



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Б.С. Заварыкин, С.В. Кузьмин, В.М. Соломенцев

# ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Учебное  
пособие

УМО

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ  
И ГВОТЕХНОЛОГИЙ  
ГОРНОЕ ДЕЛО



Борис Заварыкин

**История электрификации  
горной промышленности**

«СФУ»

2014

УДК 622:621.31(09)(07)

ББК 33.421я73

### **Заварькин Б. С.**

История электрификации горной промышленности /  
Б. С. Заварькин — «СФУ», 2014

Рассмотрены основные этапы развития теоретических основ электротехники и создания электрической техники. Приведены краткая характеристика горного производства и сведения из истории электрификации горного производства. Рассмотрена энергосистема и элементы, входящие в нее. Изложены основные принципы электроснабжения и схемы электроснабжения горных предприятий, особенности эксплуатации и требования, предъявляемые к элементам электроснабжения на горных работах. Описаны основные электросетевые устройства, входящие в эти схемы, их достоинства и недостатки. Рассмотрены новые электросетевые устройства, которые находят широкое применение на горных работах в настоящее время. Приведена краткая характеристика основных потребителей электроэнергии. Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки (специальности) «Горное дело» (специализация «Электрификация и автоматизация горного производства»).

УДК 622:621.31(09)(07)

ББК 33.421я73

© Заварькин Б. С., 2014

© СФУ, 2014

# Содержание

Основные сокращения	5
Предисловие	7
Введение	8
1. Краткие этапы развития электрификации и горной промышленности	11
1.1. История электрификации	11
1.2. История горной промышленности	13
2. Энергосистема	19
2.1. Общие сведения	19
2.2. Требования, предъявляемые к системе электроснабжения предприятия	20
2.3. Электрические станции	23
2.3.1. История развития электрических станций	23
2.3.2. Современные источники питания	24
2.4. Возобновляемые источники энергии	29
2.5. Невозобновляемые источники энергии	30
3. Электроснабжение горных работ	40
3.1. Особенности эксплуатации электрооборудования на открытых горных работах	40
Конец ознакомительного фрагмента.	42

# **Б.С. Заварыкин, С.В. Кузьмин, В.М. Соломенцев**

## **История электрификации горной промышленности**

### **Основные сокращения**

- АЭС – атомная электростанция  
АВН – аппараты высокого напряжения  
АВР – автоматическое включение резерва  
ВН – высшее напряжение  
ВЛ – воздушная ЛЭП  
ВИЭ – возобновляемый источник питания  
ВЛЭП – воздушная линия электропередачи  
ВЧ – высокой частоты  
ГЭУ – гидроэнергетическая установка  
ГЭС – гидроэлектрическая станция  
ГАЭС – гидроаккумулирующая станция  
ГТЭС – геотермальные станции  
ГЛЭС – гелиоэлектростанции  
ГПП – главная понизительная подстанция  
ДЭС – дизельная электростанция  
ДРЛ – дуговая ртутная лампа  
ДРИ – металлогенная лампа  
ДНаТ – дуговая, натриевая, трубчатая лампа  
ЕПБ – единые правила безопасности  
ЗРУ – закрытое распределительное устройство  
КРУ – комплектное распределительное устройство  
КТП – комплектная трансформаторная подстанция  
КРП – карьерный распределительный пункт  
КЛ – кабельная линия  
КРУН – комплектное распределительное устройство наружной установки  
КПД – коэффициент полезного действия  
КЗ – короткое замыкание  
ЛЭП – линия электропередачи  
МТП – мачтовая трансформаторная подстанция  
МТЗ – максимально – токовая защита  
НН – низшее напряжение  
ОРУ – открытое распределительное устройство  
ОПП – одиночный распределительный пункт  
ПКТП – передвижная комплектная трансформаторная подстанция  
ПТЛА – передвижная трансформаторная подстанция (автомобильная)  
ПСКТП – передвижная комплектная трансформаторная подстанция с сухим трансформатором  
ПЭС – приливные электростанции

ПУПП – передвижная участковая трансформаторная подстанция  
ПУЭ – правила устройства электроустановок  
ПБ – правила безопасности  
ПКО – передвижная комплектная осветительная подстанция  
ПРП – передвижной распределительный пункт  
ПП – приключательный пункт  
ППП – передвижной приключательный пункт  
ПКРН – передвижная комплектная распределительная наружная  
ПТБ – правила технической безопасности  
ПТЭ – правила технической эксплуатации  
РП – распределительный пункт  
РУ – распределительное устройство  
РВНО – распределительное высокого напряжения одиночное  
РВЛ – рудничный взрывобезопасный люминесцентный  
СКТП – сборно-разборная трансформаторная подстанция  
СРВИ – светильник рудничный взрыво-искробезопасный  
ТЭЦ – теплоцентраль  
ТЭС – теплоэлектростанция  
ТСН – трансформатор собственных нужд  
ТН – трансформатор напряжения  
УПП – участковая понизительная подстанция  
ЦПП – центральная понизительная подстанция  
ЦРП – центральный распределительный пункт  
ЯКНО – ячейка комплектная наружная одиночная

## Предисловие

Электрификация горных предприятий имеет исключительное значение как основная энергетическая база комплексной механизации и автоматизации горных работ. Современные карьеры и разрезы – крупные потребители электрической энергии, обладающие характерными особенностями, связанными с работой машин и агрегатов в условиях горных работ. Специфика горных работ обусловила ряд специальных требований к электроснабжению предприятий и решению ряда проблем по соблюдению требований безопасности при эксплуатации электрохозяйства.

В отечественной литературе немало работ, посвященных всемирной и отечественной истории электротехники, жизни и творчеству ученых, внесших большой вклад в развитие данной науки и отрасли промышленности. Но отсутствуют работы, посвященные истории развития электрификации горных работ, хотя потребность в подобных исследованиях достаточно велика, тем более что речь идет о развитии электрификации горных работ как одной из главных составляющих любого современного производства.

Перед авторами стояла непростая задача – при небольшом количестве материала и отсутствии архивных данных, отражающих историю электрификации горных работ, создать учебное пособие.

Авторы использовали исследования М.И. Озерного, С.А. Волотковского, Л.В. Гладина, В.И. Щуцкого, Б.П. Белых, Б.И. Заславца, В.А. Голубева, Л.А. Плащанского, С.А. Алаторцева, В.И. Серова, В.В. Школяренко, В.С. Виноградова, В.В. Дегтярева, А.Ф. Гончарова, В.А. Котлярчука, Н.Н. Чулкова и др., а также воспоминания работников энергомеханической службы бывшего производственного объединения «Красноярскуголь».

Авторы выражают благодарность за оказанную помощь заслуженному энергетнику России, профессору, кандидату технических наук Я.А. Кунгсу и бывшему главному механику Ирша-Бородинского разрезу управления В.И. Зудину.

## Введение

Знание истории развития науки и техники дает возможность правильно оценить существующую обстановку в электроэнергетической отрасли, учесть опыт предшествующих поколений и развивать отрасль с учетом этих факторов.

Развитие электроэнергетики – это мощная сила, которая влияет на жизненный уровень людей, изменяет характер общества, выступает причиной социальных перемен и направляет общественное развитие.

Слово «электричество» воспринимается в максимально широком смысле как обширнейшая область применения, включающая свойства, действия, проявление, получение, преобразование, передачу, распределение и, наконец, использование электричества как материала и энергии во всех видах.

Хотя рождение этого слова относят к эпохе античности, лишь к XIX в. была сформирована электрическая наука (1800–1830) и создана (1880) электрическая техника. Наука превратилась в теоретические основы электротехники (ТОЭ), а техника – в электротехнику как отрасль промышленности и сферу деятельности, в частности в направление высшего образования.

Электротехника начиналась с изобретений и экспериментов. Так, изобретение А. Вольтом гальванического элемента (1799) и исследования накаливания проводников током (1800) позволили предсказать появление электроосвещения и электротермии, изучать электролиз, гальваностегию и гальванопластику, открыть электрическую дугу (В.В. Петров, 1802) и начать ее применение для освещения, сварки и пайки.

Введение А. Ампером (1820) понятия о направлениях тока наряду с исследованиями Ж. Био и Ф. Савари (1820) по взаимодействию тока и магнитного поля, установление закона Ома (1827) и законов Кирхгофа (1845), работы М. Фарадея по вращению проводника с током (1821) и электромагнитной индукции (1831), исследование Э.Х. Ленцом обратимости электрических машин (1833) привели к созданию сначала прообраза генератора (Фарадей, 1831), а затем и к изготовлению И. Пикси (по заказу Ампера) электромагнитного генератора постоянного и переменного тока (1832), Б.С. Якоби – электродвигателя с непосредственным вращением якоря (1884), Дж. Вулричем – генераторов для питания гальванической ванны (1842).

Самовозбуждение машин, открытое В. Сименсом (1866) вместе с Г. Уайлдом (1863), открытие явления вращающегося магнитного поля, создание системы двухфазного тока Г. Феррарис (1885) и ее развитие (Н. Тесла, 1886), изобретение П.Н. Яблочковым (1876) и И.Ф. Усагиным (1882) трансформатора, М.О. Доливо-Добровольским асинхронного двигателя с «беличей клеткой» (1882) и трехфазного трансформатора с параллельными стержнями (1891), изолирование провода шелком (Дж. Генри, 1827), применение бесшовной резиновой изоляции проводов и кабелей (В. Сименс, 1847) и кабеля со свинцовой оболочкой (Ф. Борель, 1879) определили практическую значимость электрических исследований.

Таким образом, открытия в физике и поиски технических решений уже к концу XIX в. превратили электротехнику во вполне значимую науку и технику. Завершение формирования основ электротехники отразилось в установлении наименования электрических единиц (CGS – 1881, SI – 1960), характеристик переменного тока (1889) и обозначений (1893) и, наконец, в образовании (1904) Международной электротехнической комиссии – МЭК. Электротехнический отдел Русского технического общества был создан в 1880 г., тогда же начал выходить журнал «Электричество».

С точки зрения мировой истории именно развитие электротехники и ее экспансия во все отрасли техники, а затем и быта привело к развитию электроэнергетики, которая была

сформирована в 1870–1930 гг. (до этого считали технико-экономически бесперспективным создание и электродвигателя, и электрического генератора).

В 1924 г. был образован Мировой энергетический комитет (МИРЭК), призванный решать проблемы большой энергетики.

Можно выделить некоторые события становления большой энергетики:

- Г. Уайлд исследовал синхронизацию двух генераторов переменного тока (1868);
- З.Т. Грамм (1873) изготовил локомобильно-электрогенераторную установку для электроснабжения предприятия;
- Ф.А. Пироцкий исследовал передачу электричества, а Д.А. Лачинов теоретически обосновал вопрос о передаче большого количества электричества на большое расстояние;
- на первом Всемирном конгрессе электриков (1881) с докладом «О передаче и распределении электрических токов» выступил М. Депре, который позднее (1882) построил первую линию электропередачи постоянного тока высокого напряжения (2,4 кВ, 57 км).
- М.О. Доливо-Добровольский соорудил (1891) трехфазную ЛЭП с междуфазным напряжением 13 760–15 200 В для передачи 200 кВт (генератор 210 кВА, 86-95 В, повышающий трансформатор 150) на 175 км;
- Дж. Лейн-Фокс (1880) изобрел первые счетчики электроэнергии. В Англии были введены первые правила устройства электроустановок;
- Г. Феррарис (1884) ввел понятие коэффициента мощности, Э. Томпсон (1886) применил защитное заземление;
- А.Э. Кеннели (1886) получил зависимость между сечением проводника и длительно допустимым током нагрузки;
- П. Бушери установил (1898) конденсаторы для компенсации реактивной мощности;
- В. Петерсен предложил (1917) систему компенсации емкостных токов замыкания на землю;
- область устойчивости параллельной работы энергосистем (1920) основополагающими теоретическими работами определил А.А. Горев;
- В.М. Монтсингер (1930) сформулировал основные закономерности между температурой обмотки, нагрузкой и сроком службы силовых трансформаторов;
- И.А. Сыромятников внедрил (1937) самозапуск электродвигателей при кратковременном перерыве питания.

Предпосылкой бурного развития электрификации послужило создание М.О. Доливо-Добровольским трехфазных синхронных генераторов и трансформаторов. Убедительной демонстрацией преимуществ трехфазных цепей была знаменитая Лауфен – Франкфуртская электропередача (1891), сооруженная при активном участии М.О. Доливо-Добровольского. С этого времени возникают мощные электростанции, возрастает напряжение электропередач, возникают новые конструкции электрических машин, аппаратов и приборов. Электродвигатель занимает господствующее положение в системе промышленного электропривода.

В начале XX в. процесс электрификации охватывает новые области народного хозяйства, развиваются электротехнология, электротранспорт и др. В современных условиях электрическая энергия широко используется в самых разнообразных отраслях промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, быту, что потребовало теоретического осмысления и математического описания физических процессов, происходящих в электрических машинах, линиях электропередачи, трансформаторах и других электротехнических устройствах.

Рост потребности в постоянном токе (электротранспорт и др.) вызывает необходимость в развитии преобразовательной техники и промышленной электроники. Электротехника становится базой для разработки автоматизированных систем управления энергетическими и производственными процессами. Появление различных электрических машин дало толчок в развитии такой дисциплины, как «Электрический привод». Применение электрического привода и

электроснабжения как на горных, так и на других предприятиях, подача потребителям электроэнергии от мощных электрических станций и подстанций называется электрификацией промышленности, являющейся основной энергетической базой комплексной механизации и автоматизации промышленности.

# 1. Краткие этапы развития электрификации и горной промышленности

## 1.1. История электрификации

История электрификации берёт начало в древности, а вернее, начинается в первый день сотворения мира, поскольку первые слова Бога были: «Да будет свет!» Что есть свет? Свет – это форма существования материи в виде электромагнитных колебаний волн. Таким образом, уже первые слова в истории мира утверждали важнейшую роль электрификации не только в существовании отдельно взятого живого организма, но и в глобальном плане – от молекулы до Вселенной.

Начало электрификации относится к концу XIX в., когда были созданы электрические генераторы для производства электроэнергии и освоена ее передача на значительные расстояния.

В 1879 г. в Петербурге построена ТЭС для освещения Литейного моста, несколькими годами позже в Москве – для освещения Лубянского пассажа. Одна из первых ТЭС общего пользования была построена Т.А. Эдисоном в 1882 г. в Нью-Йорке. В 1913 г. Россия занимала 8-е место в мире по выработке электроэнергии. Электростанции принадлежали главным образом иностранному капиталу. Крупнейшее акционерное «Общество электрического освещения 1886» контролировалось немецкой фирмой «Сименс и Гальске», строившей ТЭС в Петербурге, Москве, Баку, Лодзи и других городах. Мощность электростанций в России в 1900 г. составляла 80 МВт, а в 1913-м – 1141 МВт; они производили 2 млрд кВт ч электроэнергии.

Появление системы трехфазного тока послужило мощным импульсом для широкого использования электрической энергии в промышленности вместо пара, воды и сжатого воздуха.

Горная промышленность явилась фактически первой отраслью, где было положено начало практическому применению электрической энергии.

Вслед за горной промышленностью электричество стало применяться и в других отраслях.

В конце XIX и начале XX в. важнейшей производственной задачей выступила задача экономного энергосбережения промышленных предприятий, которые приобретали все более крупные масштабы. Наиболее гибкой, транспортабельной и легко трансформируемой формой энергии является электрическая энергия, поэтому на первый план выдвигается задача экономического энергоснабжения. Именно этим объясняется тот широко известный факт, что наиболее бурно развивавшейся и качественно ведущей отраслью промышленности в рассматриваемый период становится электропромышленность. В.И. Ленин указывал, что электрическая промышленность была самой типичной для новейших успехов техники, для капитализма конца XIX – начала XX вв.

Перевод народного хозяйства на техническую базу современного крупного производства, связанный с широким внедрением электричества в производство, транспорт, сельское хозяйство и другие отрасли, т.е. тот комплекс мероприятий, который называется электрификацией, составил техническую основу социально-экономических преобразований рассматриваемого периода.

В России наиболее бурно электротехническая промышленность начала развиваться после Великой Октябрьской революции. В эти годы началось восстановление и реконструкция электроэнергетического хозяйства страны, разрушенного в годы Первой мировой (1914–

1918) и Гражданской (1918–1920) войн. В декабре 1917 – июне 1918 гг. были национализированы крупнейшие электростанции страны. Одновременно началась подготовка к строительству крупных ГЭС и районных ТЭС. В 1920 г. по инициативе В.И. Ленина был разработан первый план электрификации России – план ГОЭЛРО, в основу которого была положена ленинская формула « Коммунизм – это есть Советская власть плюс электрификация всей страны». В 1922 г. введены в строй Каширская ГРЭС и Уткина заводь (ныне 5-я ГРЭС Ленэнерго); в 1924 г. – Кизеловская ГРЭС на Урале, в 1925 г. – Горьковская и Шатурская ГРЭС. 8 ноября 1927 г. состоялась торжественная закладка Днепровской ГЭС. К 1931 г. основные задания плана ГОЭЛРО по наращиванию мощности районных электростанций и по производству электроэнергии были выполнены. В годы предвоенных пятилеток (1929–1940) созданы крупные энергосистемы на территории Украины, Белоруссии, Северо-Запада и др.

В начале Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) оборудование многих электростанций было эвакуировано в тыловые районы, где в рекордные сроки вводились в эксплуатацию новые энергетические мощности. За 1942–1944 гг. введено 3,4 ГВт, главным образом на Урале, в Сибири, Казахстане и Средней Азии. За годы войны разрушена 61 крупная электростанция общей мощностью около 5 ГВт, вывезено в Германию 14 тыс. котлов, 1,4 тыс. турбин и свыше 11 тыс. электродвигателей.

В послевоенные годы электрификация страны развивалась быстрыми темпами. К 1947 г. СССР вышел на 2-е место в мире (после США) по производству электроэнергии, а в 1975 г. производил электроэнергии больше, чем ФРГ, Великобритания, Франция, Италия, Швеция и Австрия вместе взятые. Увеличился среднегодовой прирост производства электроэнергии. Введены в строй Братская, Усть-Илимская, Усть-Хантайская, Красноярская, Саяно-Шушенская ГЭС и др. В 2013 г. начала выдавать энергию Богучанская ГЭС. Создана мощная единая энергосистема страны. В последние годы наблюдается наиболее мощный подъём в данной отрасли.

Электрификация предполагает изменения не только в области энергии, но и общую реконструкцию народного хозяйства с широким применением механизации и автоматизации производственных процессов, с внедрением на всех участках производства новейшей техники. Электрификация производит такие коренные сдвиги в системе производительных сил, которые по своим последствиям равнозначны новому промышленному перевороту. Непосредственное использование энергии в производственных целях выступает лишь заключительным этапом энергетических преобразований. Прежде чем попасть к потребителю, энергия должна быть получена в ее первичной форме, преобразована в наиболее удобную для передачи и распределения форму, т.е. в форму электрической энергии, и доставлена при помощи различных линейных устройств к месту потребления.

Следовательно, процесс энергоснабжения, составляющий техническую сущность электрификации, состоит из трех основных частей: производства, распределения и использования электроэнергии. В соответствии с этой схемой энергоснабжения и для удобства изучения разделим рассмотрение многогранного и взаимообусловленного развития электрификации на три части: развитие электростанций, развитие техники электропередачи и развитие электроприбора и электротехнологии.

Электрификация позволяет использовать природные энергетические ресурсы, более эффективно размещать производительные силы, механизировать и автоматизировать производство, увеличивать производительность труда.

## 1.2. История горной промышленности

Горная промышленность – это комплекс производств по разведке месторождений, добыче из недр земли и обогащению полезных ископаемых. Все отрасли горной промышленности делятся на следующие основные группы:

- топливодобывающая (угольная, нефтяная, сланцевая, торфяная, добыча естественного газа);
- рудодобывающая (железнорудная, марганцевая, добыча цветных и благородных металлов и др.);
- горнохимическая (добыча калийных солей, апатита, нефелина, бокситов, фосфоритов, селитры, серного колчедана и др.);
- отрасли по добыче минералов для строительства и силикатно-керамической промышленности (мрамор, гранит, известняк, глина, гипс, асбест и др.).

Возникновение и развитие горной промышленности тесно связано с развитием горного дела.

**Горное дело** – это отрасль техники и промышленности, а также соответствующие прикладные науки, охватывающие процессы, необходимые для извлечения из недр земли (добычи) полезных ископаемых в твердом или газообразном состоянии. Скопление их, приуроченное к определенной части земной поверхности, называется **месторождением полезных ископаемых**. Добыче полезных ископаемых предшествует разведка, которая необходима для определения целесообразности эксплуатации данного месторождения, производственной мощности и способа разработки. Данные разведки наносят на карты, планы, разрезы в виде графиков методом маркшейдерии.

Далее на основе предварительного составленного плана после выявления этих данных приступают к разработке месторождения. Для этого при помощи горных работ по определенному плану осуществляется сеть подземных или открытых горных выработок; для вскрытия месторождения строят необходимые подземные и надземные сооружения.

После вскрытия месторождения проводят выработки по полезному ископаемому, назначение которых состоит в непосредственной подготовке месторождения к извлечению полезного ископаемого (подготовительные работы). После проведения подготовительных выработок приступают к очистным работам.

Установленный для данных естественно-геологических и технико-экономических условий порядок проведения во времени и пространстве подготовительных и очистных работ называется **системой разработки месторождения**.

Начало горных работ можно отнести к ранней стадии развития человечества. Уже в период родового строя для подземной добычи кремния проводились горные выработки, иногда с деревянным креплением. Для горных работ применялись каменные орудия и кайлы из оленьего рога. В рабовладельческом обществе начинается систематическая разработка медных и оловянных руд, добыча серебра и золота. Возникает огненный способ добычи, при котором для разрушения породы нагретую огнем поверхность охлаждают водой, начинают применять примитивное обогащение полезных ископаемых. На территории России археологами обнаружены рудники этого периода; в Центральной Европе – выработки со следами крепления, лестниц и т.п., относящиеся к бронзовому и железному периоду развития человечества.

Главным фактором развития производительных сил в античном обществе было освоение железа. На горных работах использовался труд рабов и осужденных преступников. С развитием феодальных отношений в горном деле происходят значительные сдвиги. В начале II тысячелетия н.э. происходит подъем горного дела и в Центральной Европе. Не позднее XII в. началось применение бурения горных пород.

В XV–XVI вв. в Европе в горном деле были впервые применены важные усовершенствования. Применение конного привода и водного колеса на подъеме, а также для водоотливных устройств позволило вести горные работы на глубине до 150 м, хотя еще повсеместно применялась штольневая разработка. Взрывные работы начали вытеснять огневые работы, возникло мокрое обогащение, что позволило вести разработку бедных руд. В 1512 г. в Саксонии была выдана привилегия на мокрую толчею. В это время на рудниках начинают устраивать деревянные настилы для перемещения по ним тележек с полезным ископаемым. Появляются первые горные училища и руководства по горному делу. В горном деле раньше, чем в других отраслях, нашли применение паровые машины первоначально для откачивания воды, а затем и для рудничного подъема.

С эпохи промышленного переворота (конец XVIII – начало XIX в.) осуществлен переход к широкому применению в горной промышленности машин. В 1815 г. англичанин Г. Деви изобрел безопасную рудничную лампу. Совершенствуется техника бурения, все шире применяются взрывчатые вещества, вводится рельсовая откатка. В 30-х гг. XIX в. стали применять стальные канаты для рудничного подъема и откатки. В 1866 г. появились первые врубовые машины.

В конце XIX – начале XX в. в связи с увеличением спроса на полезные ископаемые изменяются условия развития горного дела. Интенсивно развивается техника проходки стволов шахт и бурения на нефть. Усовершенствованные методы проходки, вентиляции и водоотлива позволяют увеличить глубину горных выработок до 1000, а иногда и до 2000 м. Создаются высокопроизводительные системы отработки угольных и рудных месторождений. Вводится электрический привод подъемных машин, водоотлива, вентиляции, электрифицируется рудничный транспорт, осуществляется механизация зарубки с помощью врубовых машин, широко применяются отбойные молотки, работающие на сжатом воздухе. Возникают самостоятельные научно-технические дисциплины, занимающиеся вопросами добычи отдельных видов полезных ископаемых.

До середины XX в. во всех промышленных странах мира важнейшей задачей горного дела было значительное повышение эффективности труда. Это привело к интенсивным поискам новых систем разработки месторождений, в частности таких, которые позволили бы исключить ступенчатый рельсовый транспорт и дали возможность применять конвейеры как на горизонтальных, так и на наклонных выработках, а также более широко использовать гидравлическую добычу. В угольных шахтах все больше механизированы отбойка и погрузка угля и породы в подготовительных выработках посредством горных комбайнов и погрузочных машин. Постепенно расширяется автоматизация и дистанционное управление машинами и механизмами. Отмечается применение в промышленной практике металлической крепи и передвижных механизированных крепей.

Во второй половине XX в. во всех странах мира широко используют открытый способ добычи угля и совершенствуют способы добычи нефти с применением высокопроизводительной горно-добывающей техники, автоматизированных систем управления как отдельными этапами, так и всем процессом.

Таким образом, в современных условиях горная промышленность производит добычу полезного ископаемого в зависимости от нахождения его в недрах земли открытым (рис. 1.1–1.5) или подземным способом (рис. 1.6–1.8).



Рис. 1.1. Карьер «Восточный»



Рис. 1.2. Добыча угля (угольный разрез «Назаровский»)



Рис. 1.3. Вскрышные работы комплексом непрерывного действия (разрез «Березовский»)



Рис. 1.4. Отвальные работы



Рис. 1.5. Добыча золота дражным способом



Рис. 1.6. Подземные работы (г. Норильск)



Рис. 1.7. Подземная выработка



Рис. 1.8. Буровая установка

## 2. Энергосистема

### 2.1. Общие сведения

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [1] совокупность электростанций, линий электропередачи, подстанций и тепловых сетей, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью производства и распределения электрической и тепловой энергии, называют **энергетической системой**. Для возможности передачи электроэнергии из одного района в другой между энергетическими системами строят линии электропередачи высокого напряжения, так называемые **межсистемные связи**.

Составными частями типовой энергетической системы являются электрические станции, подстанции, линии электропередачи и тепловые сети. **Электрические станции** – это электроустановки, служащие для производства электрической и тепловой энергии из других видов энергии. Электростанции сооружают с учетом возможности широкого использования природных энергетических ресурсов.

**Подстанции** – это электроустановки, служащие для преобразования и распределения электроэнергии и состоящие из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, аккумуляторной батареи, устройств управления и вспомогательных сооружений.

**Распределительное устройство** – это электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и состоящая из коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, измерительных приборов, сборных и соединительных шин и вспомогательных устройств.

**Линия электропередачи** – это система проводов, служащих для передачи электроэнергии от генераторов электростанций к местам потребления и для распределения ее между электроприемниками.

Часть энергетической системы, состоящая из генераторов, распределительных устройств, электрических сетей (подстанций и линий электропередачи различных напряжений) и электроприемников, называется **электрической системой**.

Часть энергетической системы, кроме электроприемников, называется **системой электроснабжения**.

**Электрическая сеть** – это совокупность соединённых между собой линий одного номинального напряжения для передачи электроэнергии от источников к присоединённым к сети приемникам, включающей также узлы распределения и ответвления линий.

Основными элементами сети являются линии, распределительные узлы, узлы ответвления.

Основным элементом линии служат проводники (провода, кабели, шины, комплектные шинопроводы и др.).

Совокупность проводников сети или ее части называют проводкой.

В качестве стандартных напряжений в общей системе электроснабжения принимают для:

– генераторов – 230, 400, 690, 6300, 10 500 и 21 000 В;

– электроприемников – 127, 220, 380, 660, 1140, 3000, 6000 и 10 000 В;

– распределения и передачи электроэнергии – все напряжения, перечисленные в предыдущем пункте, а также 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750 и 1000 кВ.

## 2.2. Требования, предъявляемые к системе электроснабжения предприятия

Основными требованиями, которым должна удовлетворять всякая система электроснабжения, являются **надежность** электроснабжения, хорошее **качество электроэнергии**, **безопасность** и **экономичность** всех элементов системы.

**Категории электроприемников.** В отношении требуемой надежности электроснабжения ПУЭ разделяют электроприемники промышленных предприятий на следующие три категории [1].

**I категория** – электроприемники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса. В горной промышленности к этой категории относят: противопожарные насосные установки, водоотливные установки шахт и карьеров, вентиляторы главного проветривания опасных по газу рудников и угольных шахт, вспомогательные реверсивные вентиляторы (на шурфе) газовых шахт и калориферные установки для районов страны с тяжелыми климатическими условиями (Воркута, Инта, Норильск, Караганда и др.), подъемные установки, обслуживающие спуск–подъем людей, центральные подземные подстанции, флотационные и агломерационные машины, пульпоподающие насосы и др.

**II категория** – электроприемники, нарушение электроснабжения которых связано с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта. В горной промышленности к этой категории относят скиповые подъемные и калориферные установки для районов страны без тяжелых климатических условий, вентиляторы на рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли, измельчительные и классификационные механизмы и др.

**III категория** – все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий (электроприемники цехов несерийного производства, вспомогательных цехов, небольшие поселки и др.). В горной промышленности к этой категории относятся все виды транспорта породы, механические мастерские, склады, административный и бытовой комбинаты, внутреннее освещение зданий, наружное освещение промышленной площадки и др.

Из числа приемников I категории должна быть выделена **особая группа** электроприемников, требующая повышенной надежности питания. К особой группе относят приемники, обеспечивающие безаварийную остановку производства, перерыв в электроснабжении которого угрожает жизни и здоровью людей, взрывом, пожаром, порчей основного технологического оборудования.

Потребители I категории должны получать питание от двух независимых источников питания, а особая группа – от трех независимых источников питания.

Независимыми источниками питания являются: две электростанции; две подстанции энергосистемы, две секции сборных шин электростанции или подстанций энергосистемы при условии, что каждая из секций имеет питание от независимого источника и секции не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении нормальной работы одной из них. При небольшой мощности электроприемников I категории в качестве второго источника питания могут быть использованы аккумуляторные батареи, передвижные дизель-генераторные установки, а также переключки на низшем напряжении от ближайшего пункта, имеющего независимое питание АВР. Если АВР не обеспечивает необходимой непрерывности технологического процесса, последний должен обслуживаться двумя или большим числом совместно действующих технологических агрегатов одинакового назначения, приводы которых питаются от независимых источников питания, если это экономически целесообразно.

В соответствии с требованиями ПУЭ допускаются перерывы в электроснабжении:

- электроприемников I категории – на время автоматического ввода резервного питания при условии обеспечения их электроэнергией от двух независимых источников питания;
- электроприемников II категории – на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой;
- электроприемников III категории – на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более одних суток.

Таким образом, отнесение потребителей к той или иной категории определяет степень резервирования, что, естественно, влияет на капитальные затраты. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо при отнесении потребителей к той или иной категории и определении степени резервирования тщательно взвесить все возможные последствия нарушений электроснабжения.

ПУЭ регламентируют только продолжительность перерыва электроснабжения и не ограничивают число перерывов. Между тем надежность электроснабжения, безусловно, характеризуется двумя указанными факторами.

Повышения надежности электроснабжения можно добиться проведением следующих мероприятий:

- снижением удельной повреждаемости, т.е. повышением надежности отдельных элементов системы электроснабжения, в том числе путем применения электрооборудования, соответствующего условиям работы данной электроустановки, систематического проведения планово-предупредительных и профилактических испытаний, ремонтом электроустановок и их электрооборудования, а также систематического обучения обслуживающего персонала;
- сокращением числа элементов в схемах электроснабжения вследствие упрощения схем;
- сокращением длительности аварийного перерыва в электроснабжении при каждом повреждении путем повышения качества обслуживания, резервирования и внедрения средств защиты и автоматики.

**Качество электроэнергии.** Качество электроэнергии у ее приемников при питании от сетей переменного тока характеризуется рядом показателей [2].

**Отклонение напряжения** от номинального, когда скорость изменения напряжения меньше 1 % в секунду.

Для приборов рабочего освещения в производственных помещениях и общественных зданиях, а также в прожекторных установках наружного освещения допускаются отклонения напряжения в пределах от –2,5 до +5 % номинального; для электродвигателей и пусковых аппаратов от –5 до +10 %; для остальных электроприемников от –5 до +5 %.

**Колебание напряжения**, когда скорость направления напряжения равна или больше 1 % в секунду.

Для отдельных электроустановок с резкопеременными нагрузками, например электропривод одноковшовых экскаваторов, разрешаются колебания напряжения до 1,5 % при неограниченной их частоте.

**Несинусоидальность** формы кривой напряжения на зажимах любого электроприемника длительно допустима, если коэффициент несинусоидальности меньше 5 %.

На зажимах асинхронного двигателя возможна несинусоидальность кривой напряжения и больше 5 %, если с учетом других факторов нагрев двигателя не превышает допустимого (ГОСТ 13109-67).

**Смещение нейтрали** трехфазной сети – абсолютная величина напряжения нулевой последовательности – не должна превышать значений, при которых действующие значения напряжения не выходят за допустимые пределы.

**Несимметрия** трехфазной системы напряжений на зажимах любого трехфазного электроприемника длительно допустима, если ее величина не превышает 2 % номинального фазного напряжения.

На зажимах асинхронного электродвигателя допускается несимметрия и более 2 %, если с учетом других влияющих факторов (отклонение напряжения и несинусоидальности кривой напряжения) нагрев двигателя не превышает допустимого.

**Отклонение частоты** от номинального значения в нормальном режиме работы, усредненное за 10 минут, возможно в пределах  $\pm 0,1$  Гц. Колебания частоты не должны превышать 0,2 Гц сверх отклонений частоты. Отклонения и колебания частоты обуславливаются режимами нагрузки энергетической системы в целом и при расчетах систем электроснабжения промышленных предприятий, как правило, не рассматриваются.

**Электробезопасность**, вопросам которой уделяют большое внимание как при проектировании, так и при эксплуатации систем электроснабжения предприятий, обеспечивается целым комплексом организационно-технических мероприятий, изложенных в нормативных документах и специальной литературе.

Специфические условия горных разработок (высокая, относительная влажность воздуха, наличие агрессивных вод и токопроводящей шины, передвижной характер работы большинства машин и механизмов) создают повышенную опасность поражения людей электрическим током. Поэтому эксплуатация электроустановок горных предприятий регламентируется рядом специальных нормативных документов: Правилами техники безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПТБ), Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) при разработке угольных и сланцевых месторождений открытым способом, Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах, правилами технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт и другими различными отраслевыми инструкциями.

Подробно вопросы электробезопасности при эксплуатации электроустановок горных предприятий изучаются в профилирующих курсах «Электрификация горных работ» различных специализаций.

**Экономичность** системы электроснабжения оценивают по минимуму приведенных затрат в результате сравнения нескольких вариантов, отвечающих техническим требованиям. В тех случаях, когда приведенные затраты отличаются на незначительную величину в пределах возможной точности расчетов (5–10 %), предпочтение следует отдавать варианту с лучшим качественными показателями.

Приведенные затраты являются мерой стоимости, их рассчитывают только для изменяемой части сопоставляемых вариантов.

Качественные показатели характеризуют технические решения, которые непосредственно не имеют стоимостного выражения.

Вариант системы электроснабжения обладает более высокими качественными показателями, если у него, например, выше номинальное напряжение сети, ниже потери напряжения в сети, меньше колебания напряжения и частоты, вызываемые работой установок с резко-переменной нагрузкой; ниже уровень высших гармоник тока в сети, более благоприятны условия для монтажа, проще и более удобны условия эксплуатации, возможно осуществление расширения установки без значительных переустройств, что имеет важное значение при современных темпах развития производства.

## 2.3. Электрические станции

**Электрические станции** – это электроустановки, служащие для производства электрической и тепловой энергии из других видов энергии. Электростанции сооружают с учетом возможности широкого использования природных энергетических ресурсов.

### 2.3.1. История развития электрических станций

Для питания осветительных установок в XIX в. использовались так называемые блок-станции. Это были генераторные станции, назначением которых являлось снабжение электроэнергией небольшого числа потребителей, сосредоточенных в пределах одного дома или небольшого квартала города. Часто такие станции назывались «домовыми» (рис. 2.1). На таких станциях обычно передача от первичного двигателя (паровой машины или двигателя внутреннего сгорания) к генератору осуществлялась с помощью ремня. Применение ременной передачи, с одной стороны, позволяло приводить быстроходный генератор (1000 об/мин и больше) от сравнительно тихоходных паровых машин (до 200 об/мин), но, с другой стороны, требовало установки генератора на салазках, которые допускали его перемещение для увеличения натяжения ремня.

Первые блок-станции были построены в Париже для питания свечей Яблочкова, установленных на улице Оперы. В России подобного рода установкой освещался Литейный мост в Петербурге (1879 г.).

Однако блок-станции существовали недолго. Идея централизованного производства электроэнергии была настолько экономически целесообразной и настолько соответствовала основному направлению промышленного развития, что первые центральные электростанции появились уже в начале 1880-х гг., устранив блок-станции.

Появление системы трехфазного тока послужило мощным импульсом широкого использования электрической энергии в промышленности вместо пара, воды и сжатого воздуха. Горная промышленность – фактически первая отрасль, где было положено начало практическому применению электрической энергии. В России в горной промышленности электроустановки появились в 1888 г. Они состояли из небольших генераторов постоянного тока с паровым приводом, служивших главным образом для освещения и питания двигателей подъемных установок и водоотлива. Уже в 1900 г. на I Всероссийском электротехническом съезде сообщалось о применении электрической энергии на Зырянских свинцово-серебряных рудниках Алтая, Брянских угольных коях Донбасса и Кизеловских угольных коях Урала.

Первая промышленная электростанция в Сибири была создана на Алтае. Она была построена под руководством горного инженера Н.Н. Кокшарова летом 1892 г. на Зырянском руднике. Отсутствие вблизи предприятия топливных ресурсов подтолкнуло воспользоваться энергией р. Березовка, на которой построили ГЭС мощностью 150 кВт. В связи с тем что расход воды резко колебался, недалеко от Зыряновска на канале, подводящем воду к станции, создали водохранилище. Электроэнергия использовалась для шахтного водоотлива, электрифицировали рудодробилку, канатную железную дорогу, электролитическую фабрику, производственные помещения и жилые постройки. Это позволило в первый же год снизить эксплуатационные расходы на водоотлив почти в вдвое.

Вслед за рудным Алтаем электрическая энергия стала использоваться на Ленских приисках. 18 сентября 1896 г. дала ток ГЭС на р. Ныгри (Павловский прииск), мощность которой была 300 кВт трехфазного переменного тока. Генераторное напряжение станции трансформировалось со 150 до 10 000 В и передавалось на отдельные прииски по ЛЭП длиной около 20 км, где вновь трансформировалось до напряжения 260 В. Промышленная нагрузка – асинхрон-

ные двигатели приисков. В 1898 г. на р. Бодайбо построили ГЭС мощностью 430 кВт, к 1915 г. образовался первый каскад ГЭС с установленной мощностью 2800 кВт. Общая мощность всех гидроэлектростанций России в то время исчислялась в 19 тыс. кВт. Успешно применялось электроперфораторное бурение и электропаровое оттаивание грунтов. На приисках работало до 100 электродвигателей, а для освещения горных работ и зданий использовалось почти 20 тыс. электрических лампочек.

В енисейской золотопромышленности электроэнергия использовалась недостаточно. На приисках Мариинской тайги в 1902–1903 гг. успешно применялось электроперфораторное бурение. Работала электростанция мощностью 600 кВт. На отдельных приисках на драгах имелись динамомашинки по 4–5 кВт и небольшие установки для освещения административных зданий. В Северо-Енисейском горном округе насчитывалось свыше десятка таких электростанций средней мощностью до 3 кВт. В Хакасском каменноугольном районе была единственная динамомашинка мощностью 19 кВт.

### 2.3.2. Современные источники питания

**Тепловые электростанции.** Основную функцию в энергетическом балансе страны выполняют тепловые электростанции – ТЭС, ГРЭС (государственная районная электростанция), сооружаемые в районах, где имеется дешевое природное топливо: торф, сланец, бурый уголь, природный газ [2]. ТЭС называют конденсационными (КЭС), если они вырабатывают только электроэнергию, а отработавший пар направляется в конденсаторы, где скрытая теплота парообразования теряется в охлаждающей воде. ТЭС, вырабатывающие в процессе комбинированного энергопроизводства как электрическую, так и тепловую энергию (в виде пара и горячей воды), называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). Коэффициент полезного действия ТЭЦ примерно в два раза выше, чем у КЭС. В настоящее время на долю ТЭС приходится примерно 80 % вырабатываемой в стране электроэнергии и 40 % тепловой энергии.

Тепловые электростанции состоят из следующих основных узлов (рис. 2.2).

Котельная установка (реактор) служит для выработки пара из воды за счет использования тепла топлива. В котельную установку входит топка, где происходит сжигание топлива, и паровой котел. Кроме этого, в нее входит пароперегреватель, экономайзер (для подогрева питательной воды), воздухоподогреватель (для подогрева воздуха для топки). Котельная установка имеет и вспомогательное оборудование: тягодутьевое устройство естественное (в виде высокой трубы) или искусственное (дутьевые вентиляторы); золоуловители (фильтры); систему водоподготовки (очистка воды).

Паровая турбина (рис. 2.3) состоит из вала, на котором прочно насажены диски. На ободах этих дисков закреплены особо изогнутые рабочие лопатки. Вал вращается на подшипниках. Пар из котла по соплам поступает на рабочие лопатки турбины и заставляет вал турбины вращаться. Выходя из пространства турбины, пар конденсируется, чтобы создать большой перепад давления, ускорить протекание пара и повысить эффективность цикла. Давление уменьшается со 100 до 0,4 атм.

Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию, которая поступает на преобразовательную подстанцию. Его ротор находится на одном валу с турбиной.

Технологическая схема КЭС (рис. 2.4), включает в себя:

- топливное хозяйство 1 и топливоподачу 2, где топливо проходит специальную подготовку. Например, уголь дробится, сушится и измельчается в пыль;
- котел и воздухоподогреватель. В котле 3 происходит сгорание топлива и нагревание теплоносителя – воды, проходящей по трубам через топку;
- наряду с воздухом в котел поступает воздух, подаваемый специальным насосом – воздухоподогревателем 5;

– пароперегреватель – паропровод – паровая турбина – генератор. На выходе из котла теплоноситель перегревается в пароперегревателе 4 и по паропроводу 9 поступает в паровую турбину 10. В турбине энергия пара преобразуется в механическую работу вращения вала, связанного специальной муфтой с валом генератора 13, преобразующего механическую энергию в электрическую;

– газоздушный тракт – золоуловитель – дымосос – дымовая труба и конденсатор. Продукты сгорания из котла проходят очистку в золоуловителях 7 и фильтрах, очищенные газы с помощью дымососов 6 выбрасываются через дымовую трубу 8 в атмосферу. На выходе из турбины пар охлаждается в конденсаторе 11, превращается в воду – конденсат, и часть ее подается насосом 12 обратно в котел, а другая часть по водопроводу поступает в водохранилище 17. В качестве охладителя пара используется, как правило, подаваемая циркуляционными насосами 14 по водопроводу 15 холодная вода из создаваемых водоемов 17 – водохранилищ, брызгальных бассейнов, градирен.

**Гидроэнергетические установки.** Известно, что около 15 % энергетического баланса страны покрывается гидроэнергетическими установками (ГЭУ).

Существуют три основных вида ГЭУ:

- гидроэлектрические станции (ГЭС), которые используют энергию рек;
- приливные электростанции (ПЭС), использующие энергию приливов и отливов океанов и морей;
- гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), которые могут накапливать и использовать энергию искусственных водоемов, озер.

На гидростанциях (ГЭС) для производства энергии используется энергия движущей воды (рис. 2.5). Первичными двигателями электрогенераторов являются гидротурбины, в которых потенциальная и кинетическая энергия воды преобразуется в механическую для вращения ротора генератора. Гидротурбина (рис. 2.6) состоит из рабочего колеса и направляющего устройства. Рабочее колесо жестко закреплено на валу турбины, имеет на своем ободе по всему периметру ряд особо изогнутых лопаток. Направляющее устройство придает движению воды нужное направление и регулирует количество воды, поступающее в турбину с помощью поворотных лопаток. Механизм разворота лопаток связан с регулятором турбины, поддерживающим постоянное число оборотов и тем самым частоту тока. Из рабочего колеса вода отводится через всасывающую трубу в нижний бьеф гидростанции.

ГЭС имеют очень высокий КПД и по данному показателю являются самыми экономичными электростанциями. КПД ГЭС составляет 93 % (у ТЭС не более 40 %). Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС, в 5–6 раз ниже, чем на тепловых и атомных станциях (АЭС). ГЭС являются мобильными установками и свободно меняют свою мощность. На них несравненно легче, чем на ТЭС и АЭС, запускаются и останавливаются агрегаты, отсутствуют ограничения по скорости изменения мощности, высока надежность.

Общий вид Саяно-Шушенской ГЭС приведен на рис. 2.7.

В советские годы страна занимала лидирующее положение в мировой гидроэнергетике. В свое время Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС были самыми мощными в мире. После распада СССР лидирующие позиции России и других стран СНГ были утрачены.

К недостаткам ГЭС следует отнести чрезвычайно высокие капитальные затраты на сооружение, длительные сроки строительства, зависимость работы от природных условий, ущерб от затопления земель и лесов.

**Приливные электростанции – ПЭС** (рис. 2.8.) вырабатывают электрическую энергию за счет использования потенциальной энергии приливов и отливов моря. Величина прилива (в результате притяжения Луны) в различных местах Земли неодинакова: у берегов Америки она составляет 21 м, у берегов Франции и Англии порядка 15 м, у берегов России – 8–11 м

на Белом и Охотском морях. Установлено, что использовать энергию приливов целесообразно при 3–4 м высоты прилива.

Приливный энергетический потенциал на побережьях страны оценивается в 200 млрд кВт ч, что примерно равно выработке электроэнергии на всех ГЭС. Однако использование приливной энергии ведется пока еще в незначительных масштабах. Главный недостаток ПЭС – их вынужденный режим; они дают свою мощность не тогда, когда этого требует потребитель, а в зависимости от приливов и отливов волн. Велика также стоимость сооружения подобных станций. Вместе с тем ПЭС дают существенную экономию топлива, поэтому в будущем область их применения будет расширяться.

**Гидроаккумулирующие электростанции** – ГАЭС (рис. 2.9) используют гидравлическую энергию, которая ими специально накоплена. Они объединяют две установки – турбинную и насосную. Насосная установка позволяет накачать воду из реки в специальный бассейн, расположенный выше реки и здания ГАЭС. Естественно, на это затрачивается энергия. В нужное время вода из бассейна может быть пропущена через турбины, которые стоят на станции под напором, тем самым будет получена определенная электрическая мощность. Следовательно, гидравлическая энергия сначала аккумулируется, а затем используется. КПД ГАЭС составляет 70–80 %. Обычно на ГАЭС устанавливают машины, которые могут работать попеременно в турбинном и насосном режимах.

Создание ГАЭС позволяет частично решить проблему пиковой энергии. В течение суток электроэнергия потребляется неравномерно. Больше всего ее требуется либо в утренние часы, когда включаются электробытовые приборы, начинают работать предприятия и электротранспорт, либо в вечерние, когда включаются освещение и электроприборы. В ночные же часы потребление электроэнергии наименьшее – чем более свободно пользуются электроэнергией в быту и промышленности, тем более неравномерно она потребляется. Для покрытия пиков нагрузки нужны специальные станции, и в их числе прекрасными возможностями обладают ГАЭС – ночью, потребляя энергию ГАЭС, они накачивают воду в бассейн и создают запас энергии. В часы пика накопленная энергия используется, отдавая кратковременную пиковую мощность потребителям.

В настоящее время в России ГАЭС находятся на начальной стадии развития. В будущем пиковая нагрузка энергосистем будет увеличиваться и число ГАЭС возрастет.

**Атомные электростанции.** В районах, где природные энергетические ресурсы ограничены или отсутствуют, сооружают атомные электростанции (рис. 2.10). На долю АЭС сегодня приходится примерно 4,5 % вырабатываемой в стране электроэнергии. АЭС для получения электроэнергии и тепла используют ядерное горючее. Вместо котельного агрегата на АЭС находится реактор, т.е. специальные парогенераторы.

В качестве топлива на АЭС применяют тяжелые элементы: уран-235, уран-233, плутоний-239. Расщепление ядер урана-235 происходит под действием нейтронов по цепной реакции, при этом выделяется большое количество тепловой энергии (83 %) и ядерного излучения.

Реакторы (рис. 2.11) имеют так называемую активную зону 1, в которую загружается ядерное топливо, содержащее уран-235 и замедлитель (обычно графит или вода). Для сокращения зоны утечки нейтронов зона окружена отражателем 2, за которым размещается бетонная защита 5 от радиоактивных излучений. Количество ядерного топлива в реакторе значительно превышает критическую массу, поэтому в активную зону вводят сильный поглотитель нейтронов в виде стержней 4 из карбида бора. По мере выгорания топлива регулирующие стержни извлекают из активной зоны. Нагретый теплоноситель отводится по трубам 3 в теплообменник – парогенератор 6, где передает свое тепло рабочему телу (например, воде, проходящей по змеевикам и превращающейся в пар). Рабочее тело (пар) поступает в турбину 7, вращает вал турбины, соединенный с валом генератора 8. Отработавший пар попадает в конденсатор 9, после чего сконденсированная вода вновь идет в теплообменник.

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

По оценкам экспертов, запасы ядерного топлива примерно в 2000 раз превышают все запасы органического топлива на Земле, его хватит на тысячелетия. Это снимает угрозу топливной недостаточности и гарантирует человечеству возможность интенсивного развития энергетики в настоящем и в будущем. Так, в настоящее время доля АЭС в суммарном производстве энергии в мире составила 55 %. Мощность АЭС мира – порядка 1 млн МВт.

**Геотермальные электростанции.** Геотермальные электростанции используют внутреннее тепло Земли, геотермическую энергию гейзеров, термальных вод для теплофикации и производства энергии (рис. 2.12).

В России геотермальные источники существуют на Камчатке, Курильских островах, в Сибири. Впервые геотермальная станция на глубинном паре под давлением 5 атм и температурой 200 °С была построена в г. Лардерелло (Италия) в 1904 г. Геотермальные электростанции используются в Италии, Исландии, России, Японии и Новой Зеландии.

В 1967 г. на Камчатке была построена Паужетская ГТЭС на 11 МВт, в 2000 г. запущены Мутновская ГТЭС на 200 МВт и Паратунская ГТЭС.

**Гелиоэлектростанции.** Гелиоэлектростанции используют энергию солнечных лучей (рис. 2.13) с помощью приемников двух видов:

– плоских, улавливающих солнечные лучи, направленных перпендикулярно плоскости (приемники отслеживают направление солнечных лучей, автоматически разворачивая свою плоскость);

– концентрирующих, в которых солнечные лучи с помощью зеркальных сферических поверхностей концентрируются в фокусе, где расположены тепловые элементы (например, паровой котел).

Сконструированы солнечные электростанции на полупроводниковых фотоэлементах (кремниевых, селеновых и др.). В таких установках солнечная энергия непосредственно превращается в электрическую.

В конце XX в. в США и России был создан двухслойный полупроводниковый фотоэлемент из арсенида галлия, который преобразует в электричество видимую часть солнечного спектра, а инфракрасная часть спектра, проходящая через этот прозрачный слой, поглощается и преобразуется в электричество во втором слое – антимониде галлия или арсениде алюминия. КПД такого фотоэлемента составляет примерно 30–37 %, что сопоставимо с КПД современных ТЭС и АЭС (у обычных фотоэлементов в настоящее время КПД составляет 10–12 %. КПД гелиоэлектростанций составляет 5–10 %, стоимость электроэнергии такой электростанции в 5–10 раз выше стоимости электроэнергии, вырабатываемой традиционными электростанциями. Считается, что повышение КПД данных станций до 20 % позволит стать им конкурентным источником электричества.

В Италии гелиоэлектростанция с паровой турбиной имеет мощность 200 кВт. В Армении была построена полупроводниковая солнечная электростанция мощностью 1200 кВт.

**Ветровые электростанции.** Ветровые электростанции (рис. 2.14) используют энергию ветра и представляют собой преобразование энергии солнца, вызывающее движение неравномерно нагретых масс.

Теоретические запасы энергии ветра в 100 раз превышают запасы гидроэнергии всех рек земного шара. Принято считать, что возможно реально использовать для нужд энергетики до 10 % теоретических запасов энергии ветра.

Строительство данных электростанций имеет многовековую историю – с ветряных мельниц и до современных установок. Энергия ветра используется человечеством уже несколько тысячелетий, но для выработки электроэнергии – в основном в XX в. Чаще всего изготавли-

вают ветродвигатели крыльчатого типа. Диаметр крыльев бывает от 8 до 30 м и более, а мощность таких установок – от 1 до 1000 кВт и более.

**Дизельные электростанции.** В местах (отдаленные районы Сибири и Крайнего Севера при относительно небольшой потребляемой мощности), где нет возможности использовать электроэнергию, полученную одним из выше названных способов, находят широкое применение дизельные электростанции (рис. 2.15).

Они состоят из двигателя внутреннего сгорания (дизельного или бензинового) и синхронного генератора, соединенного с двигателем.

На горных работах они используются в качестве резервных независимых источников при наличии потребителей первой категории.

## 2.4. Возобновляемые источники энергии

К возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относятся солнечная энергия, энергия ветра, энергия рек и водотоков, приливов, волн, энергия биомассы (дрова, бытовые и сельскохозяйственные отходы, отходы животноводства, птицеводства, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности), геотермальная энергия, а также рассеянная тепловая энергия воздуха, воды, океанов, морей, водоемов.

ВИЭ сводятся к трем глобальным видам источников: энергии Солнца; тепла Земли; энергии орбитального движения планет.

Повсеместный переход на ВИЭ не происходит лишь потому, что промышленность, машины, оборудование и быт людей на Земле сориентированы в основном на органическое топливо. Кроме того, некоторые виды ВИЭ непостоянны и имеют небольшую плотность энергии.

Основные преимущества ВИЭ по сравнению с невозобновляемыми источниками энергии (газ, нефть, уголь и т. п.) – неисчерпаемость и экологическая чистота, использование ВИЭ не изменяет энергетического баланса планеты. Кроме того, они играют значительную роль в решении трех основных задач, стоящих перед человечеством: энергетика, экология, экономика.

Рассмотрим динамику использования ВИЭ в мире на рубеже XX – XXI вв.

**Ветроэнергетика (ВЭС).** Установленная мощность в мире: 1996 г. – 6172 МВт; 2000 г. – 17 824 МВт; 2006 г. – 36 000 МВт. Лидирующие страны в этом направлении: Германия (6025 МВт), США (2495 МВт), Дания (2364 МВт), Испания (2538 МВт), Индия (1214 МВт). Россия – 7,5 МВт.

**Геотермальная энергетика (ГТЭС).** Установленная мощность в мире: 1970 г. – 678 МВт; 2000 г. – 8000 МВт. Страны-лидеры: США (2228 МВт), Филиппины (1908 МВт), Италия (785 МВт), Индонезия (589 МВт). Россия – 23 МВт.

**Солнечная энергетика (ГЛЭС).** Установленная мощность в мире на 2000 г. – 260 МВт. Страны-лидеры: Япония (80 МВт), США (60 МВт), Германия (50 МВт). Россия – 0,5 МВт.

**Энергия биомассы (БЭ).** Использование энергии биомассы идет по нескольким направлениям: производство биогаза и биомассы на малых установках (Китай, Индия – 6 млн установок); на больших установках по переработке городских сточных вод (10 000 установок) и на комбинированных установках сбраживания городских и промышленных сточных вод (более 100 новейших установок); на мощных комбинированных установках (фабриках) по переработке отходов продукции сельского хозяйства, животноводства и пр. (в Дании находится 18 таких установок из 50 во всей Европе).

Биогаз используется в быту, в водонагревателях, паровых котлах, дизель-генераторах, производящих электроэнергию, и др.

Широкое распространение получили электростанции, на которых сжигаются твердые бытовые производственные отходы (ТБО) городов (США, Дания), а также электростанции, работающие на биогазе свалок (Италия, Франция).

Начинают внедряться электростанции, в топках которых сжигается древесина, отходы лесопереработки (страны Скандинавии) как при прямом сжигании этих отходов, так и через их газификацию с последующим сжиганием полученного газа.

## 2.5. Невозобновляемые источники энергии

К нетрадиционным невозобновляемым источникам энергии в первую очередь относят термоядерную энергетику и магнитогиродинамические генераторы.

**Термоядерная энергетика.** В процессе исследования ядерных реакций было обнаружено, что целесообразно не только делить атомное ядро урана или плутония, но также и соединять тяжелые атомы водорода (дейтерий, тритий). При этом образуется благородный газ – гелий. При слиянии (синтезе) тяжелых ядер водорода высвобождается громадная тепловая энергия, превышающая энергию деления атомного ядра в расчете на 1 кг атомов.

На рис. 2.16 показана схема основных технологических контуров термоядерного реактора, работающего на смеси дейтерия (D) и трития (T).

Энергия термоядерных реакций, происходящих в плазме, выделяется в виде энергичных нейтронов (14,1 МэВ) и энергичных ионов гелия – альфа-частиц (3,5 МэВ), поглощается специальным устройством, окружающим плазму, – *бланкетом*, снимается теплоносителем первого контура охлаждения и используется для получения электроэнергии. Реактор требует снабжения дейтерием и литием. Тритий нарабатывается из лития в процессе работы реактора.

**Магнитогиродинамические генераторы.** Область науки, изучающая взаимодействие между магнитным полем и токопроводящими жидкостями и газами, называется *магнитной гидродинамикой*. Поэтому генераторы, работающие на плазменном проводнике, получили название *магнитогиродинамических генераторов* – МГД-генераторов (рис. 2.17).

Интерес к МГД-генераторам заключается в том, что с их помощью можно получать электроэнергию без движущихся машин. Газы нагреваются в камере сгорания 3 МГД-генератора до температуры 5000–7000 °С, т.е. до состояния плазмы, способной к электропроводимости, и проходят с огромной скоростью через магнитное поле магнита 2, в результате чего возбуждается электродвижущая сила. С помощью электродов генератора 1 электрический ток поступает во внешнюю цепь 9.

Однако до реализации в промышленных целях необходимо выполнить ряд специфических требований.

**Энергопоезд.** Учитывая тот факт, что разработка месторождений открытым способом интенсивно начала развиваться в начале XX в., в местах с дефицитом источников электроэнергии применялись и другие источники получения электроэнергии.

Так, для питания потребителей горных работ в 1945 г. в поселке Урал (Бородинское угольное месторождение) для получения электроэнергии использовался локомотив с установленной мощностью 1 МВт, а в 1950 г. установлен энергопоезд фирмы «Дженерал моторс». Энергопоезд Б-4 (брянского завода) мощностью 4 МВт применялся и на разрезе «Назаровский».

Необходимо отметить, что наряду с увеличением энергопотребления на горных работах интенсивно развивалась и инфраструктура района размещения мест отработки месторождений.

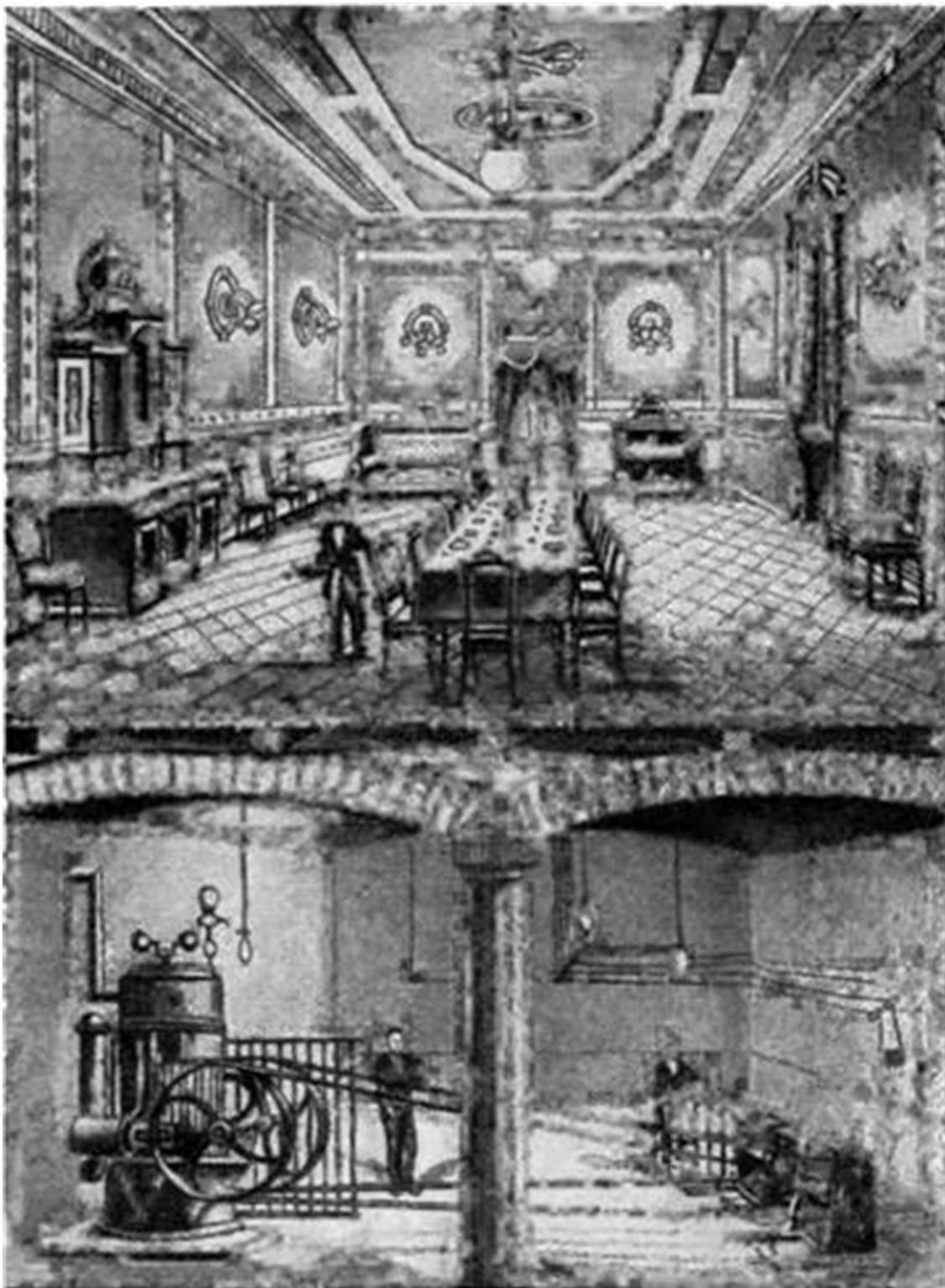


Рис. 2.1. Блок-станция с двумя генераторами для освещения одного дома

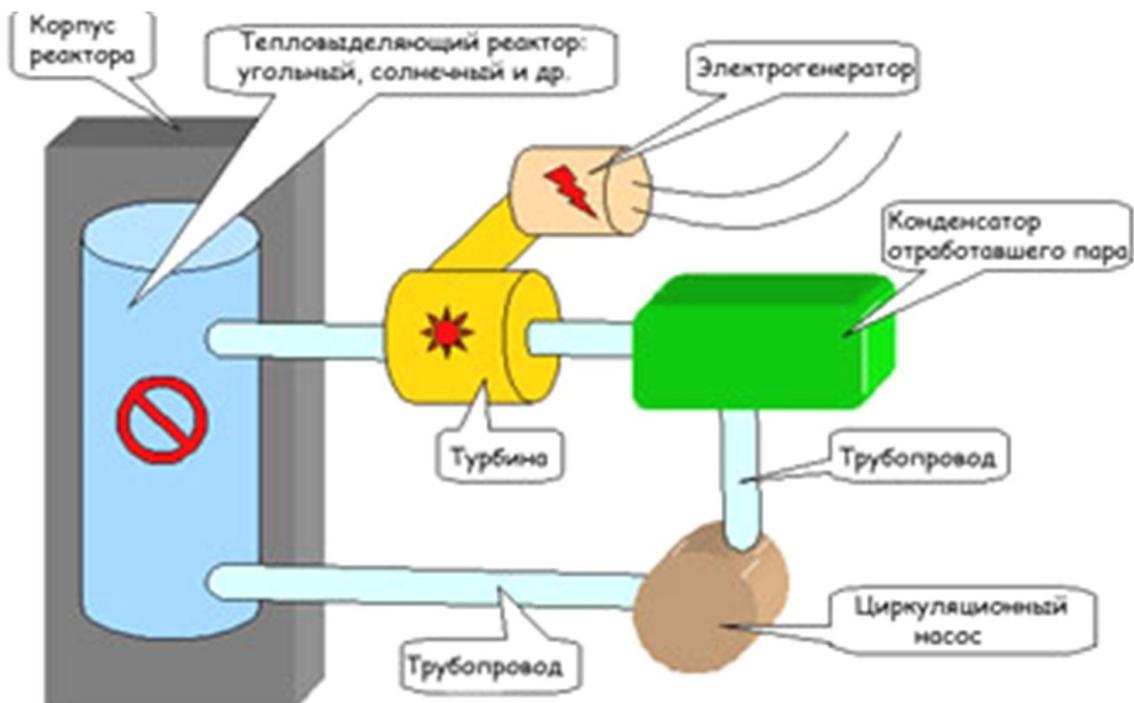


Рис. 2.2. Основные узлы тепловых электростанций

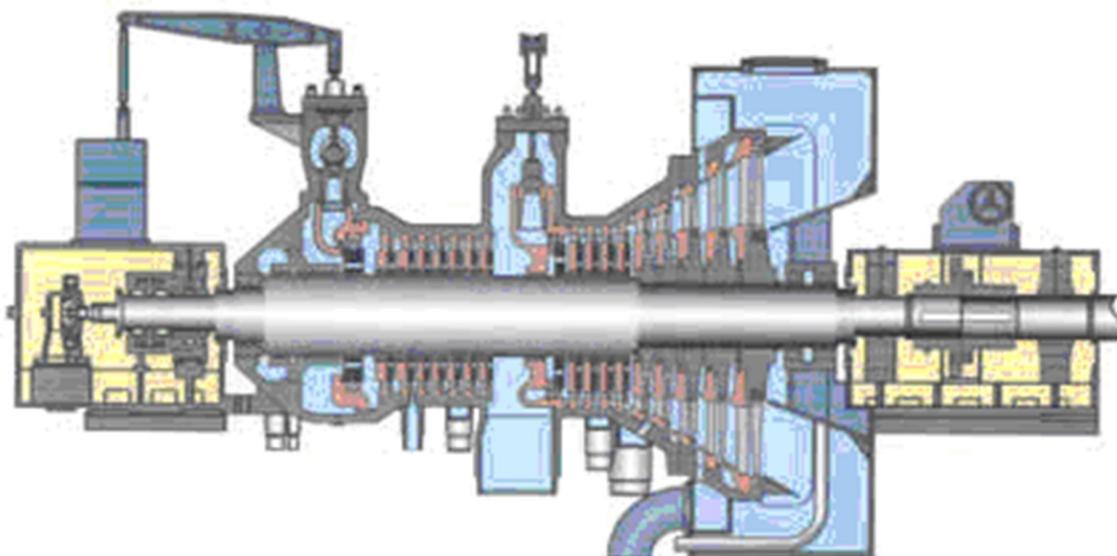


Рис. 2.3. Паровая турбина

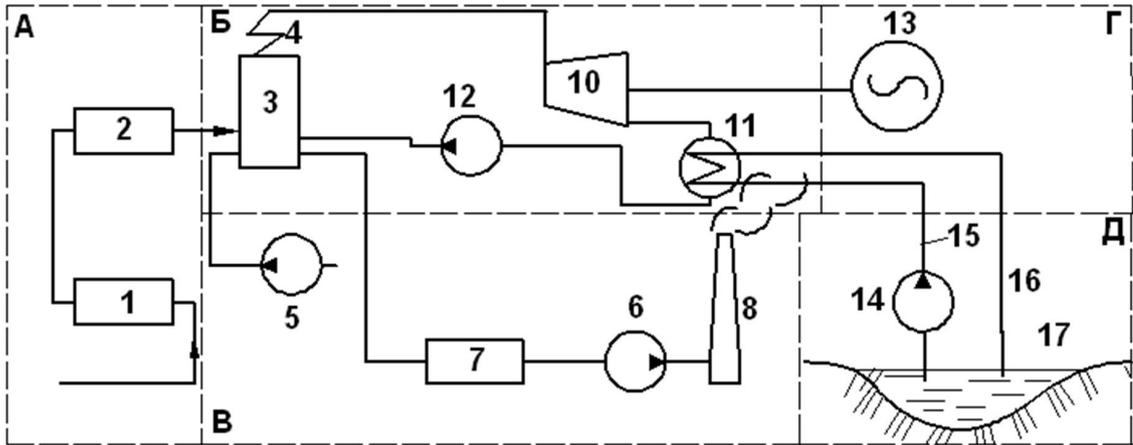


Рис. 2.4. Технологическая схема КЭС

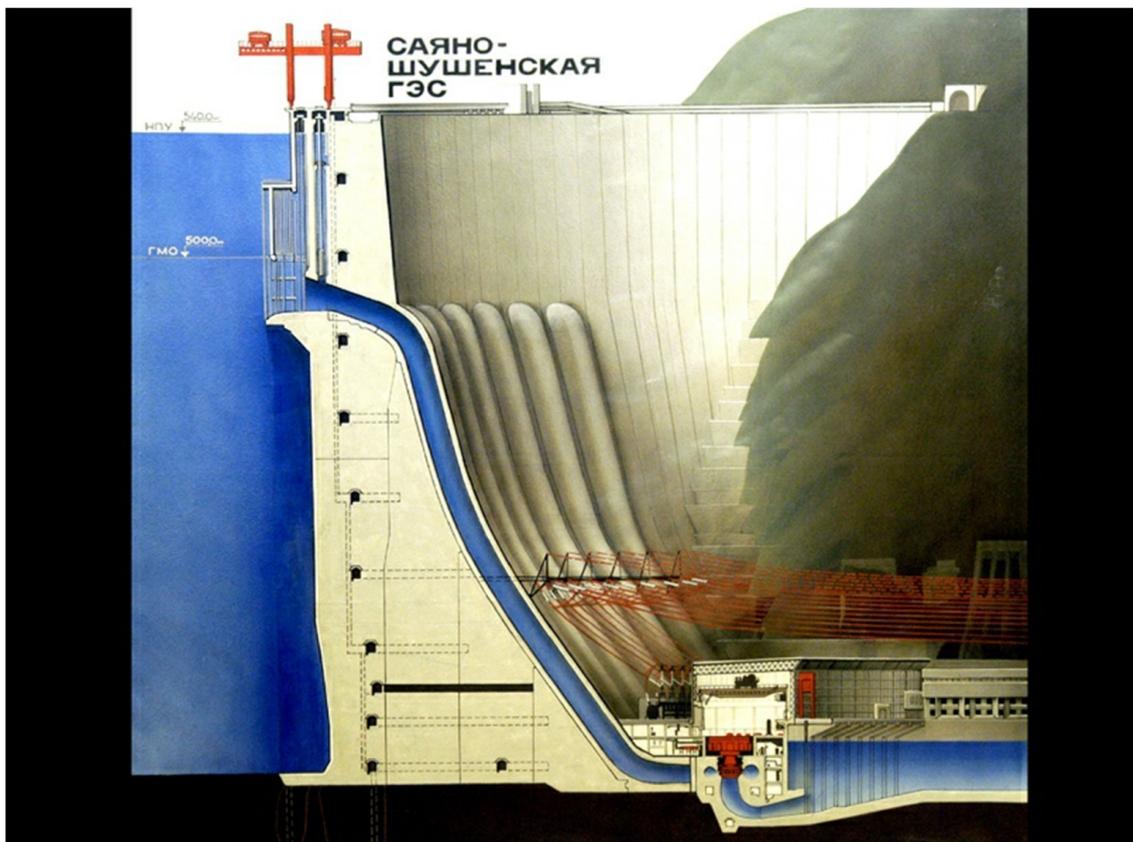


Рис. 2.5. Схема плотины ГЭС



Рис. 2.6. Гидротурбина ГЭС

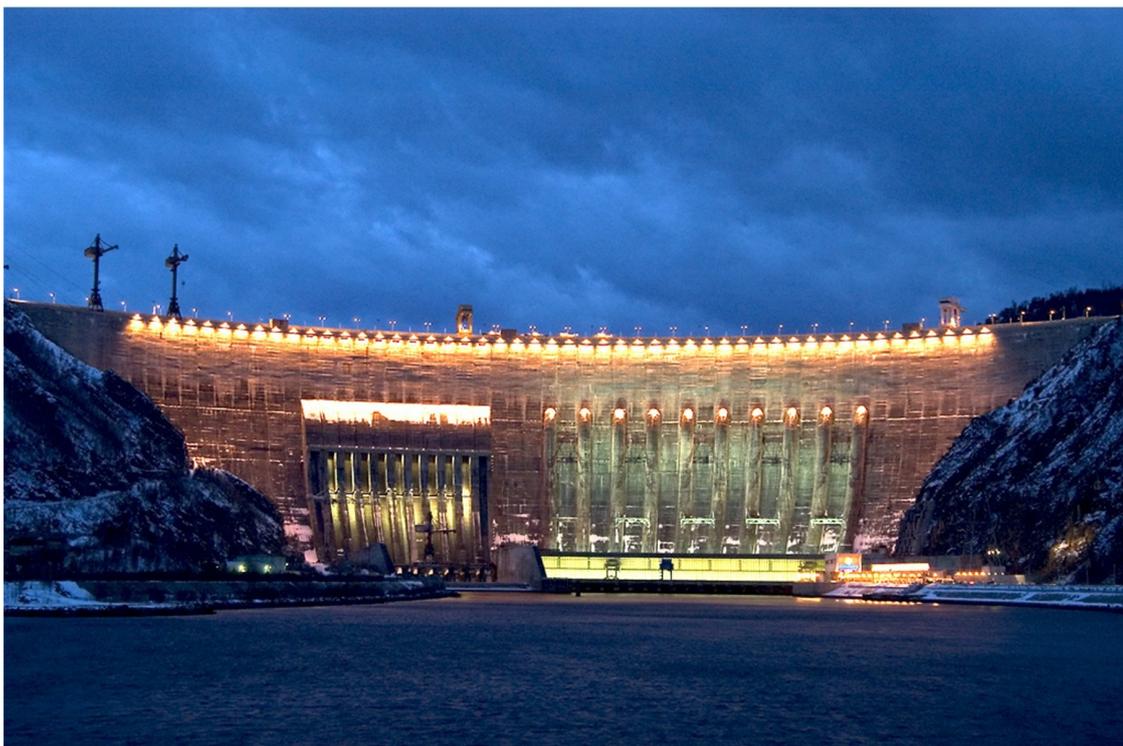


Рис. 2.7. Общий вид Саяно-Шушенской ГЭС

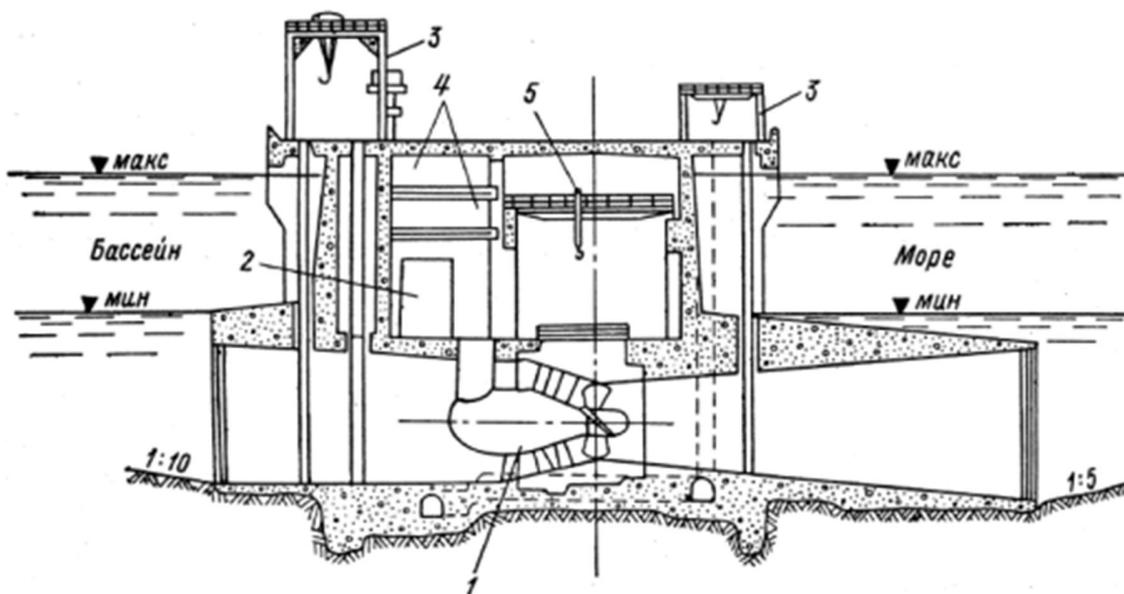


Рис. 2.8. Схема приливной электростанции: 1 – капсульный агрегат; 2 – повышающий трансформатор; 3 – козловой кран; 4 – кабельный коридор; 5 – мостовой кран машинного зала



Рис. 2.9. Гидроаккумулирующая электростанция



Рис. 2.10. Атомная электростанция

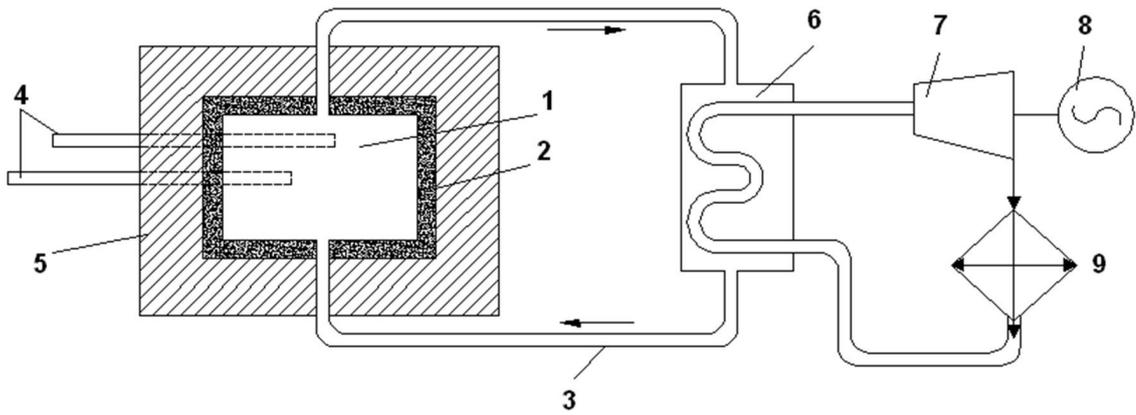


Рис. 2.11. Упрощенная схема АЭС

### Паропреобразователь

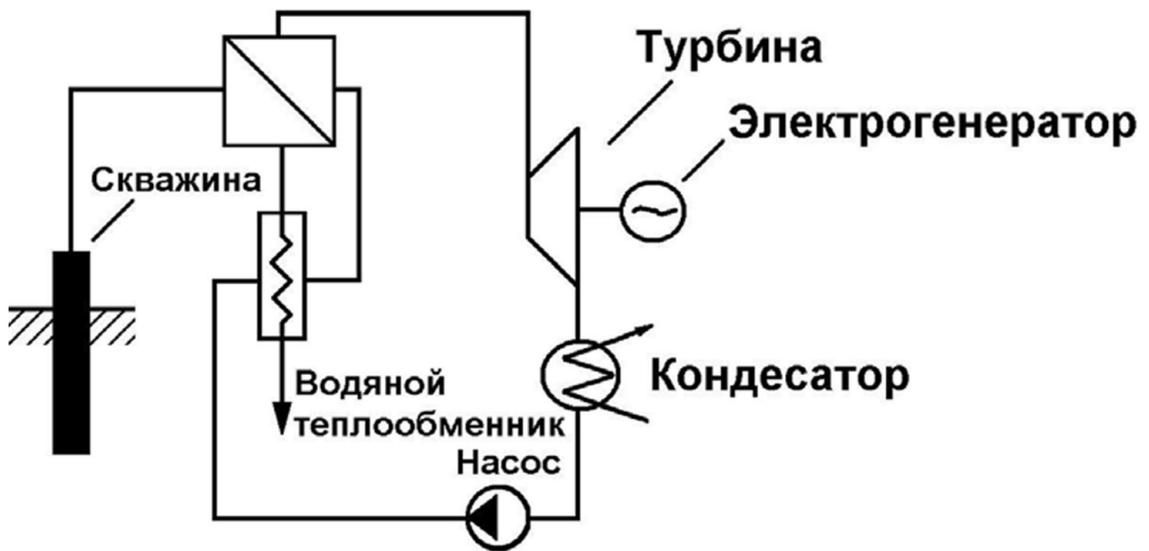


Рис. 2.12. Упрощенная схема геотермальной электростанции



Рис. 2.13. Гелиоэлектростанция



Рис. 2.14. Ветровые электростанции

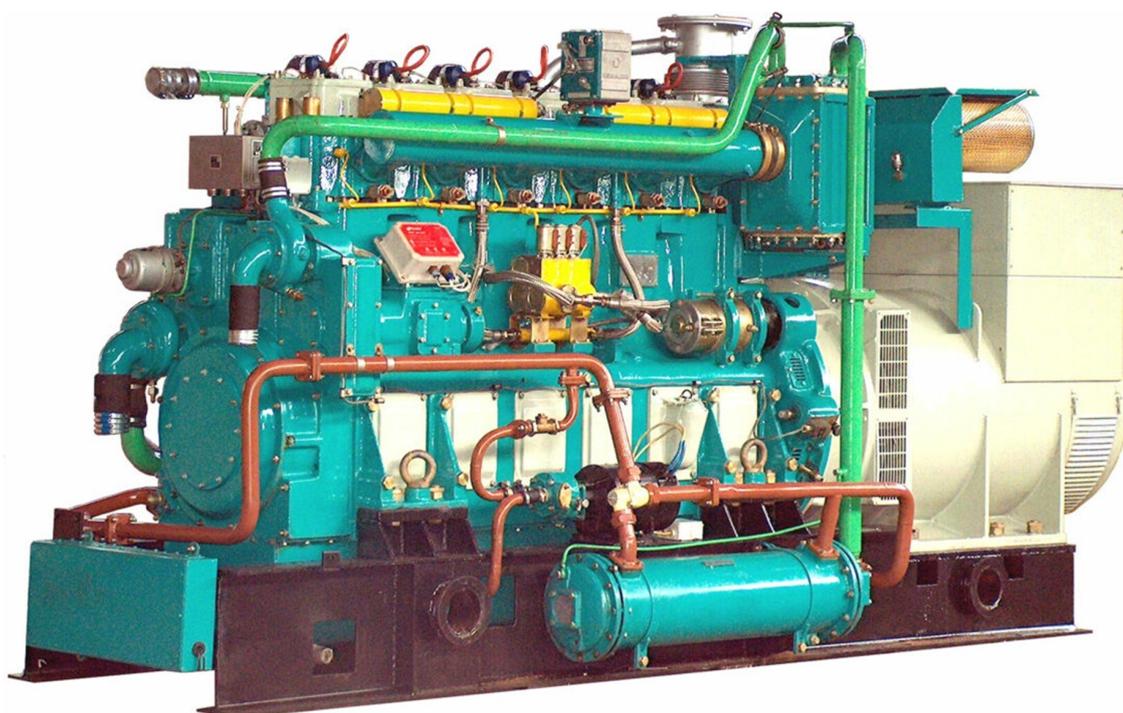


Рис. 2.15. Дизельная электростанция

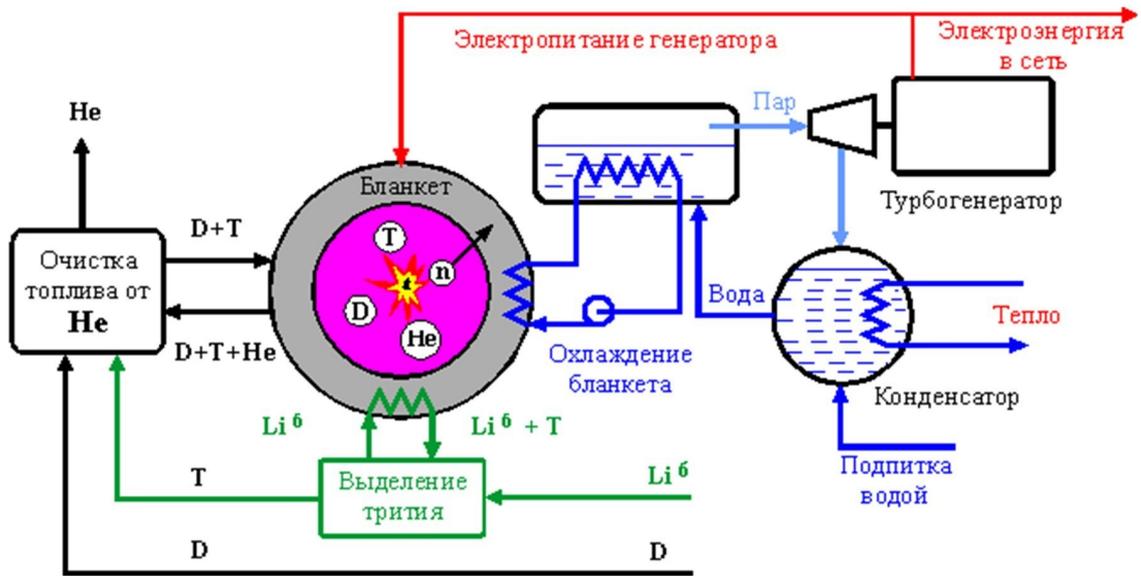


Рис. 2.16. Основные технологические контуры термоядерного реактора

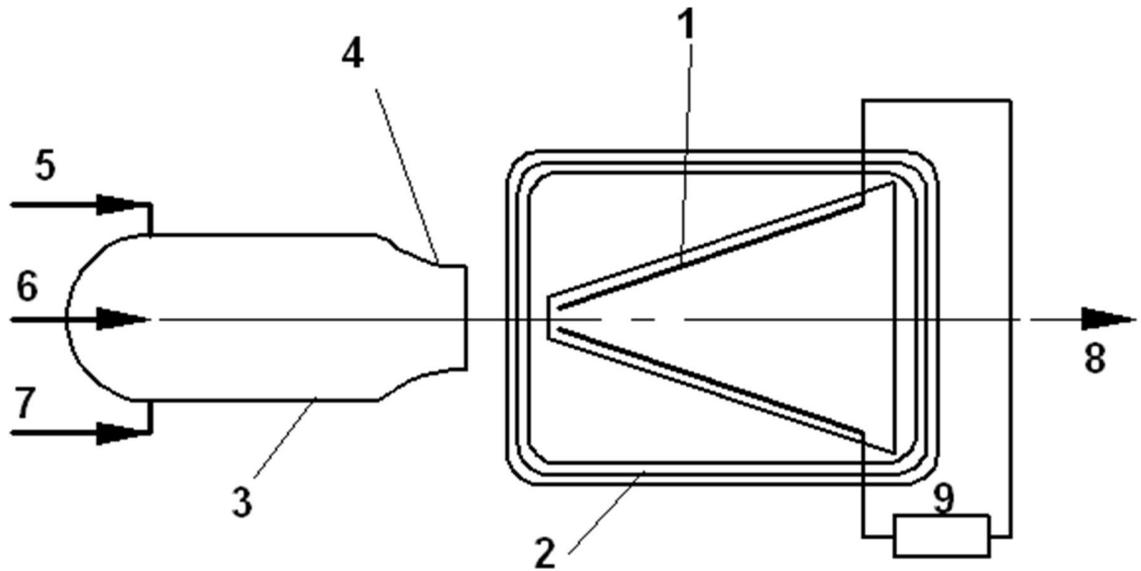


Рис. 2.17. Схема МГД-генератора: 1 – генератор; 2 – магнит; 3 – камера сгорания; 4 – сопло; 5 – подача топлива; 6 – подача воздуха; 7 – подача присадки (ионизирующей); 8 – выход газов; 9 – внешняя электрическая цепь

## **3. Электроснабжение горных работ**

### **3.1. Особенности эксплуатации электрооборудования на открытых горных работах**

Современные карьеры относят к категории промышленных предприятий, основные технологические процессы которых механизированы и электрифицированы. Применение машин и комплексов большой мощности позволяет вести горные работы широким фронтом и обеспечивать высокую производительность труда.

Создание рациональных схем электроснабжения различных электропотребителей карьеров представляет собой сложную задачу, решение которой требует учета специфических особенностей технологии, механизации и электрификации. К числу специфических особенностей электрификации относятся следующие [3]:

- эксплуатация большей части электроустановок на открытом воздухе, что предъявляет высокие требования в части обеспечения надежности линий электропередачи и электрооборудования и безопасности при их обслуживании;

- большая площадь разработок и децентрализация рабочих мест, что усложняет схемы электроснабжения машин и механизмов, участвующих в различных производственных процессах;

- непрерывное или периодическое передвижение машин и установок из-за перемещения фронта горных работ, что требует применения специальных устройств для подвода электрической энергии к передвижным машинам. Частое перемещение гибких кабелей, включая волочение по почве, приводит к повреждениям изоляции и, как следствие, к замыканию на землю, что обуславливает аварии и представляет опасность для обслуживающего персонала, постоянно работающего с кабелями, электрооборудованием, металлическими конструкциями;

- различное состояние почвы и уступов на рабочих площадках, непостоянство рабочих горизонтов, что предполагает проведение специальных мероприятий при прокладке и монтаже воздушных линий и гибких кабелей с учетом их частых перемещений и ремонтов;

- ведение взрывных работ, что создает опасность повреждений машин и установок. Это вызывает необходимость перед производством взрывов горной массы перемещать машины и установки в безопасное место, а также прокладывать воздушные линии и кабели вне зоны взрывных работ или же демонтировать и вновь их монтировать.

Кроме того, на систему электроснабжения карьера оказывают влияние такие факторы, как способ вскрытия месторождения, принятая система разработки, число и глубина рабочих горизонтов, условия экскавации и транспортирования вскрышных пород и полезного ископаемого, число, типы и режимы работы машин и установок, порядок ведения взрывных работ, организация работ и т.д. Условия эксплуатации карьерных электроустановок в разных горно-промышленных районах характеризуются крайним разнообразием. В условиях северо-востока страны в зимние месяцы наблюдаются низкие температуры. В этих условиях электроустановки должны эксплуатироваться с особой осторожностью и продуманностью. Между тем при разработке россыпных месторождений открытым способом производится вскрыша торфов, более 50 % объемов которой осуществляется с применением буро-взрывных работ, требующих, в свою очередь, работы значительного количества землеройной техники, и именно в зимний период. В условиях Средней Азии необходимо считаться с горноклиматическими факторами (труднодоступность районов и их расположение, высокие летние температуры, резкие колебания параметров атмосферы, наличие области пониженного давления, повышенная интенсивность

солнечной радиации и низкая влажность). Так, в условиях высокогорья температура почвы в местах прокладки экскаваторных кабелей достигает 333 К. Как показывает практика, при температурах выше 318 К наблюдается заметное увеличение числа отказов кабелей, причем зависимость числа отказов из-за температуры близка к линейной.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.