС будет направлена от плоскости чертежа вглубь, а в проводнике 4 — наружу. В сумме эти две ЭДС определяют величину фазной ЭДС  $e_A$ , направленную от зажима  $x$  к зажиму  $A$ . Аналогично определяется ЭДС в других обмотках. Если в воздушном зазоре магнитная индукция распределена по синусоидальной кривой, то в фазах  $B$  и  $C$  ЭДС сдвинуты на угол  $120^\circ$ . В фазе  $B$  ЭДС отстает на  $120^\circ$  от ЭДС фазы  $A$ :

$$e_B = e_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ).$$

ЭДС в фазе  $C$  отстает на  $240^\circ$ :

$$e_C = e_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ).$$

ЭДС в фазе  $A$ :

$$e_A = e_m \cdot \sin \omega t.$$

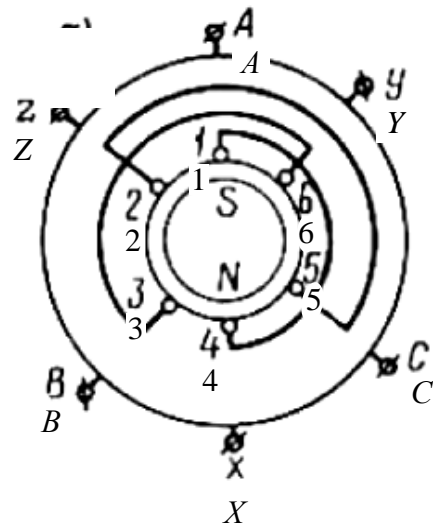


Рис. 37. Схема обмоток трехфазного синхронного генератора

### Синхронный двигатель.

Обмотками статора в двигателе создается вращающееся магнитное поле, которое для наглядности можно рассматривать в виде вращающегося магнита. Подвижный ротор выполняется как постоянный магнит у малых двигателей. При совпадении осей магнитных полей статора и ротора (рис. 38, а) двигатель не развивает вращающего момента. Если ось магнитного поля ротора смещается на угол  $\delta$  (рис. 38,

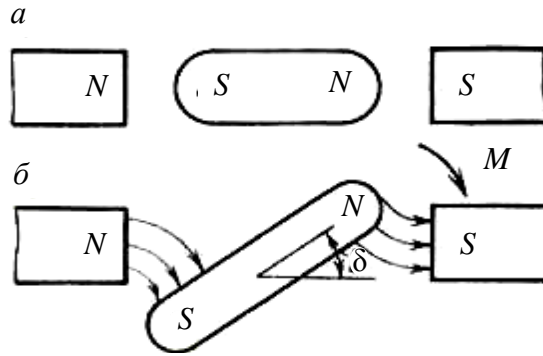


Рис. 38. Принцип работы синхронного двигателя:  
а, б — совпадение и несовпадение направлений магнитных полей статора и ротора соответственно

б), то в соответствии с правилом Фарадея силовые линии магнитного поля стремятся сократиться по длине и вызывают появление вращающего момента.

**Асинхронный двигатель.** В конструктивном отношении асинхронный двигатель представляет собой неподвижный статор, в обмотках которого трехфазным током создается вращающееся магнитное поле, и подвижный ротор, выполненный из электропроводящего материала. На роторе обычно располагают замкнутые обмотки. При вращении магнитного поля (рис. 39) подвижный проводящий диск (или цилиндр) также будет вращаться, увлекаясь магнитным полем. Такой опыт был проделан знаменитым французским физиком и астрономом **Араго**. Вращающий момент в двигателе возникает при взаимодействии наведенных токов ротора и магнитного поля статора. Токи в роторе протекают под действием ЭДС, которые появляются при пересечении магнитным полем статора замкнутых проводящих контуров ротора в соответствии с законом электромагнитной индукции. Следовательно, для работы асинхронного двигателя необходимо, чтобы скорости вращения ротора и магнитного поля статора были различны.

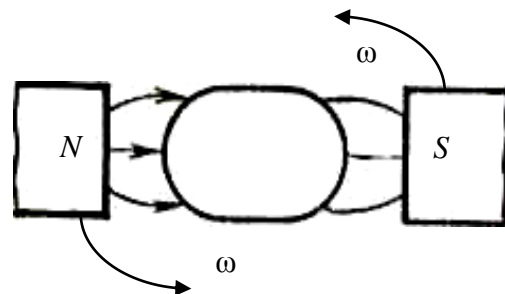


Рис. 39. Принцип работы асинхронного двигателя

Относительная разность между этими скоростями называется *скольжением*:

$$s = (\omega_{ст} - \omega_{рот})/\omega_{ст}.$$

Величина вращающего момента, развиваемого ротором, зависит от скольжения. При одинаковых частотах вращения полей статора и ротора ( $s = 0$ ) ЭДС в роторе не индуцируется, следовательно, токи в нем отсутствуют и вращающий электромагнитный момент равен нулю. При неподвижном роторе ( $s = 1$ ) двигатель для того чтобы быть запущенным в работу должен развивать пусковой момент, больше механического.

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

Трансформатор был изобретен в 1876 г. **П. Н. Яблочковым**. Простейший трансформатор состоит из железного магнитопровода, на котором расположены две обмотки с различными числами витков  $w_1$  и  $w_2$  (рис. 40). Изменяющийся в сердечнике магнитный поток  $\Phi$  наводит в катушках ЭДС, величины которых пропорциональны числам витков:

$$e_1 = -w_1 d\Phi/dt;$$

$$e_2 = -w_2 d\Phi/dt.$$

ЭДС, индуцируемые в катушках, практически равны напряжениям ( $e_1 \approx u_1$ ,  $e_2 \approx u_2$ ).

Потери мощности в трансформаторе невелики и с достаточной точностью можно считать, что мощность, подводимая к первичной обмотке, равна мощности на выходе вторичной обмотки  $P_1 \approx P_2$ . Если напряжение на выводах вторичной обмотки увеличить, например, в 100 раз, то во столько же раз уменьшится величина тока. Снижение величины тока существенно для передачи электрической энергии на расстояние, так как позволяет значительно уменьшить потери мощности, пропорциональные квадрату тока. Примерная схема электропередачи, в которой используется высокое напряжение, показана на рис. 41. В начале линии электропередачи с помощью повышающего трансформатора увеличивается напряжение до 110 кВ. При этом напряжении электроэнергия передается на расстояние. В конце электропередачи энергия вновь преобразуется, причем напряжение уменьшается до величины 10 кВ, а затем и до более низкой величины — 380/220 В. Повышение напряжения линии электропередачи до 110 кВ позволяет в приведенной схеме в 500 раз уменьшить величину тока в линии по сравнению с током, притекающим в нагрузку.

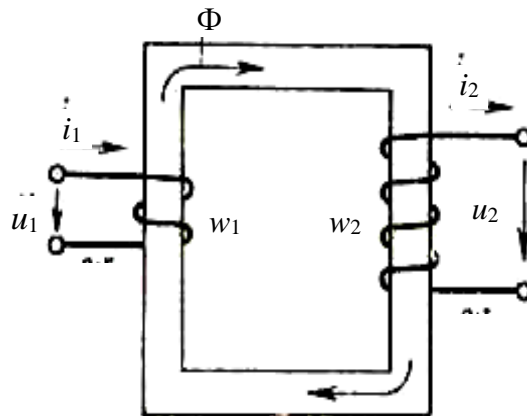


Рис. 40. Схема трансформатора

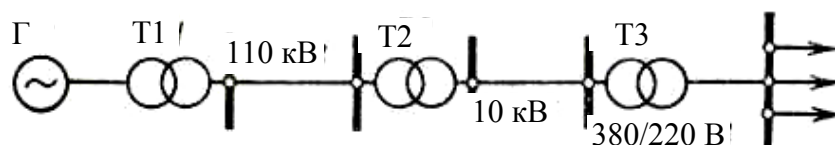


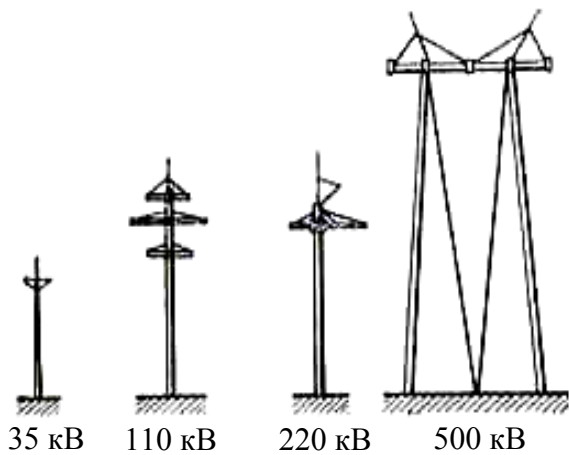
Рис. 41. Принципиальная схема электропередачи

К одному из основных параметров режима электроэнергетической системы относится частота. В энергетических системах России и Европы принята стандартная частота переменного тока  $f = 50$  Гц. В США частота переменного тока  $f = 60$  Гц. На некоторых автономных установках, самолетах и кораблях используются более высокие частоты (400 Гц и выше), что позволяет уменьшить габариты электрических машин. Значения частоты, меньшие 50 Гц, применяются сравнительно редко. Для многих потребителей и отраслей экономики более целесообразно использование нестандартной частоты. Значение частоты выбирается путем проведения технико-экономических расчетов. Для некоторых потребителей возможные значения частот ограничиваются техническими условиями, определяющими их работоспособность. Например, тепловая инерция ламп накаливания позволяет применять частоту не ниже 25 Гц, при которой становится заметной пульсация света. Диапазон звуковых частот — от 20 Гц до 20 кГц.

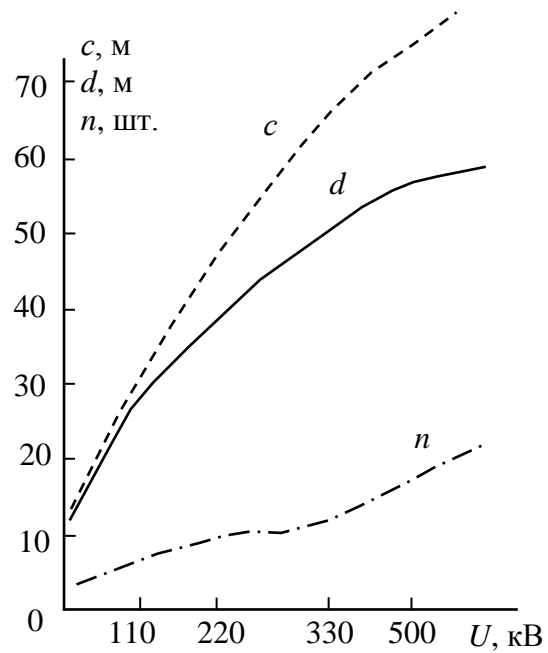
**Линии электропередачи.** По конструктивному выполнению линии электропередачи подразделяются на воздушные и кабельные. Металлические провода воздушных линий подвешиваются к опорам через изоляторы с помощью специальных зажимов. Опоры выполняются деревянными, металлическими и железобетонными в зависимости от назначения линий, используемого напряжения, экономических соображений и т. п. Некоторые конструкции опор предназначены для поддержания проводов; они воспринимают только вертикальные нагрузки веса проводов и называются промежуточными. Существуют конструкции опор, воспринимающие горизонтальные нагрузки тяжения проводов; они называются анкерными. Кроме того, выполняются опоры специального назначения для перевода линии через водные препятствия и горные ущелья, для изменения направления линии и т. д. На рис. 42 и 43 приведены виды опор разных конструкций и их конструктивные характеристики ( $c$  — ширина полосы отчуждения трассы,  $d$  — высота опоры,  $n$  — количество изоляторов в гирляндах). Следует заметить, что рост напряжений электропередач тесно связан с общим ростом мощности энергетической системы нашей страны, развитием ее промышленности и необходимостью передачи все большей энергии и мощности на все возрастающее расстояние.

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

Линия передачи с промежуточными и анкерными опорами показана на рис. 44. Промежуточные опоры легче, а, следовательно, и дешевле анкерных; применение промежуточных опор позволяет выполнять линии наиболее экономично. Однако чрезмерно большое количество промежуточных опор снижает надежность линии, так как при повреждениях, например, обрывах проводов, будут выходить из строя большие участки линий. Анкерные опоры ограничивают размеры этих повреждений.



**Рис. 42.** Общий вид опор различного напряжения



**Рис. 43.** Конструктивные характеристики опор:  $c$  — ширина полосы отчуждения трассы,  $d$  — высота опоры,  $n$  — количество изоляторов в гирляндах



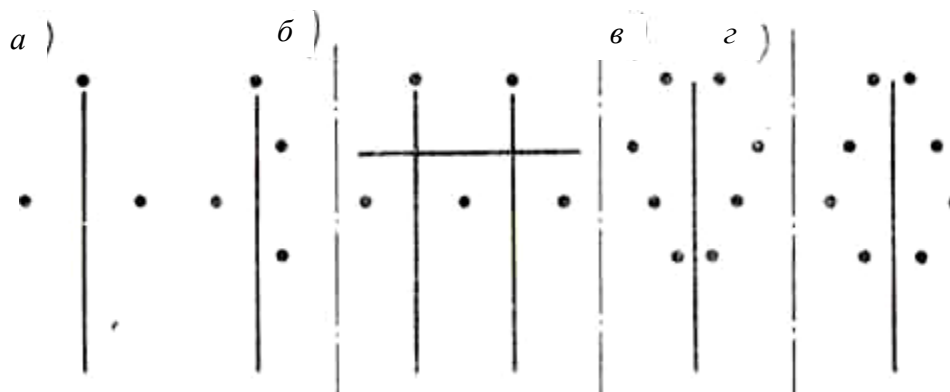
**Рис. 44.** Общий вид воздушной линии электропередачи

Провода на линиях могут располагаться различным образом (рис. 45). При подвеске шести рабочих проводов опоры называются *двухцепными*. Кроме рабочих проводов, предназначенных для передачи электроэнергии, на опорах подвешивают грозозащитные тросы.

При отключении линий электропередач между контактами возникает мощная электрическая дуга, для гашения которой используются специальные устройства. Процесс отключения линий должен проходить как можно быстрее, чтобы обеспечить высокую надежность электрических систем, например при ликвидации аварий. Современные высоковольтные выключатели способны отключать линии за 0,12—0,15 с. В будущем предполагается повысить быстродействие выключателей.

В кабельных линиях изолированные друг от друга провода заключены в защитные оболочки. Обычно кабельные линии прокладывают в земле непосредственно или в специальных кабельных каналах. В настоящее время преобладают

воздушные линии переменного тока, хотя наблюдается тенденция к более широкому применению кабельных линий.



**Рис. 45.** Расположение проводов па опорах:  
*а* — треугольником; *б* — горизонтальное; *в* — обратной елкой; *г* — бочкой

Передача электроэнергии на большие расстояния в настоящее время стало возможной кабелями 110—220 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена (российское обозначение — СПЭ) Они в полной мере отвечают основным требованиям — надежности, функциональности и низким затратам на эксплуатацию, а также требованию служить долгие годы. Благодаря своей конструкции, современной технологии изготовления и совершенным материалам кабели высокого напряжения с СПЭ изоляцией обладают наилучшими электрическими и механическими свойствами и самым длительным сроком службы среди других типов кабеля, выпускаемых серийно. Срок службы кабеля 110 кВ без пробоев составляет как минимум 50 лет. По пропускной способности эти кабели значительно превосходят кабели с бумажной и маслонаполненной изоляцией: по международным стандартам кабель рассчитан на работу в длительно допустимом режиме при температуре жилы 90 °С, а в послеаварийном режиме и при более высокой температуре, в то время как бумажно-масляные кабели допускают нагрев лишь до 70 °С. Достоинством кабеля с СПЭ изоляцией является его экологическая безопасность. Отсутствие жидких включений обеспечивает сохранение чистоты окружающей среды, что позволяет прокладывать кабель на любых объектах и эксплуатировать кабельные линии практически без обслуживания.

Благодаря преимущественно одножильной конструкции кабель значительно легче прокладывать и монтировать даже в самых тяжелых условиях. Преимущества усовершенствованной конструкции и современной технологии производства кабелей с СПЭ изоляцией обусловили его повсеместное применение в развитых странах и заметное сокращение использования других типов кабеля. В энергетике России кабели с СПЭ-изоляцией также получают все большее распространение. Их преимущества перед традиционными кабелями у большинства специалистов уже не вызывают сомнений. Так, подводный кабельный переход через Керченский пролив из Краснодарского края в Крым включает в себя четыре кабельные линии напряжением 220 кВ с СПЭ изоляцией: три рабочих и один резервный.



### 5.3. Передача энергии на расстояние

Необходимость сооружения ЛЭП объясняется выработкой электроэнергии в основном на крупных электростанциях, удаленных от потребителей — относительно мелких приемников, распределенных на обширных территориях. Электростанции размещаются с учетом совокупного влияния большого числа факторов: наличия энергоресурсов, их видов и запасов; возможности транспортировки; перспектив потребления энергии в том или ином районе и т. п. Передача электрической энергии на расстояние дает ряд преимуществ, позволяя:

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

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

ЛЭП относятся к категории ответственных сооружений, надежная работа которых обеспечивается применением различных компенсирующих устройств и установок автоматического регулирования и управления. Для воздушных ЛЭП переменного тока приближенно считается, что максимальная мощность, которую можно по ним передать, пропорциональна квадрату напряжения и обратно пропорциональна длине передачи. Поэтому в развитии передач электрической энергии на расстояние наблюдается тенденция к увеличению напряжения как к главному средству повышения пропускной способности. Рост напряжения давал возможность увеличивать протяженности ЛЭП и передаваемые мощности. Так, в 20-е гг. прошлого столетия электроэнергия передавалась на максимальные расстояния порядка 100 км, к 30-м гг. эти расстояния увеличились до 400 км, в 60-е гг. длина ЛЭП достигла 1000—1200 км, сегодня с применением напряжения 750 кВ дальность ЛЭП достигает 2000 км и более. ЛЭП напряжением более 1000 кВ сегодня не используются по экономическим и экологическим причинам, поэтому реально ЛЭП ограничены дальностью 3000 км.

Существенное значение для повышения пропускной способности ЛЭП достигается также за счет изменения конструкции ЛЭП, введения различных дополнительных компенсирующих устройств, при которых влияние параметров, ограничивающих передаваемую мощность, оказывается уменьшенным. Например, на ЛЭП напряжением 330 кВ и выше расщепляют провода в каждой фазе на несколько электрически связанных между собой проводников, при этом существенно улучшаются параметры линий (уменьшается ее реактивное сопротивление); применяют так называемую последовательную компенсацию — включение в линию конденсаторов и т. п.

При сооружении ЛЭП постоянного тока, имеющих большие предельные мощности, необходимо осуществлять прямое преобразование переменного тока в постоянный в начале линии и обратное преобразование постоянного тока в переменный в конце линии, что вызывает определенные трудности технического и экономического характера.

Существует принципиальная возможность беспроводной ЛЭП с помощью электромагнитных волн или высокочастотных колебаний, направляемых по волноводам. Однако их практическая реализация в промышленности в настоящее время неприемлема из-за низкой их эффективности.

Для передачи электрической энергии могут использоваться сверхпроводящие линии, в которых значительно может быть понижено напряжение. Эффект, близкий к сверхпроводимости, достигается глубоким охлаждением проводников. В этом случае ЛЭП называют *криогенными*. Сверхпроводников было обнаружено немало. Самая высокая критическая температура, принадлежащая ниобию, не превышала 10 К. Возможности сверхпроводимости, таким образом, резко ограничивали дороговизна и сложность установок, поддерживающих сверхнизкие температуры.

Альтернативой передачи на расстояние электрической энергии переменным и постоянным токами от электростанций к потребителям служит перевозка топлива. Сравнительный анализ возможных вариантов энергоснабжения потребителей показывает, что уголь высокой калорийности (более 4000 ккал/кг) обычно целесообразно перевозить по железной дороге (при условии ее существования). Во многих случаях при использовании на электростанции природного газа и нефти оказывается предпочтительней передача их по трубопроводам. При выборе способа передачи энергии на расстояние необходимо учитывать большой комплекс вопросов, таких, как усиление электрической системы при сооружении электропередачи, электроснабжение потребителей, расположенных вблизи линий, увеличение загрузки железных дорог и т. п.

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

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

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

Исторически одними из первых практических работ по передаче электрической энергии на расстояние, подтвердивших принцип обратимости электрической и других видов энергии, были работы, выполненные в 1873 г. французским инженером **Фонтеном**. В его установке постоянный ток от генератора передавался на расстояние 1 км к электродвигателю центробежного насоса. В 1875 г. русский изобретатель **Ф. А. Пироцкий** проводил опыты по передаче



электрической энергии на расстояние примерно 1 км по рельсам железной дороги. Опытные ЛЭП были созданы приблизительно в те же годы в Англии и Америке. Первая ЛЭП, рассчитанная на длительную эксплуатацию, была построена для электрического освещения в 1876 г. П. Н. Яблочковым. Широкое использование электрической энергии в промышленности началось только после создания экономически выгодного и относительно простого способа передачи электрической энергии. Этому способствовали работы М. О. Доливо-Добровольского по применению трехфазного переменного тока и усовершенствованию трансформаторов.

В бывшем СССР широкое строительство ЛЭП было начато в связи с выполнением плана ГОЭЛРО. В 1922 г. была построена первая ЛЭП напряжением 110 кВ от Каширской ГРЭС до Москвы. По мере повышения напряжения ЛЭП и увеличения их протяженности происходило объединение отдельных энергетических систем. В 1926 г. ЛЭП 110 кВ были соединены Шатурская и Каширская ГРЭС, что послужило началом создания Московской районной энергосистемы. После освоения напряжения 220 кВ стало возможным создание в стране объединенных энергосистем Центра, Юга и Урала. Новый этап в развитии техники передачи электрической энергии наступил после сооружения ЛЭП напряжением 500 кВ. В 1967 г. в нашей стране впервые в Европе была введена в эксплуатацию опытно-промышленная электропередача напряжением 750 кВ Конаковская ГРЭС — Москва. Ее пропускная способность составила величину 1250 МВт.

#### **5.4. Преимущества объединения энергетических систем**

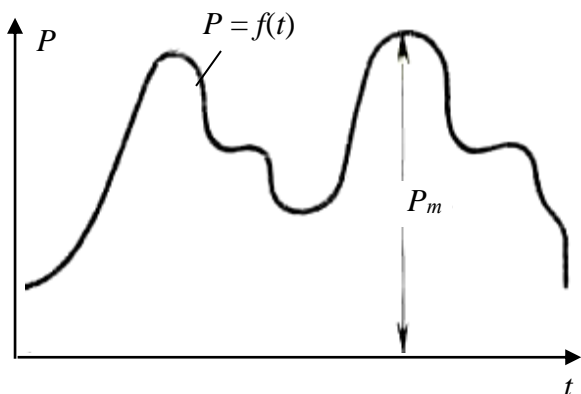
На первой стадии развития электроэнергетика представляла собой совокупность отдельных электростанций, каждая из которых через собственную сеть передавала электроэнергию к потребителям, не связанным между собой. В дальнейшем стали создаваться энергетические системы, в которых электрические станции соединялись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

В настоящее время в нашей стране функционирует Единая энергетическая система России. Энергосистемы всех стран Западной Европы, включая Англию и Скандинавские страны, связаны между собой линиями электропередачи. Электростанции США также соединены линиями электропередачи со станциями Канады и Мексики.

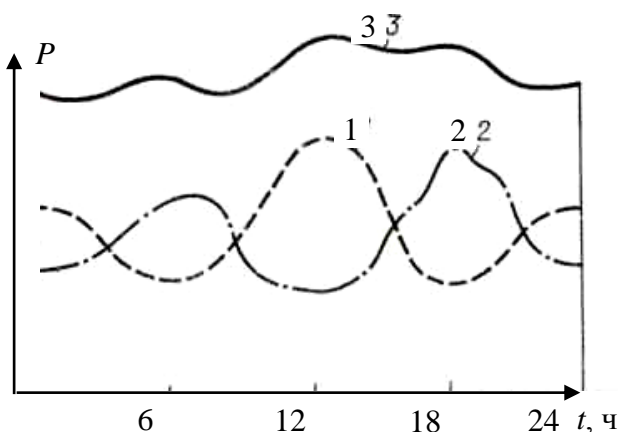
Общее стремление к объединению энергетических систем вызвано огромными преимуществами крупных систем по сравнению с отдельными станциями. Создание объединенных энергетических систем позволяет:

1. Уменьшить суммарную установленную мощность электростанций. Большая совокупность потребителей электрической энергии характеризуется графиком нагрузки  $P = f(t)$  (рис. 46). Максимум суммарной нагрузки  $P_m$  энер-

госистемы меньше, чем сумма максимумов нагрузок отдельных потребителей. Это объясняется несовпадением отдельных максимумов из-за различных условий работы потребителей. В энергетических системах, охватывающих обширные географические районы, несовпадение максимумов вызвано расположением нагрузок в различных часовых поясах. Например, объединение потребителей, размещенных в европейских и сибирских районах России, позволяет получить более равномерный суммарный график нагрузки по сравнению с графиком нагрузок отдельных потребителей (рис. 47). Установленная мощность электростанций в системе должна быть достаточной для покрытия максимальных нагрузок потребителей. Кроме того, исходя из требований, предъявляемых к надежности работы систем, должна предусматриваться резервная мощность генераторов. При параллельной работе электрических станций резервная мощность может быть уменьшена. Покажем это на простом примере. Пусть две электростанции, каждая из которых имеет по четыре агрегата, работают изолированно. Тогда одна станция может вырабатывать электрическую энергию, используя  $3/4$  установленной мощности, так как один агрегат должен находиться в резерве. При соединении двух электростанций общей сетью может быть использовано  $7/8$  установленной мощности. В первом случае необходимая резервная мощность составляет 25 %, а во втором случае она может быть в два раза меньше — 12,5 %.



**Рис. 46.** Примерный вид графика суточного изменения мощности



**Рис. 47.** Эффект совмещения графиков нагрузок потребителей, расположенных в разных часовых поясах: 1, 2 — графики нагрузок отдельных подсистем; 3 — график нагрузки объединенной системы

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

Рассмотрим преимущества объединения ТЭС с ГЭС на простом примере. Пусть мощности каждой станции равны по 100 МВт. Каждая станция выраба-

тывает энергию для своего района, причем станции работают изолированно. Мощности нагрузок в каждом районе также равны 100 МВт. Потребности в электроэнергии за сутки у потребителей каждого района по 1600 МВт · ч. Далее предположим, что по расходу воды ГЭС за сутки может выработать только 1200 МВт · ч. Следовательно, дефицит электроэнергии в районе с ГЭС составит 400 МВт · ч. ТЭС за сутки может выработать 2400 МВт · ч, т. е. в районе с ТЭС могут быть дополнительно использованы 800 МВт · ч. При объединении на параллельную работу ТЭС и ГЭС можно, заставив ТЭС вырабатывать 2000 МВт · ч электроэнергии, полностью удовлетворить спрос всех потребителей. ГЭС более пригодны для покрытия пиковой части графиков суммарной нагрузки энергосистем (рис. 48).

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

4. Увеличить единичные мощности агрегатов. С возрастанием единичных мощностей агрегатов  $P_i$  улучшаются их технические характеристики и снижается удельная стоимость ( $c$ ) выработки электроэнергии (рис. 49).

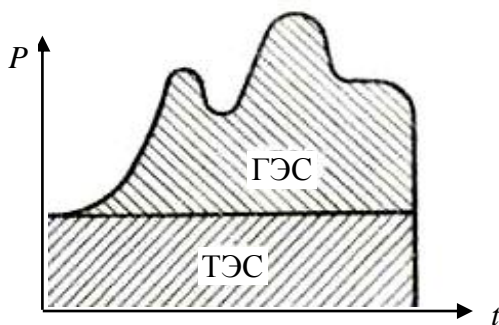


Рис. 48. Целесообразный режим работы ТЭС и ГЭС

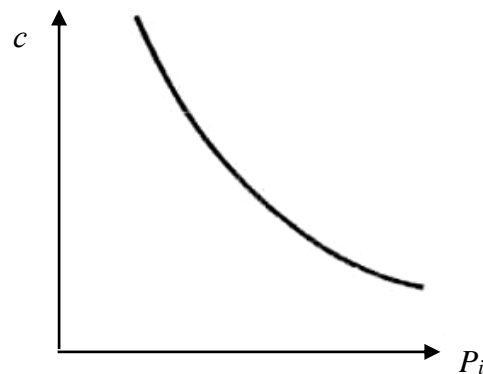


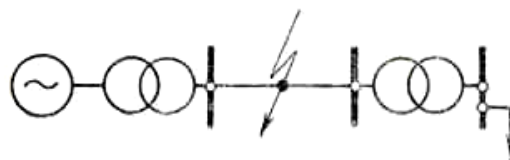
Рис. 49. Влияние мощности агрегата на удельную стоимость выработки электроэнергии

5. Повысить надежность электроснабжения потребителей. Отдельные элементы энергетической системы (генераторы, трансформаторы, ЛЭП и т. д.) в результате аварий могут выходить из строя. В этих случаях часть потребителей может потерять питание. В схеме, показанной на рис. 50, при возникновении трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи полностью прекращается подача электроэнергии потребителям. Надежность энергетической системы оценивается вероятностными показателями, так как отказы оборудования появляются под действием случайных факторов. С одной стороны, повышение надежности электроснабжения сопровождается увеличением стоимо-

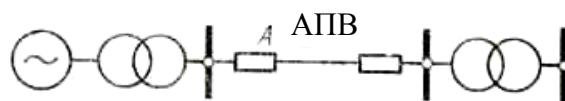
сти систем, с другой стороны, недостаточная надежность приводит к ущербу от недоотпуска электроэнергии потребителям. Поэтому целесообразные показатели надежности электроэнергетических систем должны устанавливаться с учетом этих факторов.

Применение устройств релейной защиты и автоматики является эффективным средством повышения надежности. Релейной защитой называется система устройств, которые производят отключение поврежденных элементов или частей систем и локализацию аварий. К числу автоматических устройств относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического ввода резерва (АВР) мощности. Устройства АПВ предназначены для ликвидации «переходящих» повреждений, например коротких замыканий. При появлении дугового короткого замыкания (рис. 51) устройством АПВ создается бестоковая пауза, в течение которой дуга гаснет и восстанавливаются диэлектрические свойства воздушного промежутка.

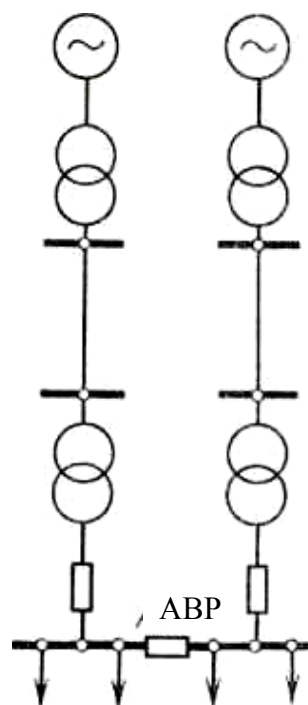
Затем вновь автоматически подается напряжение на ЛЭП, после чего она может продолжать успешную работу. Принцип работы АВР можно пояснить рис. 52. При повреждении одного из трансформаторов автоматически производится его отключение, а оставшиеся без электроэнергии потребители автоматически подключаются к исправному трансформатору.



**Рис. 50.** Схема прекращения подачи электроэнергии потребителям при коротком замыкании



**Рис. 51.** Схема повышения надежности энергоснабжения с помощью трехфазного АПВ линии



**Рис. 52.** Схема повышения надежности энергоснабжения потребителей с помощью АВР

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте понятие электроэнергетической системы.
2. Что понимается под установившимся и переходным режимом?
3. Перечислите основные параметры, характеризующие режим работы электроэнергетической системы.
4. Какие основные элементы относятся к электроэнергетической системе?
5. Приведите основные обозначения основных элементов электроэнергетической системы.
6. Каково назначение высоковольтных выключателей и линий электропередачи?

7. Каким образом, с точки зрения конструкции, выполняются линии электропередачи?
8. Какие синхронные генераторы устанавливаются на разных типах станций?
9. Перечислите особенности синхронных генераторов, скорости вращения, номинальные напряжения.
10. Приведите обозначения двух- и трехобмоточного трансформатора и кабельной линии.
11. Каково основное назначение трансформаторов в электроэнергетической системе?
12. Приведите принцип работы трансформатора.
13. В чем принципиальное отличие синхронного и асинхронного двигателя?
14. Каково назначение воздушных линий электропередачи?
15. Приведите типы опор воздушных линий, расположение проводов на них.
16. В чем состоят основные преимущества передачи электрической энергии на расстояние?
17. Приведите две основные тенденции развития энергосистем в России и развитых странах мира.
18. Что понимается под Единой энергетической системой России?
19. В чем состоят преимущества объединения энергетических систем?
20. Почему объединение электростанций может привести к снижению установленной мощности генераторов по условию надежности?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная учебная литература

1. **Лысаков, А. А.** Электротехнология. Курс лекций : учеб. пособие / А. А. Лысаков ; Университетская библиотека online (ЭБС). — Ставрополь, 2013. — 124 с. — Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=277459](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=277459).
2. **Фролов, Ю. М.** Основы электроснабжения : учебник для студентов вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин ; Издательство «Лань» (ЭБС). — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 480 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4544/>.
3. **Чукреев, Ю. Я.** Электрические подстанции, сети и системы : учебное пособие для студентов направлений бакалавриата 110300 «Агроинженерия» (2-е поколение), 110800 «Агроинженерия» (3-е поколение) и специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» всех форм обучения : самостоятельное электронное издание / Ю. Я. Чукреев. — Электрон. текстовые дан. (1 файл в формате pdf: 1,55 Мб). — Сыктывкар : СЛИ, 2013. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000642.pdf>.

### Дополнительная учебная и учебно-методическая литература

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология : учебник для студентов вузов / А. А. Багаев, А. И. Багаев, Л. В. Куликова ; Издательство АГАУ. — Барнаул : АГАУ, 2006. — 320 с.
2. **Болотов, А. В.** Электротехнологические установки / А. В. Болотов, Т. А. Шепель. — Москва : Высш. шк., 1988. — 366 с.
3. **Веников, В. А.** Введение в специальность: Электроэнергетика : учеб. пособие для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников, Е. В. Путятин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высш. шк., 1988. — 239 с.