

16+



Николаев М.Ю., Мальгин Г.В.,
Мостовенко Л.В., Щекочихин А.В.

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА



КУРС ЛЕКЦИЙ

Нижневартовск
НВГУ
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

**Николаев М.Ю., Мальгин Г.В.,
Мостовенко Л.В., Щекочихин А.В.**

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Курс лекций

Нижневартовск
НВГУ
2021

УДК 620.9
ББК 31.1
Н 63

16+

Печатается по решению
Ученого совета ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»
протокол № 1 от 26 января 2021 г.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *В.К. Федоров*;

д-р техн. наук, проф. *Е.В. Птицына*

Николаев М.Ю., Мальгин Г.В., Мостовенко Л.В., Щекочихин А.В.

Н 63 **Общая энергетика : курс лекций /** М.Ю. Николаев, Г.В. Мальгин,
Л.В. Мостовенко, А.В. Щекочихин. Нижевартовск: изд-во НВГУ, 2021. 105 с.

ISBN 978-5-00047-614-7

В данном учебном издании рассмотрены все основные способы получения электрической и тепловой энергии. Оно включает в себя следующие темы: промышленные способы выработки тепловой и электрической энергии, включая все традиционные, классификация нетрадиционных источников энергии, способы выработки энергии от нетрадиционных источников, перспективные способы получения энергии.

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Общая энергетика» для направлений подготовки бакалавриата 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», специальности 13.05.01 «Тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов» дневной и заочной форм обучения.

ББК 31.1



Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISBN 978-5-00047-614-7



9 785000 476147

© Николаев М.Ю., Мальгин Г.В.,
Мостовенко Л.В., Щекочихин А.В., 2021
© НВГУ, 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ	6
2. ТЕПЛОВЫЕ КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	9
3. ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ	22
4. ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ	24
5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ	27
6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	31
7. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	36
8. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	40
9. ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	47
10. НАДЕЖНОСТЬ АЭС	53
11. МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ	56
12. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ	60
13. РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	62
14. ТЕРМОЭМИССИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ	63
15. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ	65
16. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	67
17. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ	70
18. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	72
19. ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА	75
20. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА	82
21. ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	85
22. ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, ЖИВОТНЫЙ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР	87
23. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	88
24. КАК РЕШАЕТСЯ ПРОБЛЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ	97
ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВСЕМУ КУРСУ ИЗУЧЕННОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	103

Введение

Российский топливно-энергетический комплекс, начало которому было заложено ещё в XIX веке, по объёмам выработки и экспорта электроэнергии занимает четвёртое место в мире. Сегодня российская энергетика – это одна из базовых отраслей, обеспечивающая страну энергетическими ресурсами. Количество занятого в ней персонала превышает 2 млн. человек. Вклад в экономику страны превышает 3% ВВП.

Современная энергосистема России располагает 846 крупными электростанциями общей мощностью более 250 ГВт. Выработка электрической энергии в 2019 году достигла 1096 млрд. кВт·ч, что на 0,4% больше аналогичного показателя в 2018 году[13].

Основу энергетической мощи страны составляют тепловые электростанции (ТЭС) с суммарной установленной мощностью 164,6 ГВт. На их долю приходится две трети выработки электрической энергии в стране, что в 2019 году равнялось 616,8 млрд. кВт·ч. Это на полпроцента ниже уровня 2018 года.

Количественное расположение станций обусловлено экономическим потенциалом регионов, питающихся от объединённых энергосистем различных районов страны.

В настоящее время теплоэнергетика переживает своё второе рождение. Изношенное в результате длительной эксплуатации оборудование заменяется современным. Увеличивается генерация электростанций за счёт монтажа новых высокопроизводительных энергоблоков производительностью до 800 МВт (Берёзовская, Каширская, Пермская, Троицкая ГРЭС).

Задачей учебного пособия является ознакомление студентов направлений подготовки бакалавриата 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», специальности 13.05.01 «Тепло- и электрообеспечение специальных технических систем и объектов» с основными законами термодинамики, соотношением их с работой электростанций и ознакомление со всевозможными традиционными и нетрадиционными способами выработки электроэнергии.

1. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Закон сохранения энергии при рассмотрении тепловых преобразований называется *первым законом термодинамики*. Раскроем этот принцип на примере абстрактного физического тела, обладающего конечной массой. В начальный момент времени тело вступило в тепловое равновесие с окружающей средой, т. е. тело не отдает теплоту в окружающую среду, а также не получает теплоту из окружающей среды, изменение внутренней энергии этого тела $\Delta U=0$. При подведении теплоты Q к телу его энергия увеличивается ΔU на величину $\Delta U=Q$. Система может совершить тепловую работу A за счёт отдачи своей энергии в окружающую среду и понижения температуры. Если одновременно подводить к рассматриваемому телу энергию в виде теплоты Q , когда тело продолжает совершать работу A , то изменение энергии системы $\Delta U=Q-A$. Если энергия системы является постоянной величиной, то вся тепловая работа, совершаемая телом, будет равна теплоте, которая подводится к этому телу, то есть $A=Q$. Рассмотренное выше уравнение – это выраженный в количественной форме первый принцип термодинамики, который гласит, что для получения работы без изменения внутренней энергии рассматриваемого тела к нему необходимо подводить теплоту. Поэтому невозможно создать двигатель, который мог бы совершать работу без получения теплоты. Т. е. невозможно создать *вечный двигатель первого рода*, потому что двигатель не может совершать никакую тепловую работу без подведения к нему теплоты.

В термодинамике принимаются допущения и рассматриваются рабочие тела (среды), у которых температура и давление в занимаемом объеме, приложенное ко всей поверхности тела, всегда одинаковы.

В новейших модернизированных теплоэлектростанциях (ТЭС), государственных районных электрических станциях (ГРЭС) преобразование теплоты в работу происходит в термодинамических циклах с рабочим телом в виде перегретого пара-конденсата.

Цикл термодинамики преобразования теплоты в работу с помощью рабочего тела, а именно водяного пара-конденсата впервые был предложен в середине XIX века шотландским инженером Уильямом Джоном Макуорни Ранкиным (Ренкиным) – одним из создателей технической термодинамики. Принципиальная технологическая схема тепловой электрической станции (ТЭС), работающей по циклу Ренкина (назван в честь автора) (рис. 1.1), состоит из парогенератора 1, паровой турбины 2, электрического генератора 3, теплового конденсатора 4, питательного насоса 5. В парогенераторе происходит специальное сжигание топлива, а получаемая теплота перегревает воду, которая интенсивно испаряется. Это AB – изобарный процесс увеличения объема при постоянном давлении на диаграмме цикла Ренкина. Пар, полученный из испаряющего рабочего тела в парогенераторе 1, направляется в паровую турбину 2, где происходит его расширение и столкновение молекул пароводяной смеси с рабочими лопатками турбины. В результате происходит постоянный переход внутренней энергии пара в механическую, т. е. в турбине совершается полезная

работа преобразования внутренней энергии пара в механическую энергию вращения вала турбины. Адиабата BC – это процесс расширения пара в турбине в идеальном цикле Ренкина (рис. 1.2). Механическая энергия вращения вала турбины 2 передается ротору электрического генератора 3 за счёт жесткой механической связи (вал всех ступеней паровой турбины 2 и ротор электрического генератора 3 на тепловых станциях расположены на одной общей оси). Механическая энергия вращает ротор электрического генератора, где создается вращающееся круговое магнитное поле, которое пересекает неподвижные обмотки статора электрического генератора. Обмотки статора разделены на три сектора, расположенных под углом 120° . Таким образом образуются три фазы: А, В, С. На этих секторах обмотки статора создается электродвижущая сила (ЭДС), образуется напряжение, которое передается в электрическую сеть. Далее отработанный в паровой турбине 2 пар конденсируется за счёт подвода охлаждающей воды в тепловом конденсаторе 4. Конденсации пара соответствует участок CD – изобарный процесс. Полученный конденсат из пара с помощью питательного центробежного насоса 5 поступает в парогенератор, что сопровождается возрастанием давления воды при постоянном объеме на участке DA – изохорный процесс.

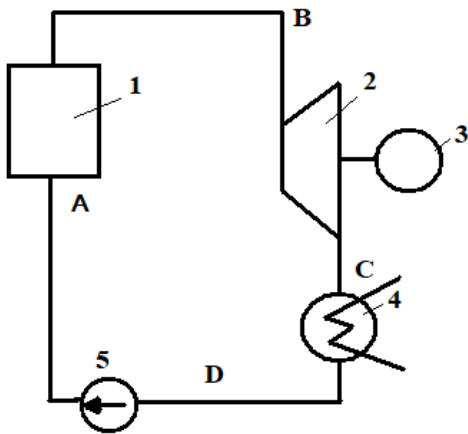


Рис. 1.1. Идеальный цикл Ренкина, или обобщенная технологическая схема тепловой электростанции: 1 – парогенератор; 2 – турбина; 3 – электрический генератор; 4 – конденсатор; 5 – насос; ABC – пар; CDA – конденсат

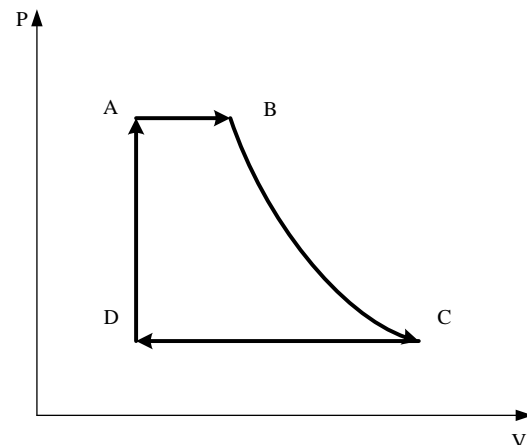


Рис. 1.2. Схема идеального цикла Ренкина паросиловой установки: AB – подвод теплоты рабочему телу в парогенераторе; BC – преобразование энергии пара в механическую энергию в турбине; CD – охлаждение пара в конденсаторе; DA – подача насосом конденсата в парогенератор

КПД идеального цикла Ренкина получается в результате отношения теплоты, затраченной на работу, ко всей полученной в результате сгорания топлива теплоте в парогенераторе:

$$\text{КПД} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

где Q_1 – количество теплоты, участвовавшее в преобразовании рабочего тела в парогенераторе; Q_2 – количество теплоты, отведённое с помощью охлаждающей воды в тепловом конденсаторе.

Контрольные вопросы

1. В чём заключается первый закон термодинамики?
2. Возможно ли создать вечный двигатель первого рода? Почему?
3. Какой процесс происходит в тепловом конденсаторе? За счёт чего он происходит?
4. От чего зависит КПД идеального цикла Ренкина?
5. Какой физический смысл имеет площадь под графиком в PV -диаграмме?

2. ТЕПЛОВЫЕ КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Тепловые конденсационные электрические станции делятся на два вида: теплоэлектростанции (ТЭС) и государственные районные электрические станции (ГРЭС). На них происходит преобразование топлива в теплоту, теплота преобразуется в механическую энергию, а она в свою очередь преобразуется в электрическую энергию. При этом пароконденсатная смесь используется в качестве рабочего тела [16].

В роли теплового двигателя на ТЭС используется паровая турбина. Тепловые двигатели – это механизмы, получающие механическую энергию упорядоченного вращения вала за счёт преобразования тепловой кинетической энергии неупорядоченного движения молекул пара или газа.

Тепловые двигатели разделяются по своим параметрам:

- по виду используемого рабочего тела – пар или газ;
- по способу преобразования тепловой энергии в механическую – поршневой или роторный (табл. 2.1).

В поршневом способе работы двигателя потенциальная энергия рабочего тела, полученная при его перегреве, работает на преобразование в механическую энергию. В роторном способе – движущиеся с большой скоростью частицы, обладающие большим запасом кинетической энергии, соударяются с механическими лопатками, происходит преобразование в механическую энергию.

Таблица 2.1

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

Паровая машина – это первый изобретённый тепловой двигатель, который широко использовался в XVIII, XIX, начале XX вв. Из-за больших потерь теплоты при работе в настоящее время она практически не используется. Сегодня миром правят двигатели внутреннего сгорания, имеющие более высокий коэффициент полезного действия (КПД) в сравнении с паровыми машинами. В большой энергетике двигатели внутреннего сгорания используются в качестве мобильных генераторов небольшой мощности. На современных мощных ТЭС устанавливают модернизированные паровые и газовые турбины, объединяя некоторые в общее управление производственным циклом.

Эффективность работы тепловых двигателей стремятся максимально увеличить за счёт повышения температуры рабочего тела и его давления до значений, приемлемых по условиям механической прочности конструкционных материалов к котлоагрегатам большой мощности.

На современных ТЭС выдерживают следующие параметры рабочего тела: температура пара около 600°C, его давление 25 МПа. Для охлаждения рабочего тела используется

техническая холодная вода, которая понижает его температуру до 30–40°С. При этом давление пара снижается.

На рисунке 2.1 схематически показаны стадии преобразования энергий на ТЭС.

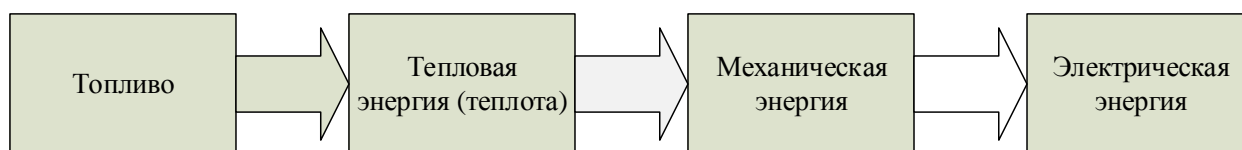


Рис. 2.1. Схема преобразования энергии на ТЭС

Все рассмотренные виды энергии преобразуются на ТЭС в следующих элементах: в парогенераторах – получение теплоты в результате сжигания органического топлива и преобразование за счёт неё конденсата в пар; в паровых турбинах – преобразование внутренней энергии молекул пара в механическую энергию вращения вала турбины; в электрических генераторах – преобразование механической энергии вращения ротора в энергию вращающегося магнитного поля, а затем и в электрическую энергию, снимаемую с обмоток статора генератора; в тепловых конденсаторах – отвод теплоты и охлаждение отработанного в паровой турбине пара с помощью технической охлаждающей воды. С помощью насосов высокого давления полученный конденсат отправляется обратно в парогенератор, и цикл преобразования рабочего тела повторяется.

Схема тепловой станции приведена на рисунке 2.2 и более подробно показана на рисунке 2.3. Технологический процесс работы ТЭС заключается в следующем. Из бункера 1 (рис. 2.3) уголь по специальным ленточным конвейерам поступает в дробильную мельницу 2, где он превращается в мелкую пыль. Угольная пыль смешивается с воздухом из дутьевого вентилятора 3' и подается в топку котла 3. Теплота, получаемая при сгорании угля, используется для преобразования воды в пар в испарительных трубах экрана 4. Вода, проходя по змеевику водяного подогревателя 5, накачивается главным питающим циркуляционным насосом 14 в барабан котла 5'. Пар, нагретый потоком горячих газов, впоследствии уходящих в трубу 6, обладая высокими температурой и давлением, подаётся на первую ступень турбины 7, а затем на вторую ступень 8. В паровой турбине энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора генератора 9, который вырабатывает электрическую энергию. Отработанный в турбине пар поступает в тепловой конденсатор 13, преобразуется в конденсат, который с помощью главного питающего циркуляционного насоса 14 подаётся в котёл, и цикл преобразования конденсата в пар повторяется. Охлаждение пара в тепловом конденсаторе производится с помощью технической циркуляционной воды, забираемой из водоёма (пруда или реки) 11, накачиваемой циркуляционным насосом 12 и вновь выбрасываемой в обратном направлении в водоём. Продукты сгорания угля проходят через специальные очистительные электрические или рукавные фильтры (не показанные на рис. 2.3), где на осадительных электродах или в матерчатых рукавах отделяется зола, твердые частички несгоревшего угля и прочие примеси, а оставшиеся газы через трубу 6 выбрасываются в атмосферу. Электрическая энергия, получаемая от трех идентичных обмоток статора

генератора, образует трехфазное напряжение и ток, который поступает в электрическую систему через выводы 10.

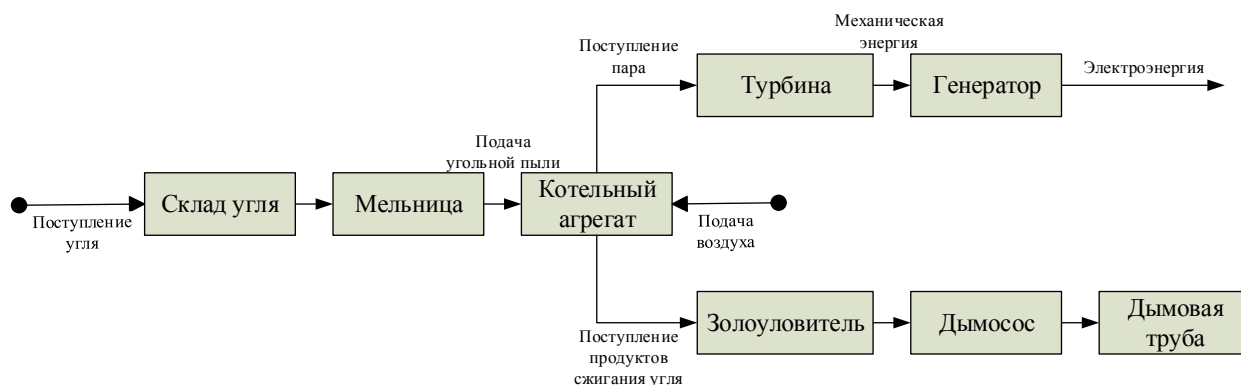


Рис. 2.2. Схема преобразования теплоты сгорания топлива в электрическую энергию на ТЭС.

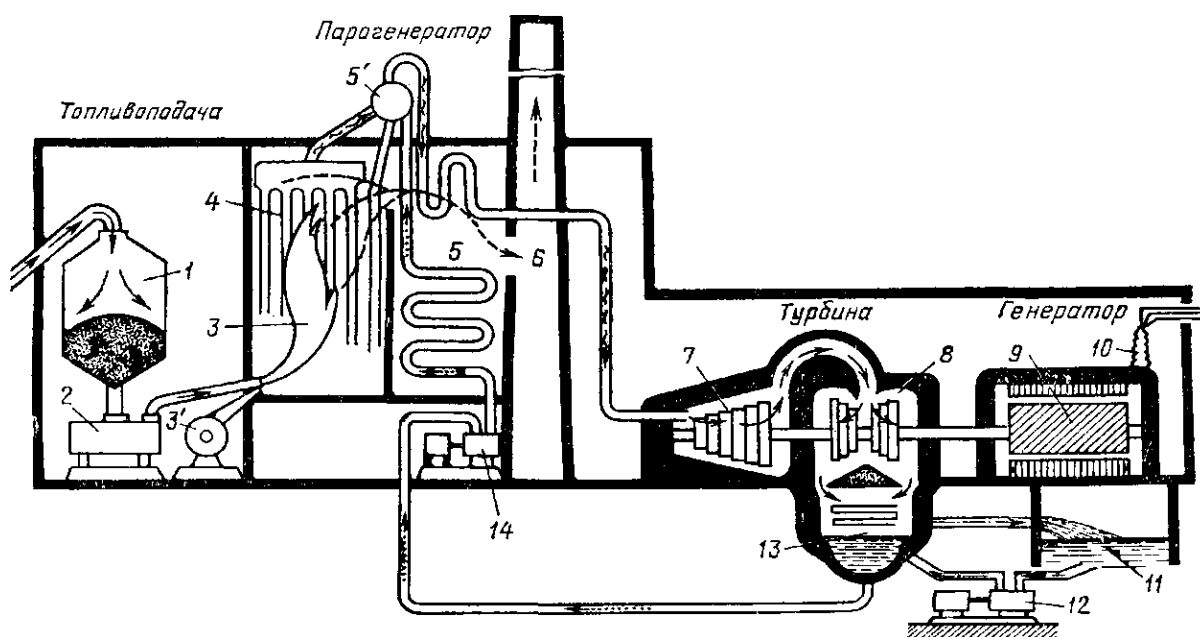


Рис. 2.3. Схема технологического процесса тепловой конденсационной электрической станции:
 _____ уголь; - - - - - горячие дымовые газы; ~~~ пар; конденсат;
 -.-.-.-. охлаждающая техническая циркуляционная вода (<https://clck.ru/XknJ2>)

На рисунке 2.4 представлена принципиальная схема работы ТЭЦ в конденсационном режиме. Обычно блоки станции (котельный агрегат – турбина – электрический генератор) ТЭЦ работают в таком режиме в летний период плановых ремонтов. При этом некоторые блоки ТЭЦ не отдают пар промышленным потребителям и не нагревают сетевую воду теплоносителя тепловой сети. Опишем принцип работы станции в этом режиме: в котлоагрегате 1 сжигается органическое топливо. Полученный в пароперегревателях перегретый пар по паропроводам 2 подается на сопловые и рабочие лопатки паровой турбины 3. Паровая турбина имеет три ступени отбора пара (пронумеруем как 1-я, 2-я, 3-я слева направо). Пройдя через сопловые и рабочие лопатки цилиндра высокого давления паровой турбины 3, пар 1-й ступени (ЦВД) попадает в промежуточный подогреватель конденсата 7 (подогреватель высокого давления ПВД) и отправляется в деаэратор 8. Пар 2-й ступени,

пройдя через сопловые и рабочие лопатки цилиндра среднего давления (ЦСД) паровой турбины 3, направляется сразу в деаэратор 8. Пар 3-й ступени, пройдя через сопловые и рабочие лопатки цилиндра низкого давления (ЦНД) паровой турбины 3, направляется в промежуточный теплообменник 7 (подогреватель низкого давления) ПНД, а затем сбрасывается в тепловой конденсатор 5. Проходя через ЦВД, ЦСД и ЦНД, пар заставляет вращаться вал паровой турбины, с которым на одной оси располагается ротор электрического генератора 4, с обмоток статора которого снимается электрическая энергия. Остатки пара за счёт вакуума, создаваемого дренажными вакуум-насосами (располагаются на нулевой отметке станции, на рисунке не показаны), направляются в тепловой конденсатор 5. Как правило, тепловые конденсаторы располагаются непосредственно под технологическим блоком турбина-генератор. За счёт подводимой к теплому конденсатору 5 охлаждающей воды пар конденсируется на охлаждающих трубках, и капли конденсата под действием силы тяжести стекают в нижнюю часть теплового конденсатора, откуда питательным насосом 6 подаются через промежуточный теплообменник 7 в деаэратор 8. Деаэратор имеет высокий цилиндрический корпус и предназначен для удаления из паро-конденсатной смеси растворённого воздуха и кислорода, за счёт чего значительно замедляются коррозионные процессы на многочисленных металлических тепловых поверхностях тепловых блоков. Из деаэратора после удаления растворённого воздуха и кислорода питательным насосом 6 конденсат подаётся через промежуточный теплообменник 7 в парогенератор 1, и цикл преобразований рабочего тела пар-конденсат повторяется. Часть объема рабочего тела неизбежно утрачивается в виде разнообразных потерь, поэтому для пополнения рабочего тела (котловой воды) предназначены специальные очистительные устройства и установки, объединённые в питатели 9.

Если внимательно сравнить рисунки 2.4 и 2.5, то работа ТЭЦ в теплофикационном режиме происходит принципиально так же, как и при конденсационном, но добавляются два важных элемента – отбор пара на технологические нужды химических процессов и производств 10 после 1-й ступени паровой турбины 3. Кроме того, после 2-й ступени пар нагревает сетевую воду 11 подогревателя сетевой воды 12.

Далее изучим принцип работы теплового сердца станции – парогенератора (котлоагрегата). На ТЭЦ и ГРЭС парогенераторы также называют котельными агрегатами. В их топке сжигается превращённый в мелкую пыль уголь, газ или распылённый мазут при температурах порядка 1500–2500°С. Для оптимизации процессов горения топлива в топку с помощью дутьевых вентиляторов в больших количествах подается воздух, подогреваемый в специальных воздухоподогревателях за счёт остаточной теплоты горячих газов из топки. Выделяемая в процессе сгорания органического топлива теплота перегревает воду, превращает её в пар, и увеличивает его температуру и давление до расчётных значений. Получаемые в процессе сжигания топлива горячие газы дымососами вытягиваются из парогенератора и подаются в очистительные устройства (мокрые скруббера, электрические или рукавные фильтры, инерционные циклоны – в зависимости от используемого вида органического топлива), а затем направляются в дымовую трубу [17].

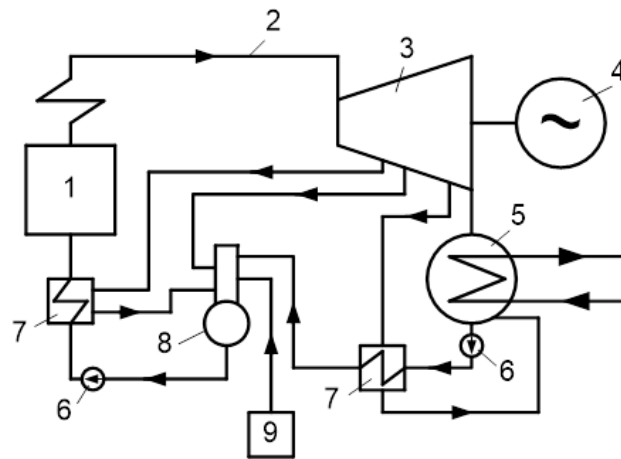


Рис. 2.4. Схема работы ТЭЦ в конденсационном режиме: 1 – парогенератор (котлоагрегат); 2 – паропровод; 3 – паровая турбина; 4 – турбоэлектрогенератор; 5 – конденсатор; 6 – насосы; 7 – регенеративные водоподогреватели; 8 – деаэрактор; 9 – водоподготовительная установка. (<https://clck.ru/XknJ2>)

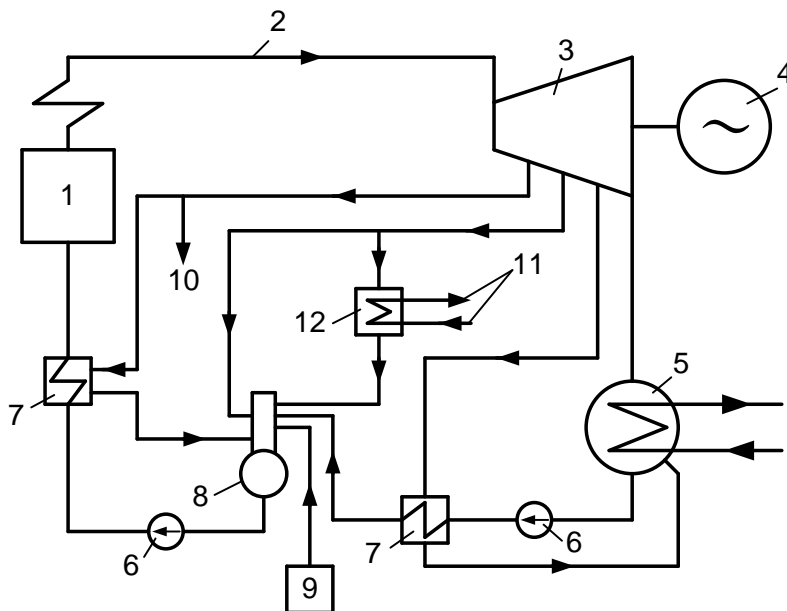


Рис. 2.5. Схема работы ТЭЦ в теплофикационном режиме: 1 – парогенератор (котлоагрегат); 2 – паропровод; 3 – паровая турбина; 4 – турбоэлектрогенератор; 5 – конденсатор; 6 – насосы; 7 – регенеративные водоподогреватели; 8 – деаэрактор; 9 – водоподготовительная установка; 10 – отбор пара на производство; 11 – подогрев сетевой воды; 12 – подогреватель сетевой воды

По своему конструктивному выполнению котельные агрегаты делят на два вида: барабанные и прямоточные.

Барабанный парогенератор, работающий на твёрдых видах органического топлива (каменном угле) (рис. 2.7), имеет стальной барабан 10, в нижней части которого находится конденсат, а в верхней части – пар. По специально предусмотренным опускным трубам 11, которые располагаются за пределами обмуровки котлоагрегата, вода из барабана поступает в водяные коллекторы 12, а затем во многочисленные трубки теплового экрана 5, которые располагаются непосредственно в топочной камере 2. В ней располагаются растопочные горелки 1, на которые подается растопочное топливо. Как правило, это мазут или природный

газ. По специальным транспортёрам в зону холодной воронки 3 подаётся угольная пыль, которая загорается благодаря горящему факелу, перегревая и испаряя воду в трубах экрана 5. Образующиеся несгораемые частицы угля – шлак – попадает в шлаковый комод, откуда с помощью специальных транспортёров (на рисунке не показаны) удаляется на золоотвал. Полученный в трубах экрана 5 пар устремляется в фестоны 6 и барабан котла 10. Из барабана пар перегревается за счёт остаточной теплоты горячих газов в пароперегревателе 7 и по паропроводам направляется на ЦВД паровой турбины (на рисунке не показаны). Вода поступает в трубки экрана 1, покрывающие стенки топки 7. Горячие газы за счёт тяги дымососа 14 вытягиваются из топочной камеры 2 в направлении золоуловителя 13. По своему пути следования за счёт остаточной теплоты газы подогревают воду в экономайзере 8, которая подаётся питательным насосом после конденсатора в парогенератор. Уходящие горячие газы подогревают воздух в воздухоподогревателе 9, который нагнетается с помощью дутьевого вентилятора 15 и подаётся в топку для интенсивности процесса горения топлива. Золоуловитель 13 в данном случае представляет очистительное устройство циклонного типа, откуда зола транспортируется на золоотвал. В крупном котельном агрегате каждый час испаряются сотни тонн котловой воды, и поэтому трубки имеют общую длину до 50 км. На рисунке 2.6 показана общая схема работы барабанного парогенератора, где 1 – трубки экрана, расположенные в топке котла 7, опускные трубы 2, барабан котла 3, пароперегреватель 4, водоподогреватель (экономайзер) 5, воздухоподогреватель 6.

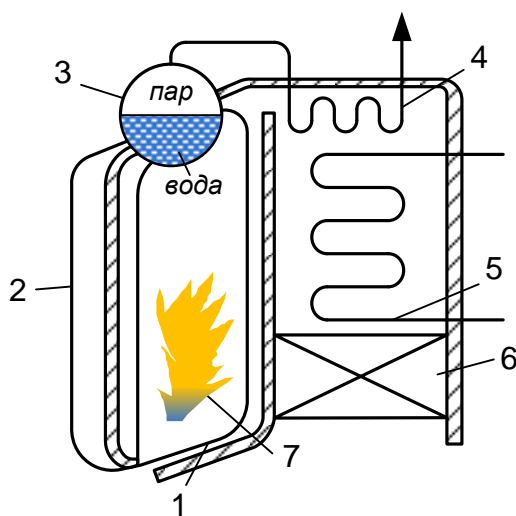


Рис. 2.6. Схема работы барабанного парогенератора

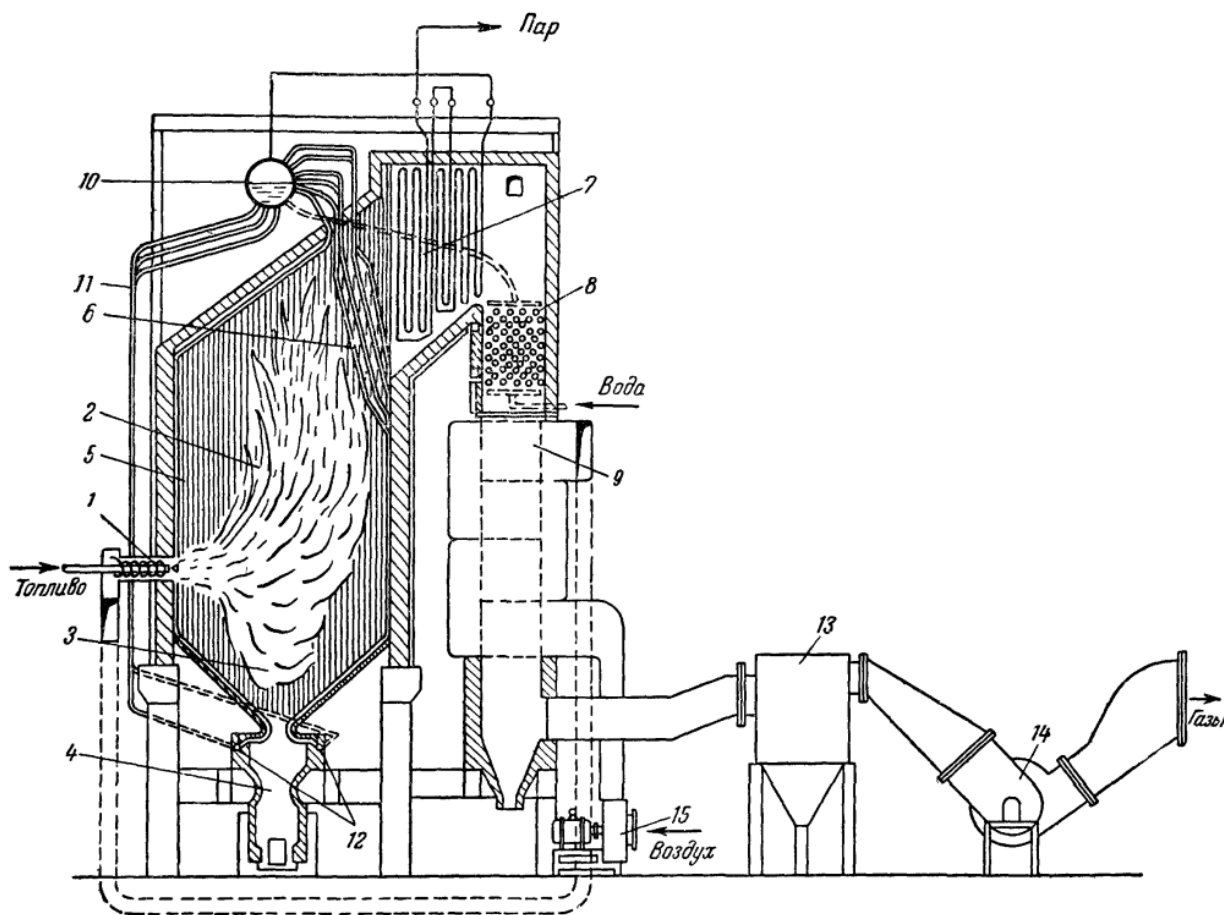


Рис. 2.7. Схема работы барабанного парогенератора (котельного агрегата) с естественной циркуляцией котловой воды, работающего на каменном угле: 1 – горелка, 2 – топочная камера, 3 – холодная воронка, 4 – шлаковый комод; 5 – экраны, 6 – фестон, 7 – пароперегреватель, 8 – экономайзер, 9 – воздухоподогреватель, 10 – барабан котла, 11 – опускные трубы, 12 – коллекторы, 13 – золоуловитель, 14 – дымосос, 15 – дутьевой вентилятор (<https://clck.ru/XknJ2>)

Рассмотрим работу прямоточного парогенератора на примере рисунка 2.9 и упрощённой схемы (рис. 2.8). Следует отметить, что современные парогенераторы, рассчитанные на блочные схемы мощных электрических генераторов до 800 МВт, в силу технологических особенностей выполняются прямоточными. В таких котлоагрегатах [4] отсутствует барабан, что уменьшает его габариты и затраты на металл. В топке прямоточного парогенератора сжигается органическое топливо. В ней находится испарительная поверхность нагрева 2 с радиальными и коллекторными трубами. Получаемый в результате нагревания и интенсивного испарения пар направляется в переходную зону перегрева 3, где дополнительно перегревается за счёт температуры горячих дымовых газов, полученных вследствие сжигания топлива в топке. Далее пар поступает в пароперегреватели 4 и 5 и на лопатки паровой турбины. Котловая вода после конденсаторов питательным насосом (на рисунке не показаны) за счёт теплоты горячих газов подогревается в экономайзере 1 и поступает в водяные коллекторы поверхности нагрева 2. Воздух перед подачей в топку также предварительно подогревается за счёт остаточной теплоты горячих газов в воздухоподогревателе 6. На упрощённой схеме работы прямоточного парогенератора

(рис. 2.8) показаны испарительные трубки экрана 1, расположенные в топке котла, пароперегреватель 2, водяной экономайзер 3 и воздухоподогреватель 4.

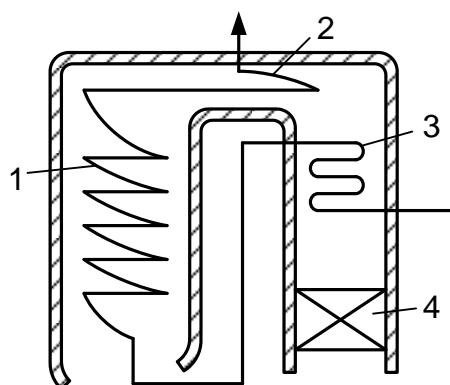


Рис. 2.8. Схема работы прямоточного парогенератора (<https://clck.ru/XknJ2>)

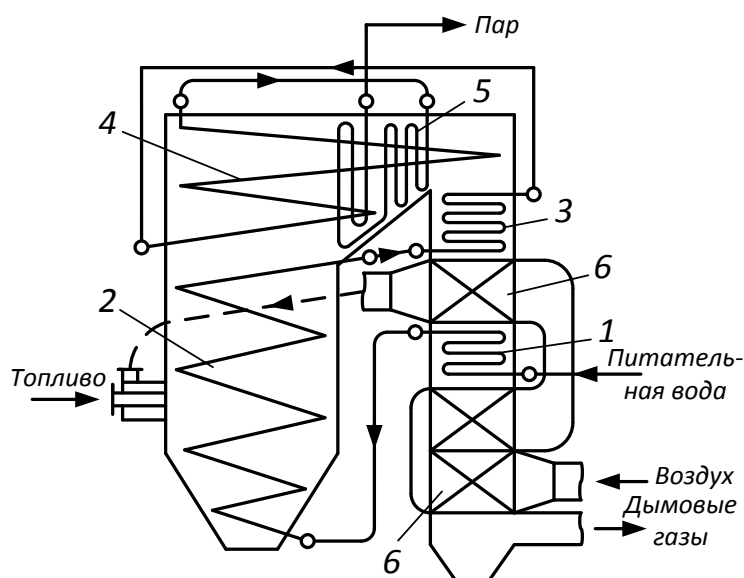


Рис. 2.9. Принципиальная схема работы прямоточного парогенератора: 1 – экономайзер; 2 – испарительная поверхность нагрева (радиационная); 3 – переходная зона (конец испарения и начало перегрева); 4 и 5 – пароперегреватели; 6 – воздухоподогреватель (<https://clck.ru/XknJ2>)

Рассмотрим основные технологические отличия между парогенераторами двух наиболее распространенных типов: барабанного и прямоточного [15]. В парогенераторе барабанного типа происходит самопроизвольная циркуляция конденсата и пара из-за разности плотностей воды и конденсата. С ростом температуры и давления пара уменьшается разность плотностей, что негативно сказывается на циркуляции, понижая её в разы. Во втором типе парогенераторов – прямоточном – отсутствует барабан-сепаратор, а циркуляция конденсата и пара производится циркуляционными насосами. Вследствие этого к котловой питательной воде прямоточных парогенераторов предъявляются самые жёсткие требования по химическому составу.

Следующим этапом рассмотрим принцип работы паровых турбин. Образованный в парогенераторах перегретый пар при температуре около 600°C и давлении 25 МПа по подводящим паропроводам передаётся в направляющий аппарат сопловых лопаток. Колесо

сопловых направляющих лопаток предназначено для создания упорядоченного потока внутренней энергии пара с использованием кинетической энергии упорядоченного движения его молекул.

Подробно рассмотрим этот процесс. Предположим, что в начальный момент времени перед входом в направляющий сопловый аппарат пар имеет начальную скорость C_0 и давление P_1 (рис. 2.10), а после своего выхода из направляющего аппарата в результате расширения пара, наблюдается рост скорости до значения C_1 с одновременным понижением давления до значения P_2 . В результате этих процессов выявлено снижение температуры пара. После выхода из направляющего соплового аппарата пар подаётся на лопатки рабочего колеса турбины. В случае активного типа паровой турбины между её рабочими лопатками не наблюдается расширения пара. Абсолютная скорость движения упорядоченного потока молекул пара снижается от C_1 до C_2 , что является следствием вращения турбины со скоростью v .

Конструктивно турбина выполняется в виде нескольких ступеней, каждая из которых состоит из одной ступени сопловых лопаток и одной ступени рабочих лопаток. Сопловые и рабочие лопатки закреплены на окружностях одинакового радиуса. Часто сопловый аппарат называют направляющим.

У реактивной турбины (рис. 2.11) происходит расширение пара, проходящего через каналы рабочих лопаток. В зависимости от показателей расширения пара в каналах турбины характеризуются степенями реактивности.

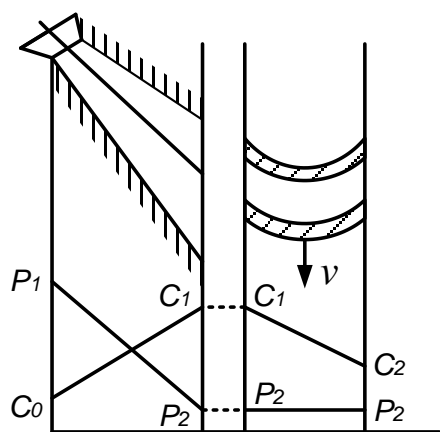


Рис. 2.10. Схема работы активной турбины
(<https://clck.ru/XknJ2>)

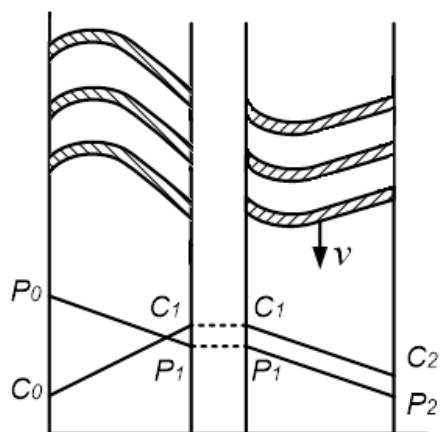


Рис. 2.11. Схема работы реактивной турбины

Изменение параметров пара в реактивной ступени турбины показано на рисунке 2.11. В направляющих лопатках турбины [21] 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 направляющем аппарате увеличивается до значения C_1 , а в каналах на рабочих лопатках уменьшается из-за вращения лопаток до значения C_2 . Заметим, что в реактивных турбинах, помимо центробежных сил,

возникающих при изменении скорости движения пара, на лопатки действуют реактивные силы, вызванные расширением пара.

В настоящее время турбины выполняются многоступенчатыми. Сама паровая турбина, в свою очередь, делится на цилиндры высокого, среднего и низкого давления (ЦВД, ЦСД, ЦНД). Соответственно турбины, в зависимости от мощности и предназначения (конденсационная, теплофикационная), могут выполняться двухцилиндровыми (двухступенчатыми) ЦВД + ЦНД, или более мощными – трехцилиндровыми (трехступенчатыми) ЦВД + ЦСД + ЦНД.

Схема расположения и общий вид лопаток паровой турбины показан на рисунке 2.12.

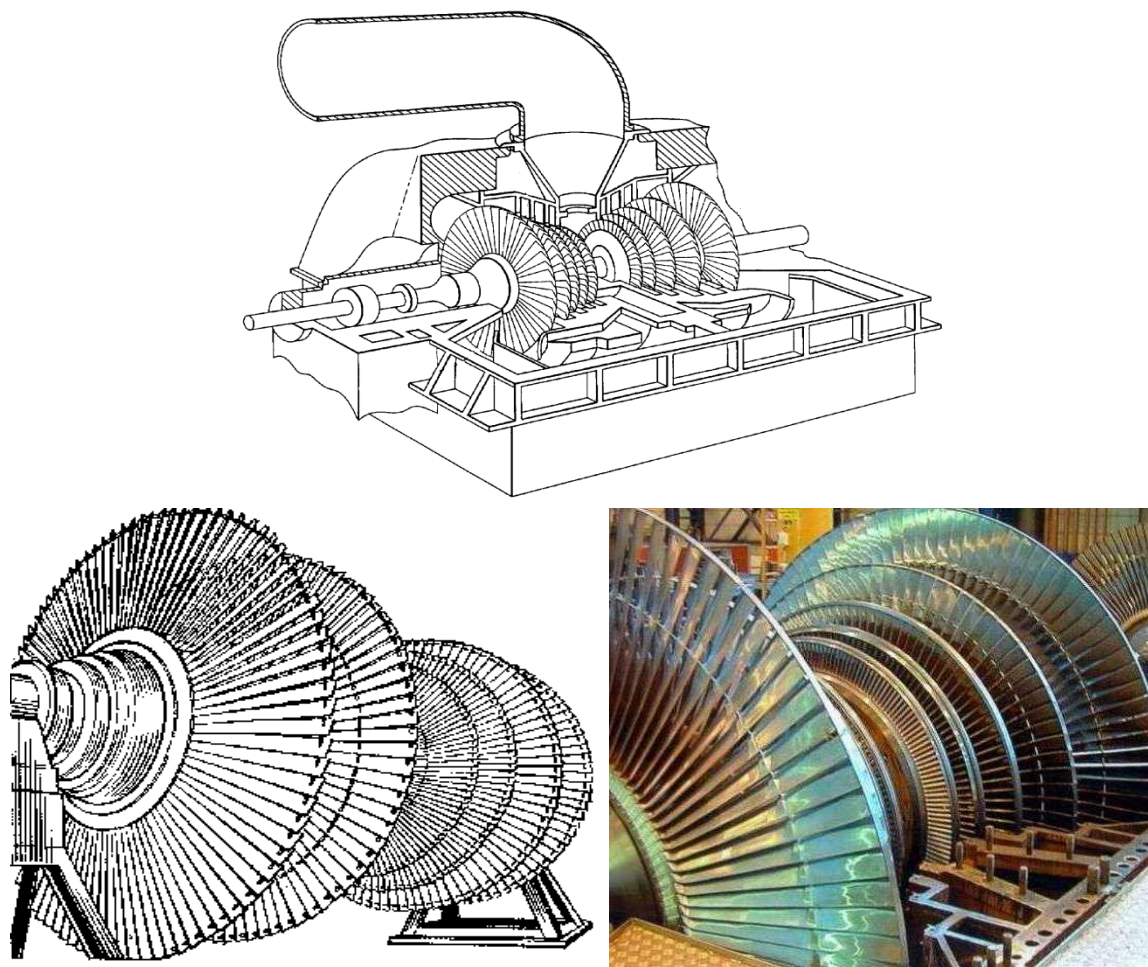


Рис. 2.12. Схема расположения и общий вид лопаток мощной паровой турбины (<https://clck.ru/XknKw>; <https://clck.ru/XknLG>)

Возникновение реактивного эффекта, действующего на рабочие лопатки реактивной турбины, рассмотрим на следующем опыте. В специальный бак на тележке (рис. 2.13) подведен пар под давлением, который в положении I действует на все стенки с одинаковыми силами. Если открыть запирающую задвижку, то получим нарушение равновесия бака. При этом на правую стенку рассматриваемого бака действует неизменная сила, а на левую стенку амплитуда действующей силы снижется, так как давление окружающей среды меньше, чем давление внутри бака. Пар вырывается из бака, а тележка начинает двигаться вправо из-за действия реактивной силы.

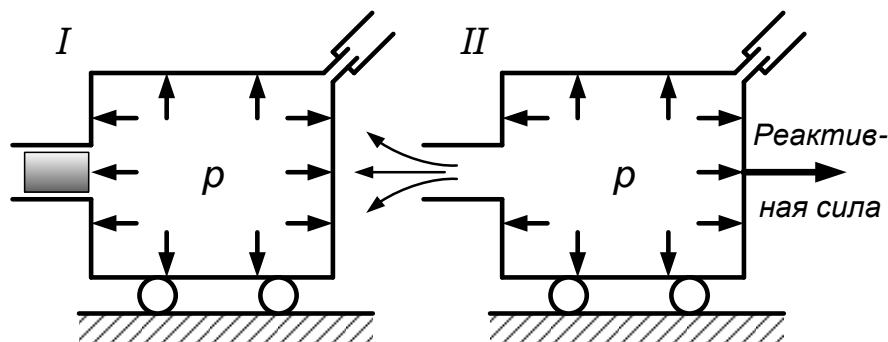


Рис. 2.13. Схема опыта, поясняющего возникновение реактивной силы (<https://clck.ru/XknJ2>)

Рассмотрим принцип работы тепловых конденсаторов.

Пар, выходящий из турбины, направляется для конденсации в тепловой конденсатор, который расположен непосредственно под последним цилиндром паровой турбины. Он состоит из цилиндрического корпуса с расположенным в нём большим количеством латунных трубок. По этим латунным трубкам протекает охлаждающая техническая вода, поступающая в корпус теплового конденсатора (рис. 2.14) при температуре 10 – 15°C и выходящая из корпуса при температуре 20 – 25°C. Пар обтекает поверхности латунных трубок в направлении сверху вниз, конденсируется непосредственно на их поверхностях, а капли образованного конденсата под действием силы тяжести стекают и накапливаются в нижней части корпуса теплового конденсатора. Оттуда с помощью циркуляционного насоса конденсат отправляется обратно в направлении парогенератора. Давление в тепловом конденсаторе поддерживается в пределах 3 – 4 кПа.

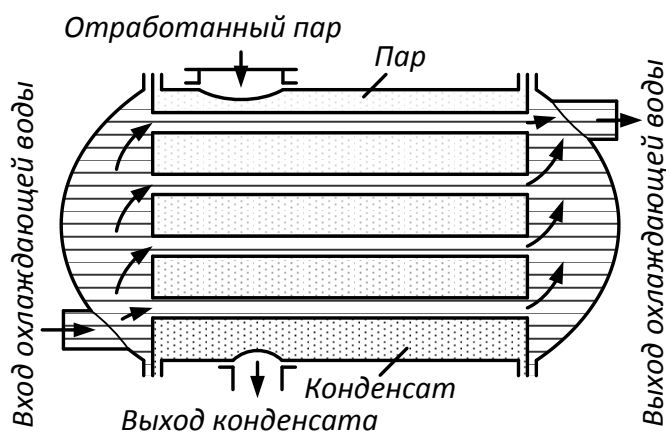


Рис. 2.14. Схема работы теплового конденсатора

Расход технической охлаждающей воды составляет 50–100 кг на 1 кг пара. На электростанции мощностью 1 ГВт расходуется порядка 40 м³/с технической охлаждающей воды.

В классическом случае вода, применяемая для охлаждения пара, может забираться из реки, подаваться в тепловой конденсатор и возвращаться обратно в реку. В случаях, когда воды в реке не хватает, сооружают специальное водохранилище или пруд. С одной стороны водохранилища вода подаётся в конденсатор, а с другой стороны сбрасывается отработанная

в тепловом конденсаторе. Таким образом, нагретая техническая вода, проходя по «зеркалу» водохранилища от одной стороны к другой, охлаждается. Такая система водоснабжения ТЭС является *прямоточной*.

В других системах водоснабжения, получивших название *замкнутые*, для охлаждения технической воды, нагретой в конденсаторе от конденсируемого пара, сооружают специальные инженерные сооружения – градирни (рис. 2.15), представляющие собой конструкции высотой примерно 50 м, в которых техническая вода насосами подаётся в верхнюю часть, разбрызгивается с помощью специальных оросительных установок, падает вниз с большой высоты и охлаждается. Внизу градирня имеет сборный бассейн, в котором вода собирается и с помощью своих циркуляционных насосов подаётся обратно в тепловой конденсатор. Для регулирования интенсивности охлаждения воды в градирне внизу у основания устанавливаются специальные жалюзийные устройства с автоматизированным приводом открытия и закрытия. Через жалюзи во внутреннюю часть градирни заходят воздушные потоки, которые направлены в противоход падающей воде. Регулируя интенсивность и объем воздушных потоков можно, влиять на охлаждение воды в градирне.



Рис. 2.15. Градирня ТЭС (<https://clck.ru/XknMT>)

Для тепловой конденсационной электрической станции необходимо рассчитывать тепловой баланс.

Все различные преобразования энергии на ТЭС [12] сопровождаются потерями. Экономичность процесса сгорания топлива, получение вследствие этого теплоты, её использование и последующее преобразование в электрическую энергию можно просчитать, проведя анализ теплового баланса. При сжигании органического топлива в топках котлов полученная теплота берётся за 100%, в среднем только 25% тепловой энергии превращается в

электрическую (рис. 2.16). Наибольшие потери теплоты приходятся на тепловой конденсатор, где с охлаждающей технической водой уносится 55% теплоты.

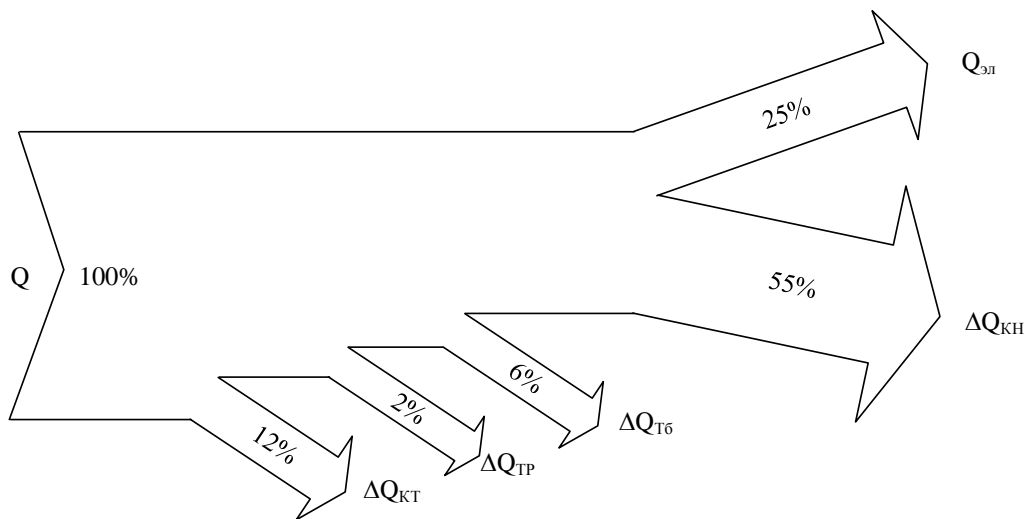


Рис. 2.16. Тепловой баланс конденсационной электрической станции: Q и $Q_{эл}$ – теплота, полученная при сжигании топлива, и теплота, преобразованная в электрическую энергию; $\Delta Q_{Тб}$, $\Delta Q_{ТР}$, $\Delta Q_{КТ}$ – потери теплоты в турбогенераторе, трубо-паропроводах и котельном агрегате соответственно; $\Delta Q_{КН}$ – потери теплоты, уносимой охлаждающей водой в конденсаторе

Контрольные вопросы

1. Как можно увеличить эффективность работы тепловых двигателей?
2. Зачем в перегретый пар в котлоагрегате на электростанции впрыскивают воду?
3. Зачем на станции используется пылеприготовление?
4. На каких приборах отделяется зола?
5. Как на электрогенераторе вырабатывается электрическая энергия?

3. ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

В настоящее время на ТЭС [25] стали устанавливать модернизированные газотурбинные установки (ГТУ), у которых в качестве рабочего тела применяются горячие газы, полученные при сжигании природного газа. В ГТУ преобразуется теплота получаемых при сжигании горячих газов в кинетическую энергию вращения ротора газовой турбины (рис. 3.1). У газовых турбин экономичность работы близка к двигателям внутреннего сгорания, а при повышении температуры рабочего тела – превосходит их. Особенно широкое распространение газовые турбины получили в авиастроении и на железнодорожном транспорте. Такие турбины работают на газообразном топливе, могут также использоваться распыленная нефть (мазут) и горячие газы, полученные особым сжиганием твердых топлив любых видов. Например, представляет практический интерес перспектива сжигания угля в местах его залегания. Для реализации этой цели под землю компрессорами в необходимом количестве подается воздух, производится специальное сжигание угля с образованием горючего газа, который затем подается по трубам к газотурбинным установкам. Впервые такая опытная электростанция была построена и функционирует в Тульской области.



Рис. 3.1. Вид газотурбинной установки (ГТУ) (<https://clck.ru/XknMy>)

Технологический процесс получения электрической энергии в газотурбинной установке происходит следующим образом (рис. 3.2). В камеру сгорания 1 поступает смесь воздуха с жидким или газообразным топливом. Образовавшиеся продукты сгорания, обладая высокой температурой и под большим давлением за счёт работы нагнетателя, попадают по газопроводам 2 сразу на рабочие лопатки газовой турбины 3, расположенные за камерой

сгорания. Получаемый механический момент на валу вращает ротор электрического генератора 4, который установлен на валу отбора мощности, и воздушный нагнетатель 5, необходимый для подачи под давлением воздуха 6 в камеру сгорания. Сжатый в воздушном нагнетателе (компрессоре) воздух перед подачей в камеру сгорания 1 подогревается в регенераторе 7 отработанными в турбине горючими газами 8 путём конвективного теплообмена, что позволяет повысить эффективность сжигания топлива в камере сгорания. На рисунке 3.3 показан вариант компоновки оборудования ГТУ.

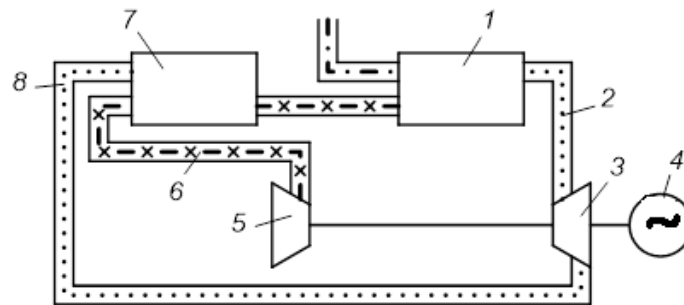


Рис. 3.2. Принципиальная схема газотурбинной установки:
 - - - - - – топливо; - × - × - × – воздух;
 – продукты сгорания (<https://clck.ru/XknN8>)

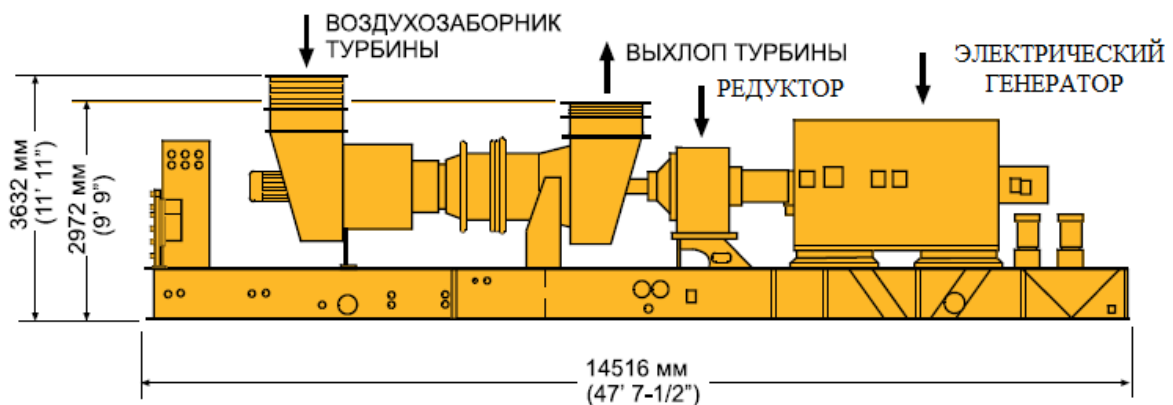


Рис. 3.3. Вариант компоновки газотурбинной установки (<https://clck.ru/XknNY>)

Контрольные вопросы

1. Где получили широкое распространение ГТУ?
2. Подается ли в ГТУ воздух? Для чего?
3. Для чего в схеме (рис. 3.3) нужен редуктор?
4. Используется ли при работе ГТУ дымосос?
5. Основная функция ГТУ –?

4. ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

Выбрасываемые в атмосферу отработанные горячие газы [24] в ГТУ можно использовать для нагревания иного вида рабочего тела. Совмещение газо- и паротурбинных агрегатов таким образом, что в них происходит совместное использование теплоты сгорания позволяет повысить экономичность работы всей установки. Именно такие установки получили название парогазовые (ПГУ), они используют два вида рабочего тела – пар и газ – и относятся к бинарным. Часть теплоты, получаемой при сжигании топлива в парогенераторе, расходуется на образование пара, который затем направляется в паровую турбину (рис. 4.1). Охлажденные до температуры 650–700°С горячие газы продуктов сгорания попадают на рабочие лопатки газовой турбины. Отработанные в газовой турбине газы используются для подогрева питательной воды, что позволяет уменьшить расход топлива и повысить КПД всей установки.

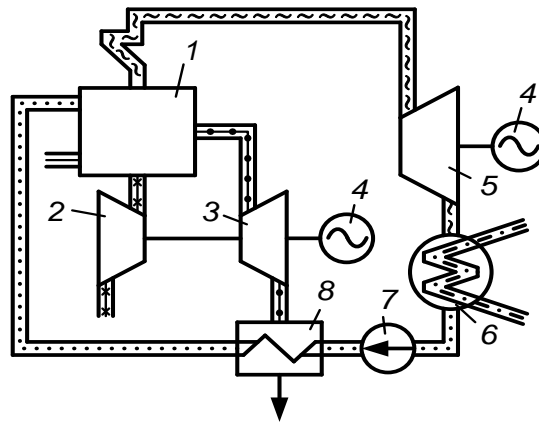


Рис. 4.1. Принципиальная схема парогазовой установки с парогенератором: 1 – парогенератор; 2 – воздушный компрессор; 3 – газовая турбина; 4 – генератор; 5 – паровая турбина; 6 – конденсатор; 7 – насос; 8 – экономайзер; ~ ~ ~ ~ – пар; · · · · · – вода и конденсат; ————— – топливо; - x x x x - – воздух; · · · · · – продукты сгорания; - - - - - – охлаждающая вода

Рассмотрим принцип работы ПГУ на примере рисунка 4.1. В парогенератор 1 подается смесь органического топлива с воздухом из воздушного компрессора 2. Пар 1, выработанный парогенератором, по паропроводам подается на лопатки паровой турбины 5, а её вал отбора мощности вращает ротор электрического генератора 4. Отработанный в паровой турбине 5 пар поступает для охлаждения и конденсации в тепловой конденсатор 6, а конденсат перекачивается насосом 7 обратно в парогенератор, предварительно догревая его за счёт остаточной теплоты горячих газов после газовой турбины 3 в экономайзере 8, и цикл преобразования пароводяной смеси повторяется. Полученные в результате сжигания органического топлива в парогенераторе 1 горячие газы продуктов сгорания направляются на рабочие лопатки газовой турбины 3, вал которой вращает ротор ещё одного электрического генератора 4. Вал газовой турбины 3 вращает вал воздушного компрессора 2. Далее

отработанные в газовой турбине 3 горячие газы остаточной теплотой подогревают конденсат в экономайзере 8 и выбрасываются в атмосферу.

Современные модернизированные парогазовые установки могут работать по иной схеме с котлом–утилизатором. Так, отработанные в одной или нескольких газовых турбинах горячие газы продуктов сгорания поступают в паровой котёл–утилизатор, в котором вырабатывается пар, используемый для вращения паровой турбины. Примем во внимание, что в паре с каждой паровой и газовой турбиной в данном случае работает свой электрический генератор, вырабатывающий электрическую энергию. Принципиальная схема работы такой ПГУ представлена на рисунке 4.2.

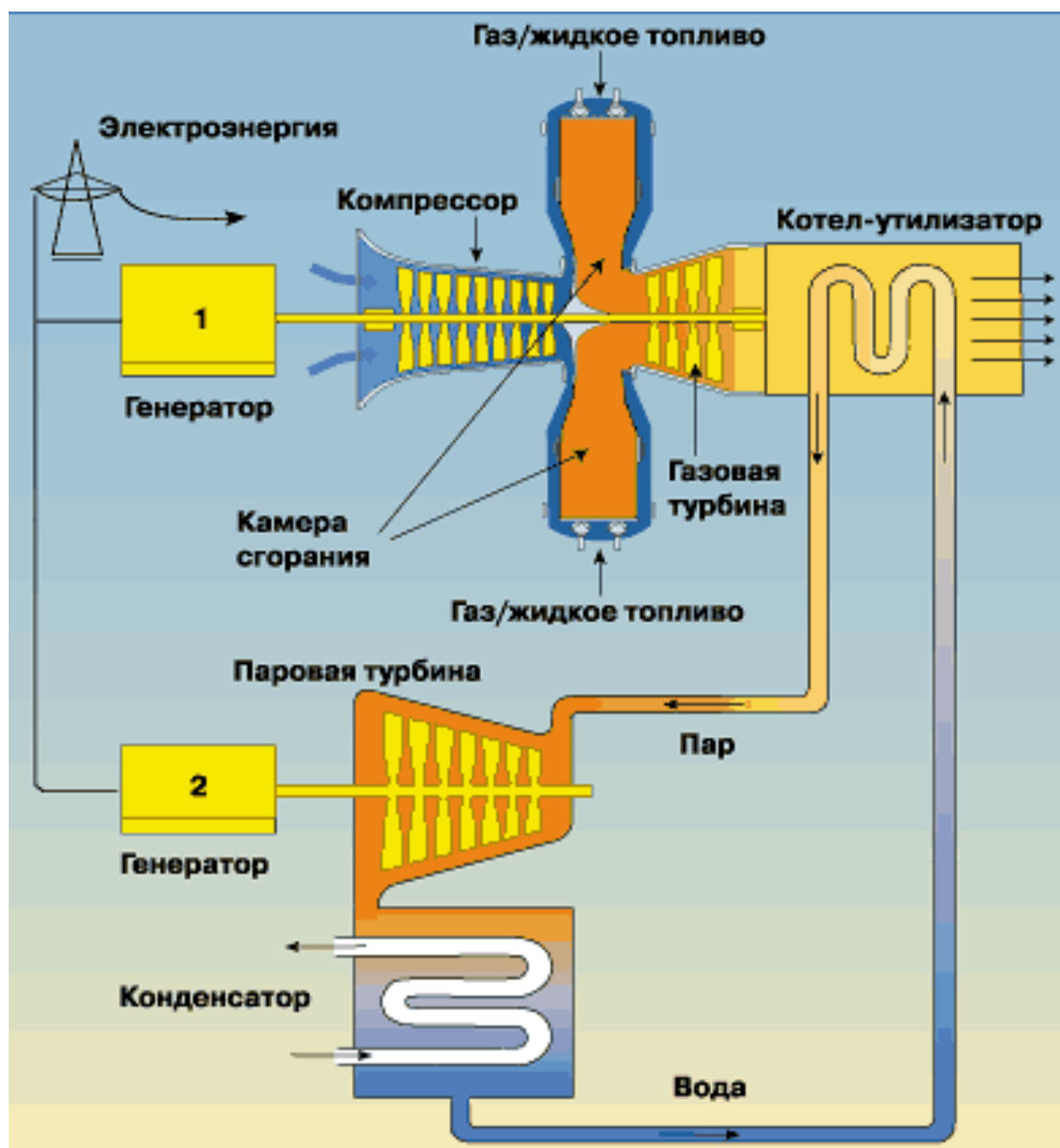


Рис. 4.2. Принципиальная схема парогазовой установки с котлом-утилизатором (<https://clck.ru/XknPK>)

Зола и механические примеси оказывают вредное влияние на лопатки газовой турбины. Поэтому ПГУ работают на жидком или газообразном топливе.

Контрольные вопросы

1. Как работает ПГУ?
2. Что экологичнее и эффективнее: использование паровой, газовой турбины или полный комплекс ПГУ?
3. Какую функцию в ПГУ выполняет компрессор? Работала бы установка без него?
4. На каком топливе работают ПГУ?
5. Можно ли сказать, что в схеме ПГУ нет котла?

5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Промышленное производство электрической и тепловой энергии сопряжено с отрицательным воздействием на окружающую природу и среду. Тепловая энергетика – лидер производства электрической энергии в мире, а в качестве топлива лидирует каменный уголь. Сами по себе ТЭС являются непрерывно действующими источниками выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива и сбросов в водоёмы большого количества низкопотенциального тепла. Природоохранные организации постоянно производят мониторинг ПДК выбросов энергетики. При сжигании природного газа образуются оксиды азота (NO, NO₂), оксид углерода (CO) и бензапирен (C₂₀H₁₂), а токсичность уходящих газов связана практически только с оксидами азота, так как концентрация бензапирена ничтожно мала. Образование оксида углерода при сжигании природного газа и мазута можно уменьшить путём рациональной организации режима и процессов горения. При сжигании твердого и жидкого топлива добавляются оксиды серы (SO₂, SO₃) и зола. Рассмотрим структуру мирового топливного баланса: природный газ – 63% потребляемого на ТЭС топлива, уголь – 28%, мазут и прочие виды топлива – 19%.

Высокая зольность и влажность угля при практическом отсутствии обогащения вызывают значительные технические и экологические трудности при его сжигании в котлах. Каждое топливо, в зависимости от его технологических характеристик (содержания серы, золы, теплоты сгорания), можно охарактеризовать условным (без учета радиационных характеристик минеральной части и токсичности содержащихся в топливе микроэлементов), относительным (по отношению к наиболее чистому топливу – природному газу) показателем экологичности:

$$\varepsilon = \frac{\sum (C_i / ПДК_i)_{не} Q_m^r}{Q_{не}^r \sum (C_i / ПДК_i)_m},$$

где C_i – концентрация i -го вредного вещества в уходящих газах котла, мг/м³; $ПДК_i$ – максимальная разовая предельно допустимая концентрация i -го вредного вещества в приземном слое воздуха, мг/м³; Q^r – теплота сгорания топлива, кДж/кг (индексы «пг» и «т» относятся к природному газу и топливу).

Если на разных ТЭС отрасли сжигается n видов топлива с показателем экологичности каждого из них ε_i , то суммарный показатель экологичности топливного баланса теплоэнергетики $\varepsilon_{ТЭ}$ будет равен $\varepsilon_{ТЭ} = \sum_i^n \varepsilon_i B_i$, где B_i – доля i -го вида топлива в топливном балансе теплоэнергетики.

Для топливного баланса ТЭС России $\varepsilon_{ТЭ} = 0,65$. На ТЭС США показатель экологичности $\varepsilon_{ТЭ} = 0,2$, т. е. он более чем в 3 раза уступает аналогичному показателю ТЭС России.

Разработка экологически чистых ТЭС, отвечающих нормативным экологическим требованиям, является наиболее перспективной. Уже сейчас российские экологические

требования соответствуют требованиям, установленным в промышленно развитых странах, а антропогенная нагрузка на окружающую среду является сопоставимой (табл. 5.1).

Общепринято, что промышленно развитые страны – основные поставщики выбросов вредных веществ. Страны с высокой антропогенной нагрузкой на окружающую среду – Япония, Германия, Нидерланды – выдвигают жёсткие нормативы выбросов, ориентированные на все имеющиеся в их распоряжении методы очистки дымовых газов и использование на электростанциях малосернистого топлива. Такая ситуация касается и России.

Таблица 5.1

Потоки потребляемой энергии на единицу площади территории ряда стран в 1987 г.,
петаджоулей на 100000 га.

Страна	Удельный поток потребляемой энергии	Индекс антропогенной нагрузки
Мир в целом	22	1,0
Нидерланды	914	41,5
Германия	418	19,0
Великобритания	355	16,1
Япония	352	16,0
Бывший СССР	25	1,1
Россия	16	0,7

В США, Канаде и Испании приняты менее жёсткие нормативы удельных выбросов. С учётом антропогенной нагрузки экологические требования к новым котельным установкам в России должны быть сопоставимыми, а экологические нормативы должны устанавливаться исходя из уровня технического развития, достигнутого в стране. Особенности атмосферной циркуляции в северном полушарии Земли приводят к значительному трансграничному переносу газообразных выбросов из стран Западной и Восточной Европы на территорию России. В нашу страну поступает в 8 раз больше серы и в 7,3 раза больше оксидов азота, чем выносятся с её территории в другие государства.

Со стороны Германии, Польши, Чехии и Словакии существует диспропорция в переносе серы на Европейскую часть России, что необходимо учесть при формировании программ Европейского сотрудничества. На электростанциях России широко распространены различные технологические методы очистки дымовых газов от NO_x. На ряде ТЭС осваиваются технологии селективного каталитического восстановления, например, на ТЭЦ-16 Мосэнерго; селективного некаталитического восстановления, например, на Тольятинской ТЭЦ; и электронно-лучевой очистки, например, на Черепетской ГРЭС и ТЭЦ-5 Ленэнерго.

В таблице 5.2 представлена структура установленных мощностей электростанций России на конец 2018 г (в ГВт/ %).

В таблице 5.3 представлена структура установленных мощностей электростанций Китая на конец 2018 г. (в ГВт/ %).

В таблице 5.4 представлен коэффициент использования установленной мощности по типам станций.

В таблице 5.5 представлены крупнейшие ТЭС.

Таблица 5.2

Структура установленных мощностей электростанций России на конец 2018 г (в ГВт/%)

Тип электростанций	2017 г.		2018 г.		Изменение
	P _{уст.} =239,8 ГВт		P _{уст.} =243,2ГВт		
	ГВт	%	ГВт	%	
ТЭС	162,78	67,88	164, 59	67,66	1,11
АЭС	27,90	11,64	29, 13	11,98	4,41
ГЭС	48,45	20,2	48, 51	19,94	0,12
ВЭС	0,134	0,06	0,184	0,08	37,31
СЭС	0,534	0,22	0,834	0,34	56,18

Таблица 5.3

Структура установленных мощностей электростанций Китая на конец 2018 г. (в ГВт/ %)

	2017	2018	Прирост за год (в%)
ТЭС	1110,09	1143,67	3
ГЭС	343,77	352,26	2,5
АЭС	35,82	44,66	24,7
ВЭС	164,00	184,26	12,4
СЭС	130,42	174,63	33,9
ВСЕГО:	1784,18	1899,67	6,5

Таблица 5.4

Коэффициент использования установленной мощности по типам станций

	2017 г.	2018 г.	США
ТЭС	46,29	46,51	-
ГЭС	42,32	43,27	38,2
АЭС	83,08	78,41	92,3
ВЭС	14,82	18,29	34,5
СЭС	14,67	14,65	25,1

Таблица 5.5

Крупнейшие ТЭС

	Название	P _{уст.} , МВт	Примечание
1	Tuoketuo, Китай (уголь)	6600	Станция состоит из 5 энергоблоков, каждый из которых включает в себя 2 блока единичной мощностью 600 МВт. Помимо основного оборудования, на станции установлено 2 блока суммарной мощностью 600 МВт для собственных нужд. Занимает свыше 2,5 кв.км
2	ТАЙЧЖУНСКАЯ ТЭС, Тайвань Китай	5824	На ТЭС установлено десять энергоблоков по 550 МВт каждый, которые используют в качестве топлива уголь. И четыре дополнительных блока по 70 МВт на природном газе. Помимо традиционных источников энергии, на станции установлены 22 ветровые турбины суммарной мощностью 44 МВт. Занимает территорию 2,5 x 1,5 км. (3,75 кв. км).
3	СУРГУТСКАЯ ГРЭС-2, Россия (газ)	5600	Установлено 8 энергоблоков: 6x800 МВт и 2x400 МВт.

	Название	$P_{уст}$, МВт	Примечание
4	БЕЛХАТУВСКАЯ ТЭС, Польша (бурый уголь)	5354	На станции установлено 13 энергоблоков: 12x370/380 МВт и 1x858 МВт. Общая площадь вместе с карьером по добыче угля составляет 7,5 км ² .
5	FUTTSU CCGT POWER PLANT, Япония (газ)	5040	Мощность станции 5040 МВт, 4 энергоблока.

Проблема сероочистки дымовых газов имеет приоритетное значение для нескольких ТЭС. В настоящее время ведутся исследования с целью внедрения нескольких прорывных технологий: известняковой (сухой и мокрой), аммиачно-циклической и других [15].

Благодаря переводу многих ТЭС на сжигание природного газа, выбросы SO₂ предприятиями электроэнергетики за последние 10 лет существенно сократились. Для действующих станций в ближайшие годы снижение выбросов SO₂ будет достигаться в основном за счёт перевода их на сжигание природного газа.

ТЭС оснащены электрофильтрами, мокрыми золоуловителями с коагуляторами Вентури, рукавными фильтрами. Электрофильтры и рукавные фильтры новой серии по конструктивным параметрам, металлоёмкости, степени автоматизации соответствуют лучшим зарубежным образцам.

Тепловые электростанции выбрасывают не только вредные газы, но и сточные воды, которые образуются в технологическом процессе ТЭС, например, от водоподготовительных установок, от загрязнения нефтепродуктами, от продувки замкнутых технологических контуров, от систем гидрозолоудаления, от химической очистки теплосилового оборудования и т. д.

Система рационального водопользования электростанции должна обеспечивать очистку как поступающей на станцию воды, так и собственных водных стоков в соответствии с предписаниями норм. Рационализация водоиспользования – это сокращение объема потерь на собственные нужды; повторное использование стоков в цикле ТЭС; выбор экологически благоприятного водного режима; сокращение количества химических промывок оборудования; перевод систем гидрозолоудаления на оборотные; рационализация схем сбора обмывочных вод от регенеративных воздухоподогревателей и поверхностей нагрева котлов с извлечением из них соединений ванадия и никеля; внедрение типовых очистных сооружений для очистки загрязнённых нефтепродуктами сточных вод.

Контрольные вопросы

1. Какие страны максимально жёстко следуют нормативам по выбросам в атмосферу?
2. Какие методы применяются для снижения NO_x, как они работают?
3. Какие методы применяются для снижения SO_x, как они работают?
4. Какие аппараты используют для золоулавливания? Как они работают?
5. Производит ли станция очистку воды, которая изымается из естественных водоёмов и сбрасывается в них же?

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Основой изучения работы гидравлических электрических станций (ГЭС) [2] является наука, называемая *гидравликой*. Она делится на изучающую равновесие жидкостей *гидростатику* и изучающую движение жидкостей *гидродинамику*.

Мощность потока воды, протекающего через некоторое сечение – створ – определяется произведением расхода воды Q [$\text{м}^3/\text{с}$] на напор H [м], который в месте сооружения плотины равен разности между уровнем воды в верхнем по течению бассейне (верхнем бьефе) и уровнем воды в нижнем по течению бассейне (нижнем бьефе). Мощность потока в створе [Вт]:

$$P=9.81QN$$

Из-за неизбежных потерь мощности в гидротехнических сооружениях, турбинах и генераторах в гидравлических турбинах ГЭС используется только часть мощности потока воды, который учитывает коэффициент полезного действия η . Таким образом, мощность потока в створе [Вт]:

$$P=9.81QN\eta.$$

Напор H создают на равнинных реках с помощью плотины (рис. 6.1, а), а в горных местностях строят специальные подводные каналы, называемые деривационными (рис. 6.1.б, 6.2).

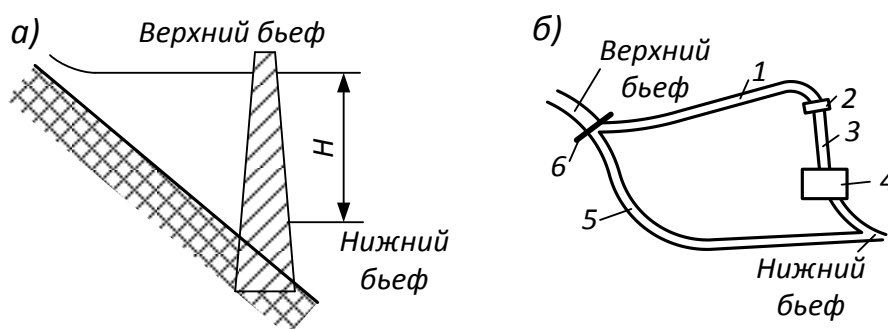


Рис. 6.1. Схема создания напора: а – с помощью плотины; б – с помощью деривационного канала: 1 – деривационный канал (тоннель); 2 – напорный бассейн; 3 – турбинные водоводы; 4 – здание ГЭС; 5 – русло реки; 6 – плотина. (<https://clck.ru/Xkno3>)



Рис. 6.2. Схема создания напора с помощью деривационного туннеля на ГЭС (Кашхатау на реке Черек в Черекском районе Кабардино-Балкарии вблизи посёлка Кашхатау. Входят в Нижне-Черекский каскад ГЭС. (<https://clck.ru/Xknnn>)

В гидравлических турбинах преобразуется энергия воды в механическую энергию вращения вала турбины (рис. 6.3). Турбина называется активной, если используется динамическое давление воды, и реактивной, если используется статическое давление при реактивном (рис. 2.13) эффекте.

В ковшовой активной турбине (рис. 6.3, а) потенциальная энергия гидростатического давления полностью переходит в кинетическую энергию движения молекул воды. Это преобразование протекает в специальной направляющей суженной насадке, имеющей название – сопло. Ковшеобразные лопасти жёстко приварены к кольцу и располагаются по периметру окружности рабочего колеса (рис. 6.3, б). Вода огибает внутреннюю окружность лопасти, возникают завихрения, и образуются центробежные силы, а энергия движения воды преобразуется в механическую энергию вращения колеса и вала турбины.

Для регулирования скорости вращения рабочего колеса гидроагрегата (рис. 6.4) служит регулирующая игла, перекрывающая выходное сечение сопла, и отклонитель, который может изменять направление потока воды на ковши.

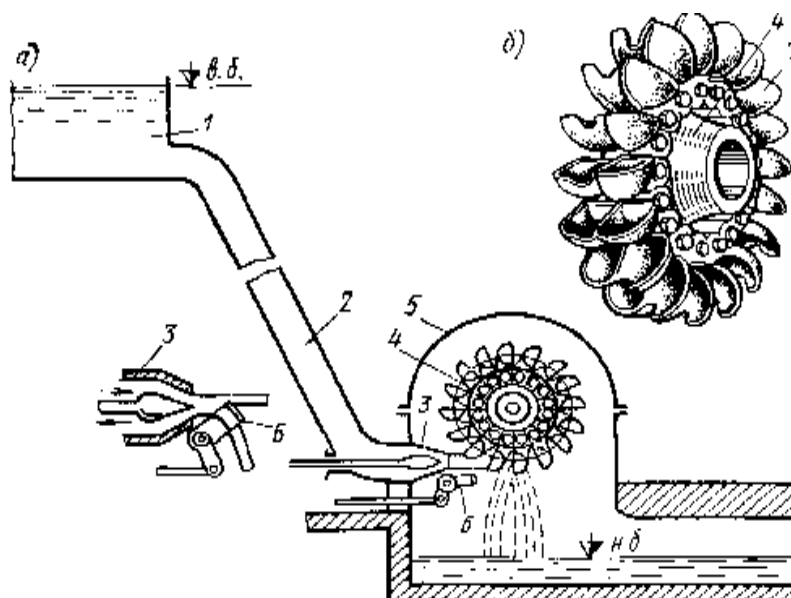


Рис. 6.3. Схема работы активной турбины: а – схема турбинной установки; б – рабочее колесо; 1 – верхний бьеф; 2 – трубопровод; 3 – сопло; 4 – рабочее колесо; 5 – кожух; 6 – отклонитель; 7 – лопасти (ковши) (<https://clck.ru/XknoF>)

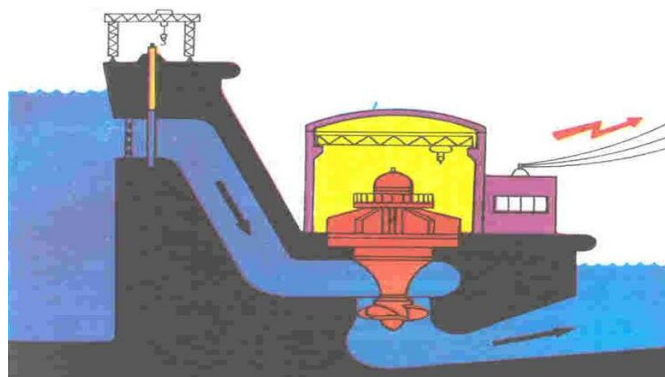


Рис. 6.4. Схема работы ГЭС (<https://clck.ru/XknpJ>)

Вода, поступающая на рабочее колесо реактивной гидравлической турбины, обладает избыточным давлением, которое по мере протекания воды по проточному тракту рабочего колеса уменьшается. При этом вода оказывает реактивное давление на лопасти турбины, и слагающая потенциальной энергии воды превращается в механическую энергию рабочего колеса турбины. Если изменить угол кривизны лопастей, поменяется направление потока воды, при котором, как и в активной турбине, кинетическая энергия в результате действия центробежных сил превратится в механическую энергию турбины. Само же рабочее колесо реактивной турбины, в отличие от активной, полностью находится в воде, т. е. поток воды поступает одновременно на все лопасти рабочего колеса.

Виды турбин показаны на рисунке 6.5.

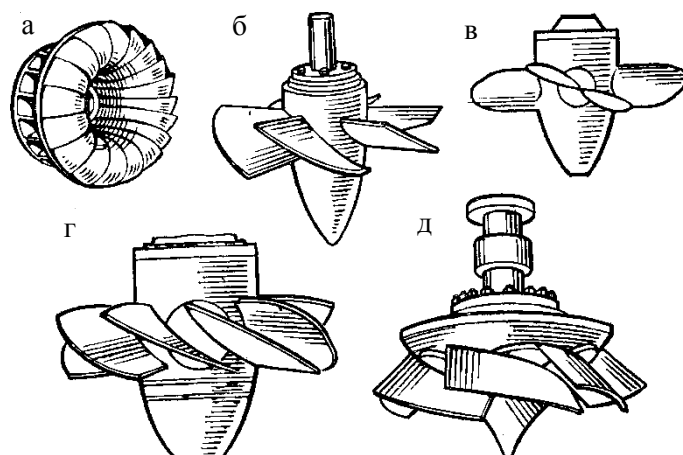


Рис. 6.5. Виды рабочих колес турбин: а) радиально-осевая; б) пропеллерная; в) поворотнo-лопастная; г) двухперовая; д) диагональная. (<https://clck.ru/XknKw>)

У радиально-осевых турбин лопасти рабочего колеса имеют сложную кривизну, поэтому вода, поступающая с направляющего аппарата, постепенно меняет направление с радиального на осевое. Такие турбины используют в широком диапазоне напоров от 30 до 600 м. В настоящее время созданы уникальные радиально-осевые турбины мощностью 700 МВт.

Пропеллерные турбины обладают простой конструкцией и высоким КПД, однако с изменением нагрузки КПД резко уменьшается.

У поворотнo-лопастных гидротурбин, в отличие от пропеллерных, лопасти рабочего колеса поворачиваются при изменении режима работы для поддержания высокого значения КПД.

Двухперовые турбины имеют спаренные рабочие лопасти, что позволяет повысить расход воды. Их широкое применение ограничено конструктивными сложностями.

Сложная конструкция свойственна также диагональным турбинам, у которых рабочие лопасти поворачиваются относительно своих осей.

Радиально-осевые турбины установлены на Братской, Красноярской ГЭС и др. Поворотнo-лопастными турбинами оборудованы Куйбышевская, Волгоградская, Каховская и Кременчугская ГЭС и др.

На электрических станциях турбина и генератор связаны общим валом. Частота вырабатываемой электрической энергии гидрогенератором зависит от числа пар полюсов ротора генератора и частоты переменного тока, которая должна соответствовать стандартной. Кроме того, необходимо учитывать, что при небольших частотах вращения турбины получаются громоздкими и дорогими. Чтобы получить скорости агрегатов, близкие к оптимальным, при больших напорах используют турбины с малыми значениями коэффициента быстроходности, а при небольших напорах – с большими значениями этого коэффициента.

Сегодня применяются горизонтальные агрегаты (капсульные), в которых генератор находится внутри герметичной капсулы, со всех сторон обтекаемой водой. Благодаря лучшим гидравлическим условиям обтекания КПД таких агрегатов выше (95–96%). Они работают на Киевской и Каневской ГЭС (рис. 6.6).

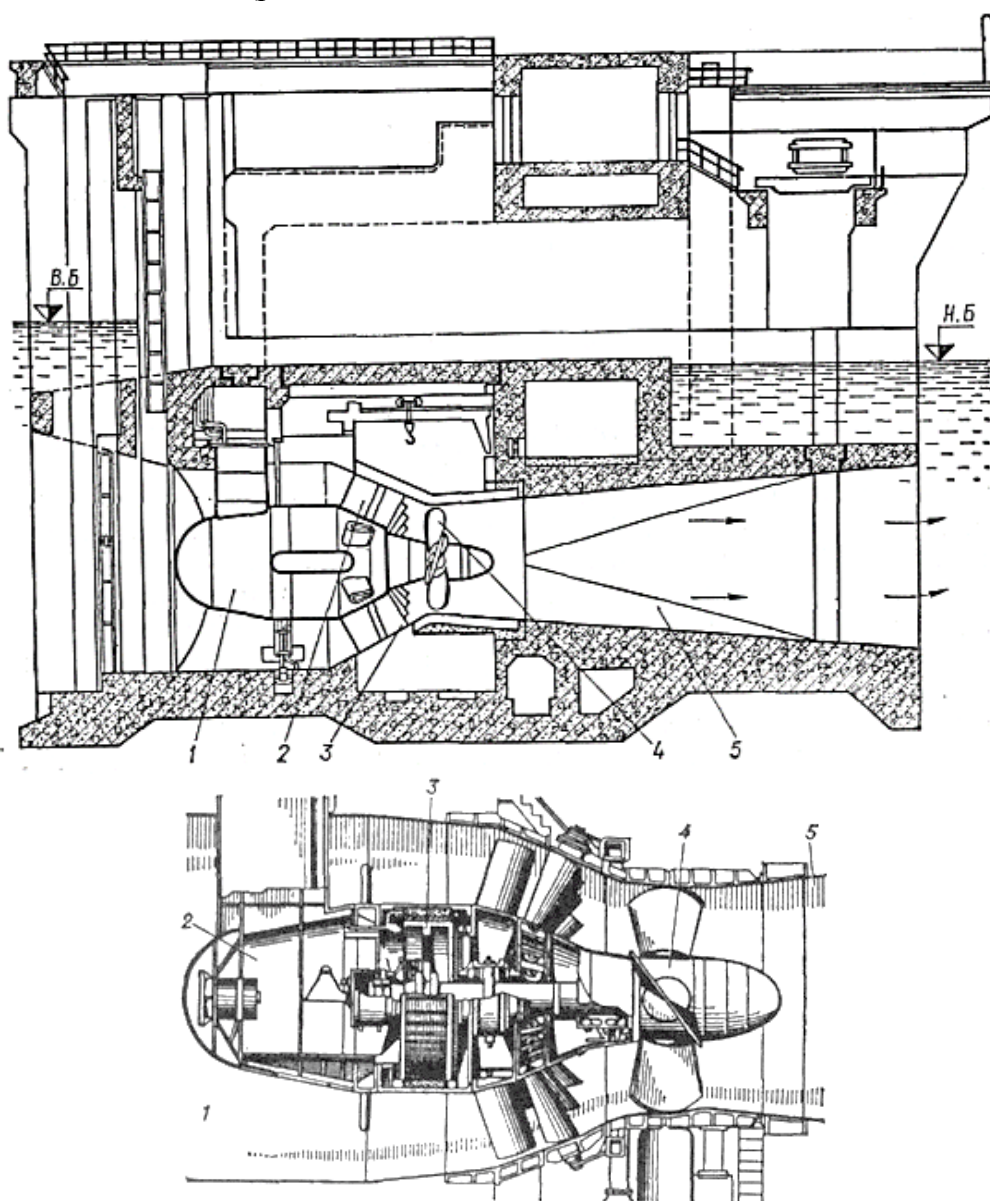


Рис. 6.6. Горизонтальный капсульный агрегат: 1 – подводящая камера; 2 – капсула; 3 – гидрогенератор; 4 – рабочее колесо гидротурбины; 5 – отводная труба
(<https://clck.ru/XknuR>; <https://clck.ru/XknuX>)

Комплекс народно-хозяйственных задач успешно решается при устройстве плотины, в него входят организация автотранспортного движения по плотине, регулирование стока воды и улучшение судоходства реки, создание орошаемых массивов, развитие энергоёмких производств, использующих местное сырьё, и т. д.

ГЭС с плотинной схемой концентрации напора на равнинных реках разделяются на два типа: русловые и приплотинные. При напорах до 30 м здание станции, как и плотина, воспринимает напор и располагается в русле реки. Такие ГЭС 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, а весь напор воспринимается плотиной.

В таблице 6.1 представлены крупнейшие ГЭС мира.

Таблица 6.1

Крупнейшие ГЭС мира

	Наименование	Страна	Год пуска	Полная мощность, (ГВт)
1	Саньса	Китай	2008–2011	22,500
2	Итайпу	Бразилия/Парагвай	1984–2003	14,000
3	Гури	Венесуэла	1986	10,200
4	Тукураи	Бразилия	1984	8,370
5	Гранд-Кули	США	1980	6,809
6	Саяно-Шушенская	Россия	1985–1989	6,400 (640×10)
7	Longton Dam	Китай	2009	6,300
8	Красноярская	Россия	1972	6,000
9	Robert-Bourassa	Квебек, Канада	1981	5,616
10	Churchill Falls	Лабрадор, Канада	1971	5,429
11	Братская	Россия	1967	4,500
12	Усть-Илимская	Россия	1980	4,320

Контрольные вопросы

1. За счёт чего ГЭС вырабатывает электроэнергию?
2. Для чего нужен деривационный туннель? Что такое деривация?
3. Что такое «бьеф»?
4. Какой тип турбин используется на ГЭС (активная/реактивная)?
5. От чего зависит мощность в створе?

7. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Энергия морских приливов [22] известна человечеству со времён глубокой древности. Эта энергия ещё в далёкие исторические эпохи использовалась для приведения в движение различных механизмов.

Приливная электростанция La Rance (Ля Ранс) находится во Франции. Она была построена на реке Ранс в 1966 г. (рис. 7.1) и стала первой в мире приливной гидроэлектростанцией. 24 турбины позволяют «Ля Ранс» работать с мощностью 240 МВт. Длина её плотины превышает 750 м, а перепад высот прилива и отлива варьируется от 12 до 18 метров. В США в 1935 г. началось строительство приливной электрической станции (ПЭС) Кводди мощностью 200 тыс. кВт. Вскоре строительство, на которое ушло 7 млн. долл., было прекращено из-за выявившейся высокой стоимости электроэнергии (на 33% выше стоимости на тепловой станции). В 1985 году в канадском проливе Фанди, известном своими удивительно высокими приливами, достигающими 18 м, была построена приливная гидроэлектростанция. Её установленная мощность достигает 20 МВт. Согласно составленному в 1940 г. в СССР проекту Кислогубская ПЭС вырабатывала бы электроэнергию, стоимость которой была бы в 2 раза больше, чем у речных электростанций. В настоящее время самой мощной в мире можно считать южнокорейскую ПЭС, расположенную на озере Сихва. Её мощность достигла отметки в 254 МВт. Альтернативный вариант ПЭС предусматривает установку турбин прямо на морском дне. Такая схема не предполагает наличия плотин и бассейнов. Вращение лопастей турбин осуществляется непосредственно под воздействием движения воды во время приливов и отливов. Первая крупная станция, которая работает по такому принципу, была запущена в Ирландии. ПЭС SeaGen мощностью 1,2 МВт построена в районе залива Странгфорд-Лох (Ирландское море).



Рис. 7.1. Приливная электростанция La Rance (<https://elektroportal.com.ua/elen.php>)

Приливные электрические станции (ПЭС) [23] выгодно отличаются от ГЭС тем, что их работа определяется космическими явлениями и не зависит от многочисленных погодных условий, определяемых случайными факторами. На рисунке 7.2 изображена схема работы ПЭС с горизонтальными реверсивными (обратимыми) капсульными агрегатами. Работа по выработке электрической энергии такой станции заключается в следующем: с помощью плотины перегораживается залив или морская лагуна. По всей длине плотины устанавливаются капсульные агрегаты реверсивного типа. По мере прохождения луны над поверхностью вод мирового океана вдоль линии горизонта за счёт сил взаимного притяжения возникает отлив. В то время, как луна начинает удаляться от точки зенита, силы постепенно уменьшаются, и возникает прилив. В моменты движения масс воды в сторону береговой линии (прилив) и от неё (отлив) начинают вращаться гидроагрегаты ПЭС, и вырабатывается электрическая энергия.

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.

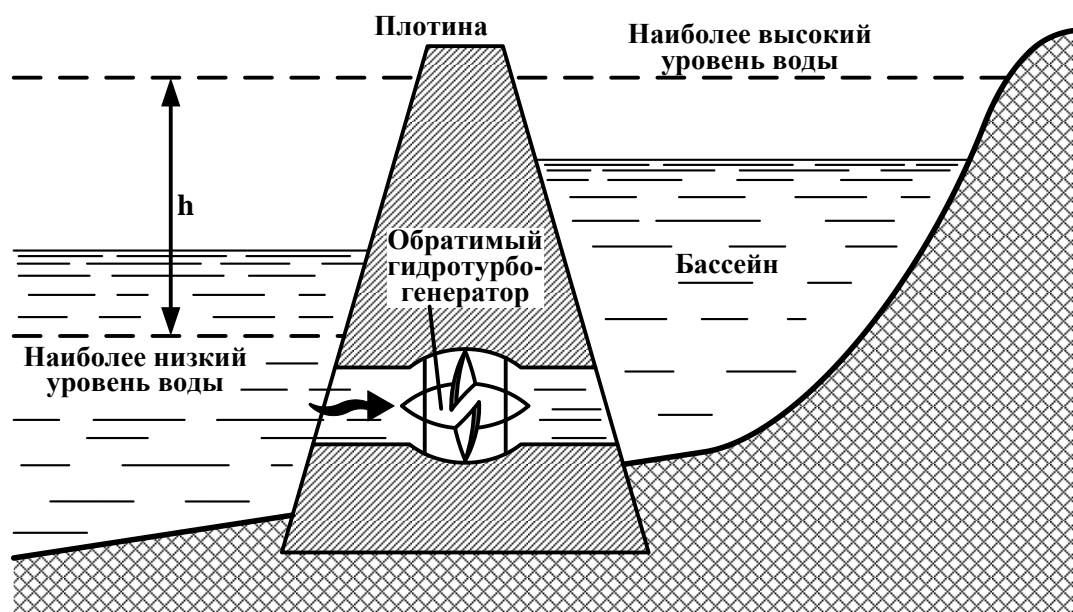


Рис. 7.2. Горизонтальный капсульный агрегат ПЭС (<https://clck.ru/XknwD>)

Неравномерность приливной энергии в течение лунных суток и лунного месяца, отличающихся от солнечных, не позволяет систематически использовать вырабатываемую энергию на станции в периоды максимального потребления в системах. Можно компенсировать неравномерность работы ПЭС, совместив её с гидроаккумулирующей электрической станцией (ГАЭС). Когда имеется избыточная мощность ПЭС, ГАЭС (рис. 7.3) работает в насосном режиме, потребляя эту мощность и перекачивая воду в верхний бассейн. Во время отсутствия приливов и отливов в генераторном режиме работает ГАЭС, выдавая

электроэнергию в систему. Совмещение этих двух проектов обладает бесспорным эффектом, но является дорогостоящим.

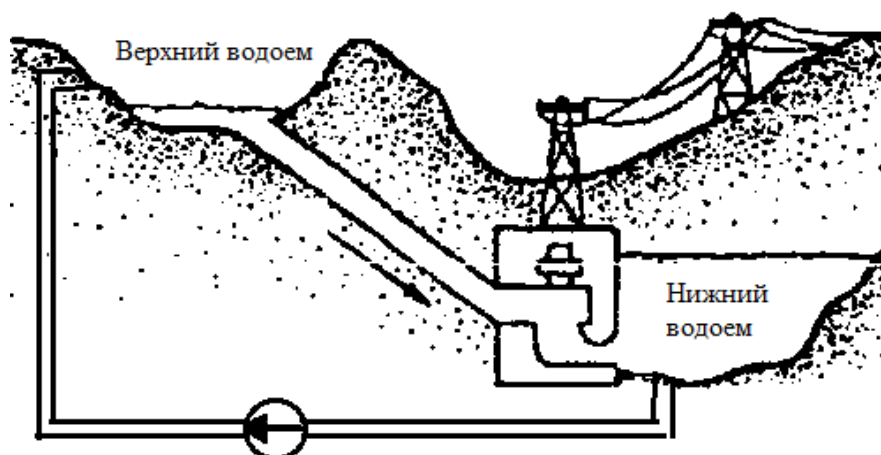


Рис. 7.3. Принцип работы ГАЭС (<https://clck.ru/Xknwb>)

Первая в мире коммерческая волновая электростанция была открыта в Португалии. Каждый преобразователь (называемый Pelamis Wave Energy Converter) сравним по длине и сечению с небольшим железнодорожным составом длиной 120 метров и весом 700 тонн. Мощность одного такого преобразователя – 700 кВт. Качающиеся на волнах генераторы вырабатывают 2,25 мегаватта. В дальнейшем предусмотрено добавление к этой же волновой ферме ещё 25 «змей», что поднимет суммарную мощность станции до 21 мегаватта. Четыре секции, соединённые шарнирно, под воздействием волн изгибаются, что приводит в действие гидроцилиндры, которые перекачивают масло на гидромоторы привода генераторов. Вырабатываемая электроэнергия по кабелю, опущенному на дно, передаётся на берег. Такая станция представлена на рисунке 7.4.



Рис. 7.4. Коммерческая волновая электростанция
(<https://www.thescottishsun.co.uk/news/scottish-news/2097759/scot-gov-prize-worth-10million-for-wave-energy-machine-sinks-without-trace/amp>)

Идея создания электростанции, которая бы работала от энергии мирового океана, была предложена очень давно. В августе 1979 года недалеко от Гавайских островов начала свою работу первая в своем роде экспериментальная установка мини-ОТЭС (океаническая тепловая электростанция). Принцип действия такой электростанции достаточно прост. Как известно, температура кипения воды равна 100 градусам по Цельсию, в то же время температура на поверхности океана равна 25–27 градусам, а в его глубинах – 4 градусам по Цельсию. Поэтому необходимо было найти вещество, которое бы закипало при температуре в 20 (и выше) градусов и конденсировалось при температуре 4 градуса. Таким веществом оказался аммиак. Закипая на поверхности океана, его пары вращают лопасти турбины генератора, после чего они конденсируются и охлаждаются водой, забранной на глубине около километра, затем цикл повторяется. Конечно же, несмотря на всю простоту действий, осуществить данный процесс достаточно сложно. Самой первой из проблем стало создание трубы длиной около километра, предназначенной для забора холодной воды. Океанские воды бывают отнюдь не спокойны, и изготовить трубопровод, который бы был настолько крепок и надежно прикреплен к самой океанической тепловой электростанции, достаточно сложно. Однако, несмотря на эту, казалось бы, огромную проблему, такой трубопровод был разработан и изготовлен на основе современных полимеров. Так, была решена не только проблема его надежности, но и долговечности, поскольку полимеры разлагаются столетиями даже в такой агрессивной среде, как океаническая соленая вода.

Первая мини-ОТЭС была очень маломощной. И дело даже не столько в масштабе этой экспериментальной электростанции, сколько в том, что, помимо выработки электроэнергии, установка ещё и потребляет её в огромных масштабах на работу электронасосов, которые перекачивают воду для охлаждения аммиака. В результате гавайская мини-ОТЭС выдавала чистой энергии мощностью 52 кВт.

Контрольные вопросы

1. Как работает ПЭС?
2. Какая ПЭС была создана первой? Как на ней происходила выработка электроэнергии?
3. Принцип работы ПЭС и ГЭС одинаков?
4. Как компенсировать неравномерность работы ПЭС?
5. Для чего нужна ГАЭС?

8. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Первая в мире атомная электрическая станция (АЭС) была введена в эксплуатацию в г. Обнинске (СССР) 27 июня 1954 г [28].

На АЭС кинетическая энергия, получаемая в результате деления ядер урана на разлетающиеся с огромными скоростями в разные стороны осколки, преобразуется в тепловую энергию пара или газа, а затем – в электрическую энергию. Деление ядер урана происходит при бомбардировке их нейтронами, вследствие 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 кинетические энергии. Получаемая при делении ядер энергия практически полностью поглощается окружающей технической средой, преобразовываясь в теплоту. *Ядерный реактор* – установка, в которой происходит управляемая цепная реакция деления ядер урана, сопровождающаяся выделением теплоты.

Рабочее тело в результате термодинамического цикла получает теплоту в парогенераторах при сжигании органического топлива, а на АЭС [1] рабочее тело получает теплоту в ядерных реакторах за счёт управляемой цепной ядерной реакции деления. Основным элементом станции – ядерный реактор – состоит из активной зоны; отражателя; системы охлаждения; системы управления, регулирования и контроля; корпуса и биологической защиты. Общий вид АЭС представлен на рисунке 8.1.

В рабочие каналы активной зоны ядерного реактора помещают ядерное топливо в виде урановых или плутониевых стержней, покрытых герметичной металлической оболочкой. В этих стержнях происходит управляемая цепная ядерная реакция, а частицы, разлетающиеся в разные стороны с огромными скоростями, ударяются о металлические оболочки, раскаляя их, образуется большое количество тепловой энергии. Поэтому стержни с ядерным топливом называют «тепловыделяющими элементами» или сокращенно «ТВЭлами».

Теплоноситель – это вещество, служащее для отвода теплоты от раскалённых оболочек ТВЭлов. Теплоноситель с помощью принудительной циркуляции омывает в рабочих каналах поверхности ТВЭлов, перегревается и уносит теплоту из активной зоны реактора для нагревания рабочего тела в промежуточных теплообменниках. Активная зона окружена отражателем, который возвращает в неё пытающиеся покинуть нейтроны, а в целях управления цепной ядерной реакцией в активную зону помещают замедлитель нейтронов. В качестве теплоносителя могут использоваться обычная вода, тяжёлая вода, водяной пар, жидкие металлы, некоторые инертные газы (углекислый газ, гелий).

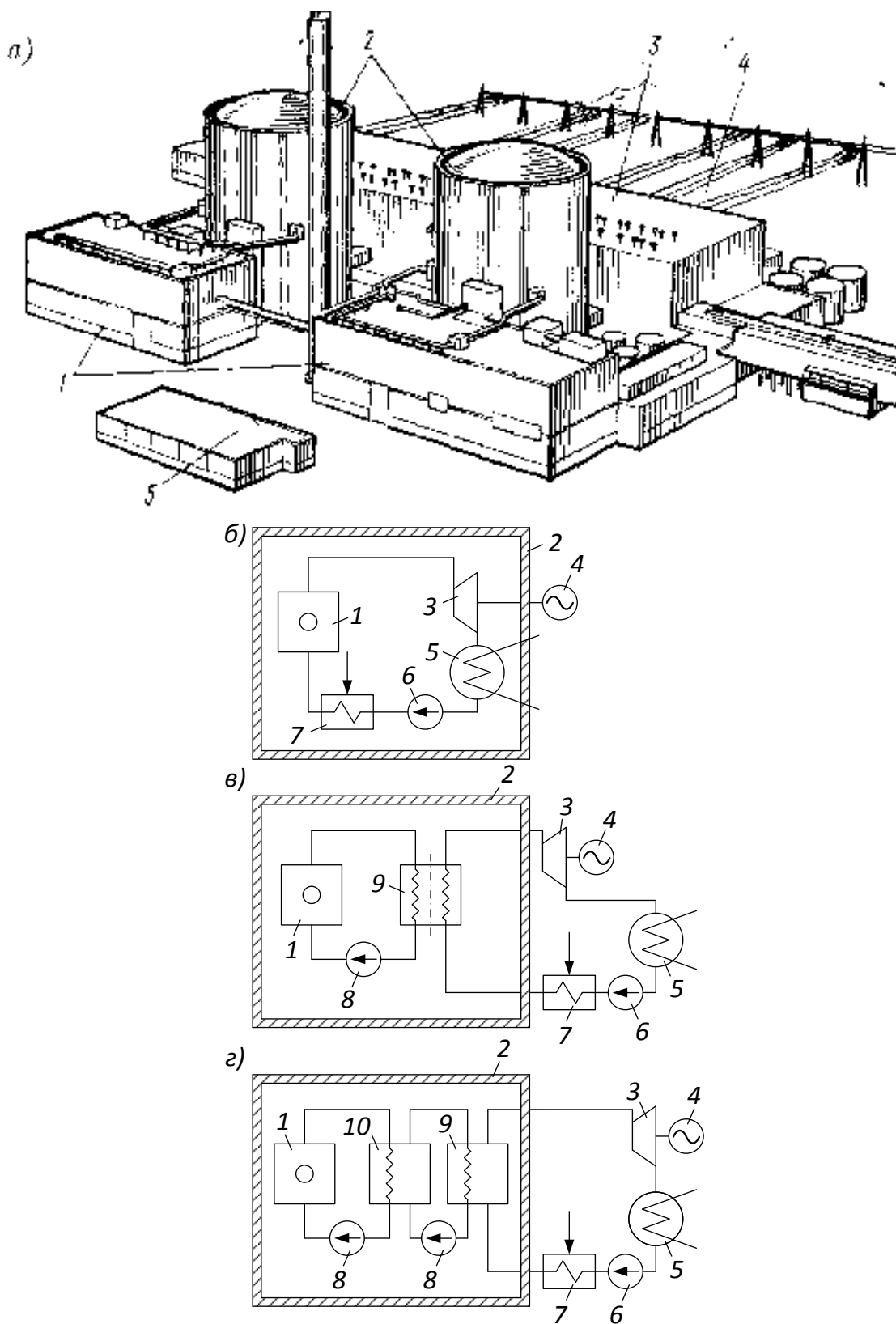


Рис. 8.1. Общий вид и схемы работы АЭС: а – общий вид атомной электростанции: 1 – хранилища топлива; 2 – реакторные здания; 3 – машинный зал; 4 – электрическая подстанция; 5 – хранилище жидких отходов; б, в, г – схемы работы одно-, двух-, трехконтурных АЭС; 1 – реактор с первичной биологической защитой; 2 – вторичная биологическая защита; 3 – турбина; 4 – электрический генератор; 5 – конденсатор или газоохладитель; 6 – насос или компрессор; 7 – регенеративный теплообменник; 8 – циркуляционный насос; 9 – парогенератор; 10 – промежуточный теплообменник (<https://clck.ru/Xko2d>)

Мощность энергетического реактора определяется возможной скоростью отвода теплоты из активной зоны, а также теплоёмкостью теплоносителя. Непосредственно отвод теплоты происходит за счёт конвективного теплообмена, поэтому для повышения его интенсивности следует увеличить скорость движения теплоносителя. Следует понимать, что скорость движения воды в активной зоне составляет примерно 3–7 м/с, а скорость газов – 30–80 м/с, вот почему современные ядерные реакторы выполняют с применением инертных газов, отказываясь от воды в качестве теплоносителя. Управление реактором производится с помощью специальных стержней, поглощающих нейтроны. Стержни вводятся в активную зону и уменьшают поток нейтронов, что снижает интенсивность ядерной реакции.

Теплота реактора передается тепловому двигателю теплоносителем по одноконтурной (рис. 8.1, б), двухконтурной (рис. 8.1, в) и трехконтурной (рис. 8.1, г) схемам.

Многоконтурная схема технологически обладает наивысшими надёжностными и защитными свойствами, обеспечивая радиационную безопасность и удобства для обслуживания оборудования, минимизирует утечки радиации за пределы биологической защиты. Выбор числа контуров зависит от типа реактора, теплоёмкости, скорости движения теплоносителя, а также его пригодности для использования в качестве рабочего тела в паровой турбине. При работе АЭС по двум контурам нагретый в реакторе теплоноситель отдает теплоту рабочему телу в парогенераторе за счёт конвективного теплообмена. Теплоносители в виде жидкостей и газов охлаждаются в парогенераторах значительно, иногда на несколько сотен градусов. Первый контур радиоактивен и поэтому целиком находится внутри биологической защиты. Во втором контуре рабочее тело (конденсат и пар) нигде не соприкасается с радиоактивным теплоносителем первого контура, поэтому проводить ремонт его элементов можно аналогично в сроки, как и на обычных ТЭС.

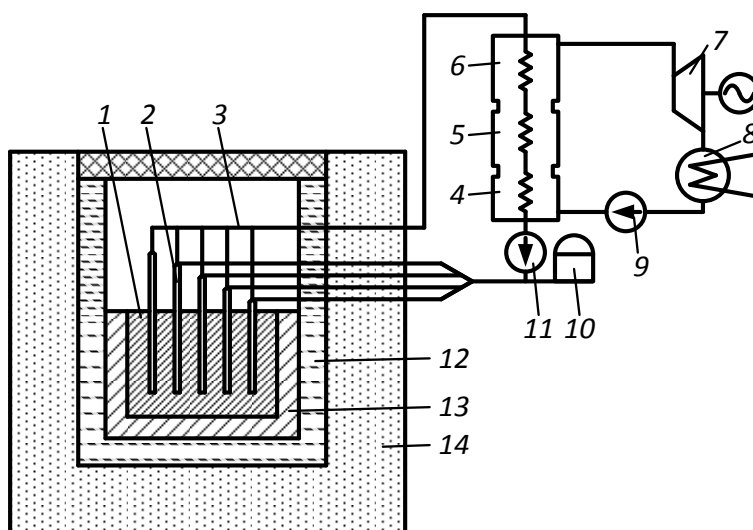


Рис. 8.2. Схема первой АЭС: 1 – графитовый замедлитель; 2 – стержни реактора; 3 – кольцевой коллектор; 4 – подогреватель; 5 – парогенератор; 6 – пароперегреватель; 7 – турбина; 8 – конденсатор; 9 – насос второго контура; 10 – компенсатор; 11 – насос первого контура; 12 – стальной кожух; 13 – графитовый отражатель; 14 – бетонная защита (<https://clck.ru/XknKw>)

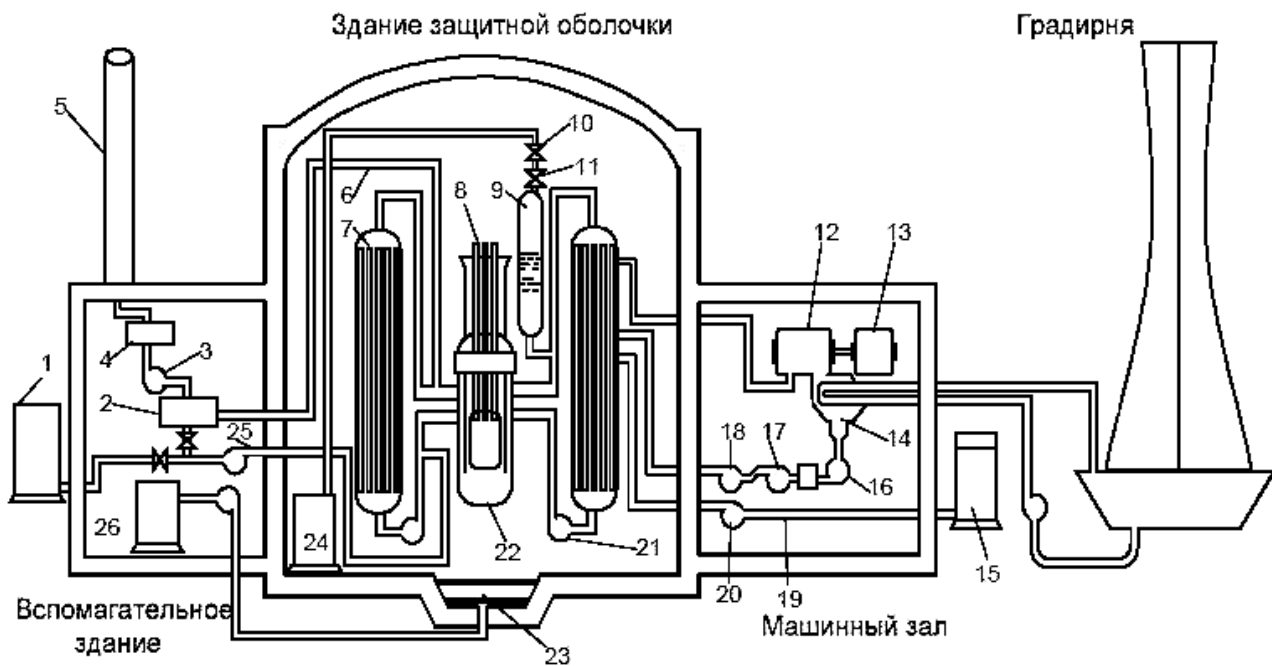


Рис. 8.3. Схема основных технологических элементов АЭС: 1 – бак хранения борированной воды, 2 – бак с водой для подпитки; 3 – вентиляционный отсек, 4 – бак выдержки радиоактивных газов, 5 – вытяжная труба; 6 – линия выпуска, 7 – парогенератор, 8 – стержни регулирования, 9 – компенсатор объема, 10 – разгрузочный клапан; 11 – запорный клапан; 12 – турбина; 13 – генератор, 14 – конденсатор; 15 – бак хранения конденсата; 16 – насос конденсата; 17 – вспомогательный насос; 18 – главный насос питательной воды, 19 – аварийная линия питательной воды; 20 – запорный клапан; 21 – циркуляционный насос первого контура, 22 – реактор; 23 – водоотстойник, 24 – дренажный бак; 25 – линия системы впрыска высокого давления, 26 – бак хранения радиоактивных сбросов. (<https://clck.ru/Xko38>)

В качестве теплоносителя на первой АЭС [6] используется вода (рис. 8.2). Чтобы в парогенераторе вода первого контура нагревала воду второго контура, превращала её в пар, но не испарялась, в этом контуре используется повышенное давление, ведь при таком условии температура кипения воды также повышается. В теплообменнике используется противоток, что даёт возможность нагревать рабочее тело второго контура до 260°C и охлаждать воду первого контура до 130°C .

Рассмотрим технологическую схему работы АЭС, представленную на рисунке 8.3. В атомном реакторе 22 происходит управляемая цепная реакция деления ядер урана. Теплоноситель первого контура омывает поверхности твэлов за счёт работы циркуляционного насоса первого контура 21, отводит теплоту из активной зоны и направляет её в парогенераторы 7. Общее регулирование и выравнивание объема теплоносителя первого контура осуществляется благодаря работе компенсатора объема 9, запорному 11 и разгрузочному 10 клапанам с дренажным баком 24. В парогенераторе 7 за счёт конвективного теплообмена нагревается питательная вода теплоносителя второго контура, которая преобразуется в пар. Пар направляется на рабочие лопатки паровой турбины 12, вал которой вращает ротор электрического генератора 13, в результате производится выработка электрической энергии. Отработанный в паровой турбине 12 пар конденсируется в конденсаторе 14, а конденсат питательной воды с помощью насоса конденсата 16, вспомогательного насоса 17 и главного насоса питательной воды 18 отправляется в качестве

теплоносителя второго контура в парогенератор 7. Оработанная охлаждающая вода теплового конденсатора 14 за счёт своего циркуляционного насоса охлаждается в градирне и подаётся обратно в конденсатор 14. Объем питательной воды второго контура контролируется и регулируется благодаря системе питателей бака хранения конденсата 15, аварийной линии питательной воды 19 и циркуляционному насосу с запорным клапаном 20. Различные радиоактивные отходы, пары и примеси, которые скапливаются в пределах здания защитной оболочки, собираются в водоотстойник 23 и с помощью своего циркуляционного насоса откачиваются из здания защитной оболочки в бак хранения радиоактивных сбросов 26. В случае возникновения аварийной ситуации для остановки реактора используется бак хранения борированной воды 1, которая при аварии с помощью линии системы впрыска высокого давления 25 подаёт борированную воду в первый контур теплоносителя для активного поглощения нейтронов. Для подпитки теплоносителя первого контура служит бак подпитки 2. Кроме этого, для выравнивания давления воздуха в помещениях АЭС, применяются вентиляционный отсек 3, бак выдержки радиоактивных газов 4 и вытяжная труба 5.

Защита реактора выполняется в виде толстого слоя бетона с внутренними теплоотводящими каналами, по которым циркулирует вода или воздух для отвода теплоты. Биологическая защита выполняет функции изоляции реактора от окружающего пространства, т. е. от проникновения за пределы реактора. Защита должна ограничивать уровни излучений до значений, не превышающих допустимых доз как при работе реактора, так и при его останове. Биологическая защита в первую очередь предназначена для создания безопасных условий работы обслуживающего персонала, а также призвана защитить от выхода за пределы реактора мощных потоков нейтронов, α -, β -, γ -лучей и осколков деления. Поэтому все излучающие устройства (первый контур) помещаются внутри биологической защиты.

Важный вопрос в изучении технологического процесса получения электрической энергии на АЭС – подготовка и производство ядерного горючего.

Цепную реакцию деления ядер можно получить с помощью изотопа урана - ^{235}U . В природе встречаются два вида изотопа урана – ^{235}U и ^{238}U – в следующем соотношении: ^{238}U составляют 99,3% от общих запасов урана, ^{235}U только 0,7%.

Ядро ^{235}U чрезвычайно неустойчиво и делится при попадании в него быстрых и медленных нейтронов. Ядро ^{238}U устойчиво и делится только при попадании в него быстрых нейтронов. Выделение нейтронов при делении ^{238}U невелико, и вызвать цепную реакцию этого изотопа невозможно.

Вероятность захвата нейтронов ядрами в значительной степени зависит от скорости движения нейтронов. Непосредственно в момент деления ядер урана скорость нейтронов равна примерно 20000 км/с, при этом сечение захвата нейтронов ядрами ^{235}U мало. Поэтому нейтроны необходимо замедлить, пропустив их через вещество из легких элементов, не поглощающих нейтроны: воду, тяжёлую воду, графит, бериллий.

При скорости нейтронов $v=30$ км/с наступает резонансный захват нейтронов ядрами урана ^{238}U , которые образуют плутоний ^{239}Pu , сходный по ядерным характеристикам с ураном ^{235}U . Дальнейшее снижение скорости нейтронов вызывает уменьшение сечения

захвата ядрами ^{238}U и увеличение его ядрами ^{235}U . Нейтроны, имеющие скорости около 2 км/с, называются тепловыми. Сечение захвата тепловых нейтронов ядрами ^{235}U в 20 000 раз больше, чем ядер ^{238}U . Тепловые нейтроны могут вызывать цепную реакцию у природного (необогаченного) урана.

При делении одного ядра урана выделяется 200 МэВ энергии, причём 1 эВ – это энергия, которую получает частица с зарядом, равным заряду электрона при прохождении разности потенциалов в 1 В: $1\text{эВ} = 1\text{e} \cdot 1\text{В} = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 4,45 \cdot 10^{-26} \text{ кВт}\cdot\text{ч}$; 1 эВ – основная единица измерения энергии в ядерной и атомной физике. В 1 г урана содержится $2,6 \cdot 10^{21}$ ядер, при делении которых можно получить 23,2 МВт·ч энергии. При сжигании 1 г угля получается всего 7–8 Вт·ч энергии.

При захвате нейтронов ядрами ^{238}U и ^{232}Th (торий) образуются плутоний ^{239}Pu и уран ^{233}U , способные создавать цепные реакции деления и, следовательно, рассматриваемые как ядерное топливо. Такое ядерное топливо получают в специальных реакторах-размножителях.

В ядерной физике «размножителем» называют реактор, который на 1 атом сожжённого топлива производит свыше одного расщепляющегося атома. Изотопы ^{232}Th тория и ^{238}U урана называют «воспроизводящими». Деление одного ядра ^{235}U в среднем сопровождается выделением 2,5 нейтрона, из которых один нейтрон необходим для поддержания цепной реакции, а оставшиеся 1,5 нейтрона используются для поглощения неделящимися ядрами.

Урановый цикл размножения на быстрых нейтронах показан на рисунке 8.4. Схема обогащения ^{238}U показана на рисунке 8.5. В СССР в 1973 г. в г. Шевченко начала работать первая в мире промышленная АЭС на быстрых нейтронах.

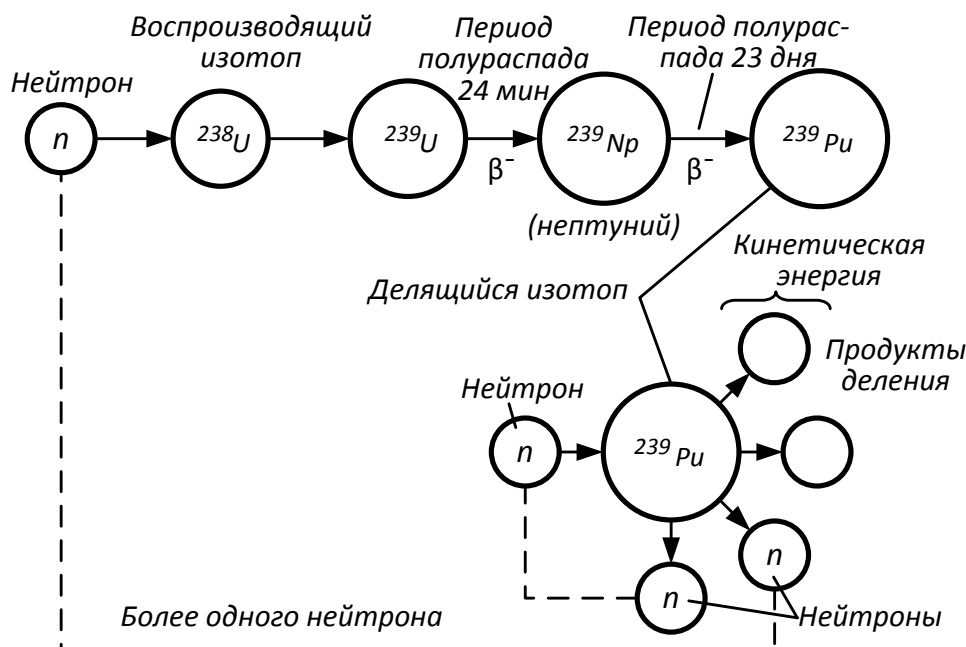


Рис. 8.4. Урановый цикл размножения на быстрых нейтронах

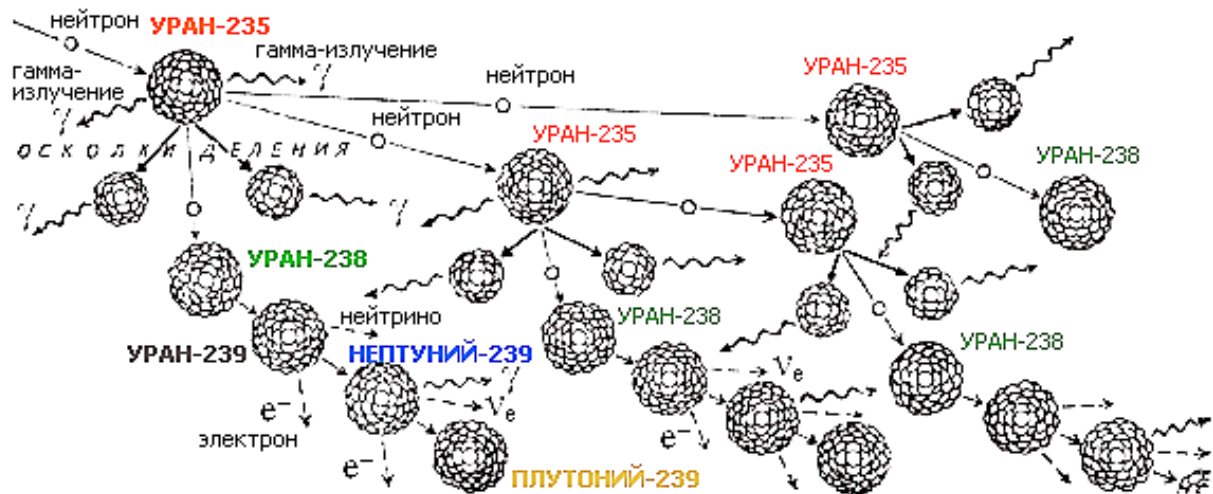


Рис. 8.5. Схема обогащения урана

Контрольные вопросы

1. Как работает АЭС?
2. Для чего на АЭС используются парогенераторы?
3. Что такое «твель»? Какую функцию они выполняют?
4. Что называют «размножителем»? Почему?
5. Для чего на первом контуре АЭС используют борированную воду?

9. ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Доля атомной энергетики [14] в производстве электроэнергии в перспективе будет возрастать. Реакторы, работающие на медленных нейтронах: водо-водяные, кипящие водяные, газографитовые, уран-графитовые, тяжеловодные и др. – не позволяют наиболее эффективно использовать ядерное горючее. Реакторы на быстрых нейтронах обладают возможностью воспроизводства ядерного горючего с коэффициентом воспроизводства, достигшим 1,4 и выше, и временем удвоения ядерного горючего менее 10 лет. Но все же это время довольно продолжительное. Требуется 8–10 лет, чтобы получить Pu плутоний, необходимый для построения аналогичного реактора на быстрых нейтронах.

Один из важных вопросов ядерной энергетики состоит в выборе природного или обогащённого урана. В Российской Федерации применяется обогащённый уран (рис. 9.1), так как это позволяет более полно выжигать ядерное горючее и осуществлять более широкий выбор конструкционных материалов, замедлителей нейтронов и теплоносителей.

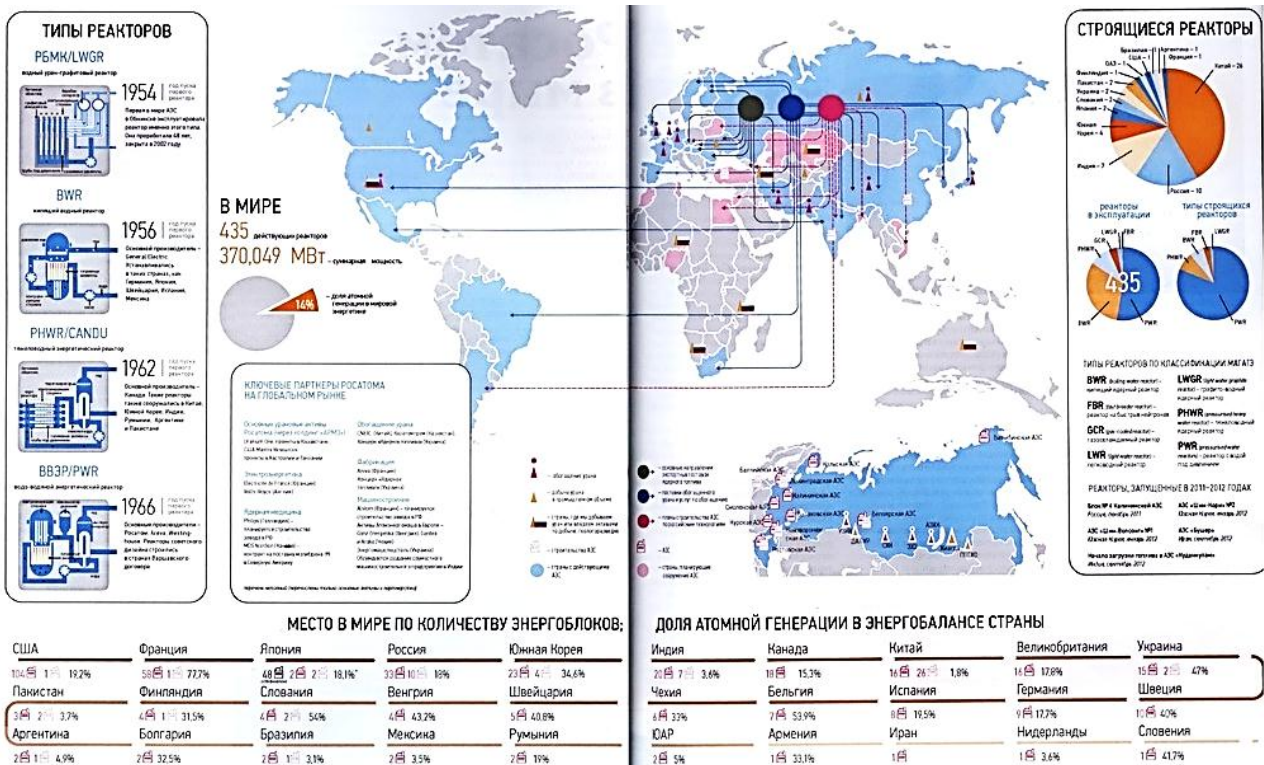


Рис. 9.1. Карта атомного мира по версии ГК «Росатом» (<https://clck.ru/Xko63>)

Назовём основные преимущества атомной энергетики:

- 1) АЭС почти не зависят от месторасположения источников сырья вследствие компактности ядерного топлива и лёгкой его транспортировки. Однако для охлаждения АЭС необходим мощный источник воды (морской или пресной);
- 2) сооружение мощных энергетических блоков имеет благоприятные перспективы, так как один реактор может дать электрическую мощность около 2 ГВт;

- 3) малый расход горючего не требует загрузки транспорта;
- 4) АЭС практически не загрязняют окружающую среду.



Рис. 9.2. Атомные электростанции РФ (<https://clck.ru/Xko98>)

Типы используемых в Российской Федерации ядерных реакторов (рис. 9.3):

ВВЭР – реактор энергетический, водо-водяной, гетерогенный, корпусной, на тепловых нейтронах, с водой в качестве теплоносителя, замедлителя и отражателя нейтронов;

РБМК – реактор каналный, гетерогенный, графито-водный, кипящего типа, на тепловых нейтронах;

БН – энергетический реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем;

ЭГП – энергетический гетерогенный петлевой графито-водный реактор.

Всего в мире 205 АЭС, из них в России 10 станций:

- Балаковская АЭС с 1985 (4- ВВЭР-1000)
- Белоярская АЭС с 1980 (БН–600 и БН-800)
- Билибинская АЭС с 1974 (3-ЭГП-6 эл. мощность 12 МВт)
- Калининская АЭС с 1984 (4- ВВЭР-1000)
- Кольская АЭС с 1973г. (4-ВВЭР-440)
- Курская АЭС с 1976 г. (4-РБМК-1000)
- Ленинградская АЭС с 1973 (3-РБМК-1000+1-ВВЭР-1200)
- Нововоронежская АЭС с 1964 г. (3- ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200)
- Ростовская АЭС с 2001 (4- ВВЭР-1000)
- Смоленская АЭС с 1982 (3- РБМК-1000)



Рис. 9.3. Типы реакторов на АЭС России (<https://clck.ru/Xko9C>)

В таблице 9.1. представлено количество атомных реакторов в мире.

Таблица 9.1

Количество атомных реакторов в мире

Страна	Количество реакторов	Электрическая мощность [МВт]
Соединенные штаты Америки	99	98708
Франция	58	63130
Япония	43	40290
Россия	35	25443
Китай	31	26635
Корея, республика	25	23114
Индия	21	15308
Канада	19	13500
Украина	15	13107
Великобритания	15	8883
Швеция	10	9648
Германия	8	10799
Бельгия	7	5913
Испания	7	7121
Чешская республика	6	3904
Швейцария	5	3333
Финляндия	4	2752

Реакторы ВВЭР являются самым распространенным типом реакторов в России. Весьма привлекательны дешевизна используемого в них теплоносителя-замедлителя и относительная безопасность в эксплуатации, несмотря на необходимость использования в этих реакторах обогащённого урана. Из самого названия реактора ВВЭР следует, что у него и замедлителем,

и теплоносителем является обычная лёгкая вода. В качестве топлива используется обогащенный до 4,5% уран.

Использование воды обеспечивает безопасность эксплуатации реактора.

Достоинства ВВЭР:

- Технология изготовления таких реакторов хорошо изучена и отработана.
- Использование воды в качестве и теплоносителя, и замедлителя в ядерных установках.
- Вода, обладая хорошими теплопередающими свойствами, относительно просто и с малыми затратами мощности перекачивается насосами.

• Использование воды в качестве теплоносителя позволяет осуществить непосредственную генерацию пара в реакторе (кипящие реакторы). Лёгкая вода используется также для организации пароводяного цикла во вторичном контуре.

• В реакторах с водяным теплоносителем-замедлителем при соответствующей конструкции активной зоны можно достичь отрицательного температурного коэффициента реактивности, что предохраняет реактор от произвольного разгона мощности.

• Корпусные реакторы имеют защитную оболочку, выполнить которую для канальных реакторов не представляется возможным из-за большой разветвлённости труб реакторного отделения.

• Позволяет создавать блоки мощностью до 1600 МВт. • Требуют высокообогащённого урана.

Недостатки ВВЭР:

• Наличие сложного в изготовлении и габаритного герметичного корпуса, т.к. давление в первом контуре может достигать до 160 атм (ВВЭР-1000).

• Невозможность частичной перегрузки тепловыделяющих сборок, то есть для замены топлива требуется полная остановка реактора, дренирование теплоносителя, демонтаж системы привода стержней, снятие крышки реактора.

• Вода взаимодействует с ураном и его соединениями (коррозирует) при аварийных ситуациях, поэтому тепловыделяющие элементы должны снабжаться антикоррозионными покрытиями (обычно цирконий).

• Возможность аварии с вытеканием теплоносителя и необходимость средств для её компенсации.

В таблице 9.2. представлены крупнейшие АЭС.

Таблица 9.2

Крупнейшие АЭС

	Название	Руст, МВт	Примечание
1	Касивадзаки-Карива (Kashiwazaki-Kariwa) (Япония).	7965	Она включает в себя семь реакторов.
2	Запорожская АЭС (Украина)	6000	Самая крупная станция Европы. Шесть реакторов.
3	Йонван (Yeonggwang) (Южная Корея)	5875	
4	Норд (Nord) (Франция)	5460	

	Название	Руст, МВт	Примечание
5	Палюэль (Paluel) (Франция)	5320	
6	Катгеном (Cattenom) (Франция)	5200	Четыре реактора.
7	Брюс (Bruce County) (Канада)	4693	Самая мощная АЭС на территории Северной Америки. Шесть реакторов.
8	Охи (Ohi) (Япония)	4494	Четыре реактора.
9	Пало-Верде (Palo Verde) (США)	4174	Самая мощная в США. Три реактора.
10	Балаковская, Калининская, Курская, Ленинградская,	4000	Четыре реактора.

В таблице 9.3. представлены основные характеристики реакторов РБМК.

Таблица 9.3

Основные характеристики реакторов РБМК

Характеристика	РБМК-1000	ВВЭР-1000
Тепловая мощность реактора, МВт	3200	3000
Электрическая мощность блока, МВт	1000	1000
К. п. д. блока, %	31,3	33
Давление пара перед турбиной, атм	65	160 (теплоносителя в 1-м контуре)
Температура пара перед турбиной, °С	280	
Размеры активной зоны, м:		Размер
высота	7	3,5
диаметр	11,8	3,12
Загрузка урана, т	192	75
Обогащение, % 235U	2,6-3,0	4,4-3,3

Преимущества РБМК:

- Отсутствие общего герметичного корпуса высокого давления и, как следствие, отсутствие ограничений на размер активной зоны и мощность реактора.
- Перезагрузка топлива без остановки.
- Реакторы РБМК безопасны лишь при правильной их эксплуатации и хорошо разработанных системах защиты, но зато способны использовать малообогащённое топливо или даже отработанное топливо ВВЭР.

Недостатки РБМК:

- Присутствие в активной зоне большого количества конструкционных материалов, поглощающих нейтроны.
- Теоретически: необходимость использования ядерного топлива с высоким обогащением. На практике: в связи со спецификой используемых замедлителей корпусные ВВЭР требуют большего обогащения, чем каналные РБМК.
- Положительный температурный коэффициент реактивности, который при неправильной эксплуатации может привести к неконтролируемому увеличению мощности. Данный недостаток стал одной из причин аварии на Чернобыльской АЭС.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные преимущества атомной энергетики?
2. Какие реакторы на медленных нейтронах вы знаете?
3. Что применяется в России: природный или обогащенный уран? Есть ли отличия в применении?
4. Каковы недостатки и достоинства ВВЭР?
5. Каковы недостатки и достоинства РБМК? Какие реакторы были на Чернобыльской АЭС (авария)?

10. НАДЕЖНОСТЬ АЭС

Новые проекты строительства АЭС [10] сопряжены с вопросами безопасности работы и возможных вредных влияний на человека радиоактивных излучений.

Для того, чтобы АЭС не вызывали критических радиоактивных излучений, необходимо выполнение следующих требований безопасности:

- безопасность обслуживающего персонала;
- отсутствие распространения радиоактивности в атмосферу и воду;
- обеспечение безаварийной работы реакторов станций;
- переработка и хранение радиоактивных отходов.

Главное здание станции в соответствии с требованиями безопасности разделяется на зоны строгого и свободного режима. В зоне строгого режима на обслуживающий персонал могут воздействовать заражённые воздух и поверхности технологического оборудования и приборов. Зона строгого режима разделяется на помещения, где персонал может присутствовать постоянно, и куда во время работы реактора вход строго воспрещён. Обе зоны изолированы одна от другой, и попасть в зону строгого режима можно только через санитарный отсек.

Для задержки радиоактивности, излучаемой при работе реактора, устанавливается несколько защитных критических барьеров:

- кристаллическая решётка топлива, которой поглощаются радиоактивные продукты деления и превращения тяжёлых ядер (рис. 10.1);
- металлическая оболочка тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ);
- корпус реактора и система циркуляции теплоносителя (первого контура);
- железобетонные или металлические защитные оболочки, предотвращающие распространение радиоактивности при нарушении прочности корпуса реактора или контура с теплоносителем.

Для безопасности реактора имеет значение параметр коэффициента реактивности. Его можно образно представить как величину, показывающую, как изменение того или иного параметра реактора повлияет на интенсивность цепной реакции в нём. Если этот коэффициент положительный, то при увеличении параметра, по которому приводится коэффициент, цепная реакция в реакторе при отсутствии каких-либо других воздействий будет нарастать и в конце станет возможным переход её в неуправляемую и каскадно нарастающую – произойдет разгон реактора. При разгоне реактора происходит интенсивное тепловыделение, приводящее к расплавлению тепловыделителей, стеканию их расплава в нижнюю часть активной зоны, что может привести к разрушению корпуса реактора и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду.



Рис. 10.1. Структура топливной сборки и тепловыделяющего элемента (<https://clck.ru/XkoVk>)

В таблице 10.1. представлены коэффициенты реактивности реакторов ВВЭР и РБМК.

Таблица 10.1

Коэффициенты реактивности реакторов ВВЭР и РБМК

Коэффициенты реактивности	ВВЭР	РБМК
Паровой (при наличии пара в активной зоне)	– (при появлении в активной зоне пара реактор глохнет)	+ (при появлении в активной зоне пара реактор разгоняется)
Температуры теплоносителя	– (при повышении температуры теплоносителя реактор глохнет)	+ (при повышении температуры теплоносителя реактор разгоняется)
Плотности теплоносителя	– (при снижении плотности теплоносителя (в частности, при повышении его температуры) реактор глохнет)	+ (при снижении плотности теплоносителя (в частности, при повышении его температуры) реактор разгоняется)

Построенные и строящиеся АЭС с водо-водяными реакторами мощностью 1000 МВт снабжаются защитными оболочками. Важное значение для выравнивания давления в машинном зале с окружающей средой играет газгольдер с высокой трубой. Высота трубы рассчитана таким образом, чтобы радиоактивные ядра успевали частично распастыся до момента соприкосновения с поверхностью окружающего грунта. Основную и аварийную безопасность работы реактора обеспечивают подвижные компенсирующие стержни, поглощающие нейтроны деления. Однако если по ошибке стержни окажутся поднятыми, начнется неуправляемый «разгон мощности». Тогда придёт в действие аварийная защита, включающая сначала сигнализацию, а затем мгновенно вводящая в активную зону дополнительные аварийные стержни. Чтобы исключить самопроизвольный пуск реактора, в систему первого контура вводится борная кислота, активно поглощающая нейтроны.

Максимальная проектная авария предусматривает мгновенный разрыв главного трубопровода первого контура. Давление в контуре теплоносителя резко уменьшится и мгновенно закипит вода, которая в эксплуатационных условиях нагрета до 300°C. Аварийная защита, вступив в действие, понизит мощность реактора, но теплота в активной зоне будет по-прежнему выделяться и если её не отводить (из-за разрушения системы охлаждения), то могут расплавиться оболочки твэлов.

Авария 26 апреля 1986 г. на четвёртом блоке Чернобыльской АЭС в СССР привела к тяжёлым последствиям. Разрушение РБМК (реактора большой мощности канального типа) вызвало радиоактивное загрязнение территории около 1 тыс. км². Были выведены из строя сельскохозяйственные угодья, остановлена работа предприятий, а в пределах 30-километровой зоны от центра аварии выселено несколько десятков тысяч человек. Авария на Чернобыльской АЭС произошла из-за ряда допущенных работниками этой станции грубых нарушений правил эксплуатации реакторной установки. Вследствие несоблюдения персоналом технологического регламента эксплуатации реактор попал в опасное нерасчётное состояние. По плану реактор нужно было вывести в ремонт, и перед его остановкой администрация решила провести испытание турбогенератора в режиме совместного выбега с нагрузкой собственных нужд. Однако руководители станции не подготовились к эксперименту должным образом, не обеспечили необходимый контроль и надлежащие требования безопасности.

Авария на Чернобыльской АЭС показала необходимость конкретных мер по усилению безопасности атомных станций.

Контрольные вопросы

1. Какие требования безопасности надо соблюдать, чтобы АЭС не вызывали критических радиоактивных излучений?
2. Что такое зона строгого режима?
3. Что такое коэффициент реактивности? Как его используют?
4. Как рассчитывается высота трубы у газгольдера?
5. Что вы можете рассказать про Чернобыльскую аварию?

11. МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Важной вехой в энергетике является создание установок напрямую, без дополнительных преобразований тепловой энергии в электрическую. Непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую позволяет существенно повысить эффективность использования топливных ресурсов.

Для современной электроэнергетики большое значение имеет открытый Фарадеем закон электромагнитной индукции, в соответствии с которым в проводнике, движущемся в магнитном поле, индуцируется ЭДС. При этом проводник может быть как твердым, жидким, так и газообразным. Область науки, изучающая взаимодействие между магнитным полем и токопроводящими жидкостями или газами, называется *магнитогидродинамикой*.

Еще Кельвин показал, что движение в устье реки солёной воды в магнитном поле Земли вызывает появление ЭДС. Схема такого МГД-генератора Кельвина показана на рисунке 11.1. В соответствии с законом электромагнитной индукции сила тока в проводниках 1, присоединенных к пластинам 2, опущенным в воду вдоль берегов реки, пропорциональна индукции магнитного поля Земли и скорости течения солёной морской воды в реке. При изменении направления течения воды в реке изменялось также и направление электрического тока в проводниках между пластинами.

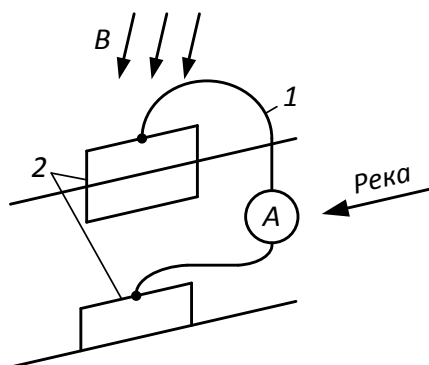


Рис. 11.1. Схема магнитогидродинамического генератора солёноводной реки

Принципиальная схема действия современного МГД-генератора (рис. 11.2) работает следующим образом: между металлическими пластинами, расположенными в сильном магнитном поле, пропускается струя ионизированного газа (плазмы), обладающего кинетической энергией направленного движения частиц. При этом в соответствии с законом электромагнитной индукции появляется ЭДС, которая вызывает протекание электрического тока между электродами внутри канала генератора и во внешней цепи. Поток ионизированного газа (плазмы) тормозится под действием электродинамических сил, возникающих при взаимодействии протекающего в плазме тока и магнитного потока. Выработка электрической энергии происходит путём совершения работы по преодолению сил торможения магнитным полем, созданным внешними магнитами.

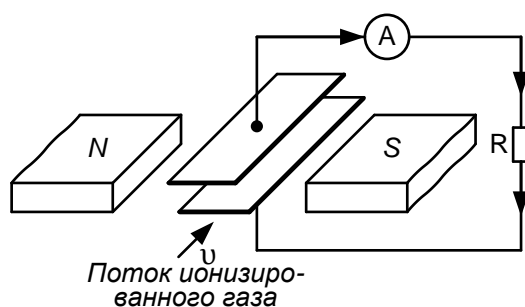


Рис. 11.2. Схема работы МГД-генератора

Если какой-либо газ нагреть до температуры выше 3000°C , то его внутренняя энергия возрастёт, а газ превратится в электропроводное вещество, и при последующем его расширении в рабочих каналах МГД-генератора произойдёт прямое преобразование тепла в электричество. Принципиальная схема МГД-генератора с паросиловой установкой показана на рисунке 11.3. В камере сгорания сжигается органическое топливо, получаемые при этом продукты в состоянии плазмы с присадками проходят через расширяющийся канал МГД-генератора, в котором сильное магнитное поле создаётся мощными электромагнитами. Температура газа в канале генератора должна быть не ниже 2000°C , а в камере сгорания – $2500\text{--}2800^{\circ}\text{C}$.

Остаточная теплота плазмы в МГД-генераторах используется для подогрева воздуха, подаваемого в камеру сгорания топлива, а затем в паросиловой установке используется для получения пара и доведение его параметров до необходимых значений для вращения лопаток паровой турбины.

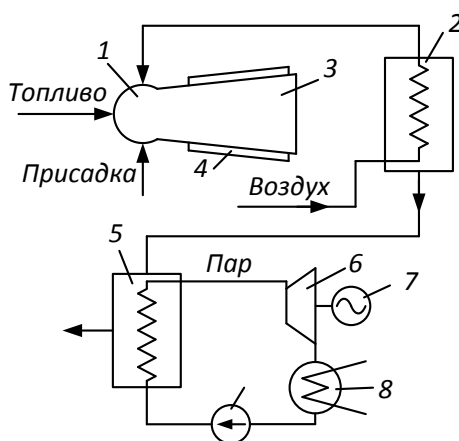


Рис. 11.3. Принципиальная схема МГД-генератора с паросиловой установкой: 1 – камера сгорания; 2 – теплообменник; 3 – МГД-генератор; 4 – обмотка электромагнита; 5 – парогенератор; 6 – турбина; 7 – генератор; 8 – конденсатор; 9 – насос

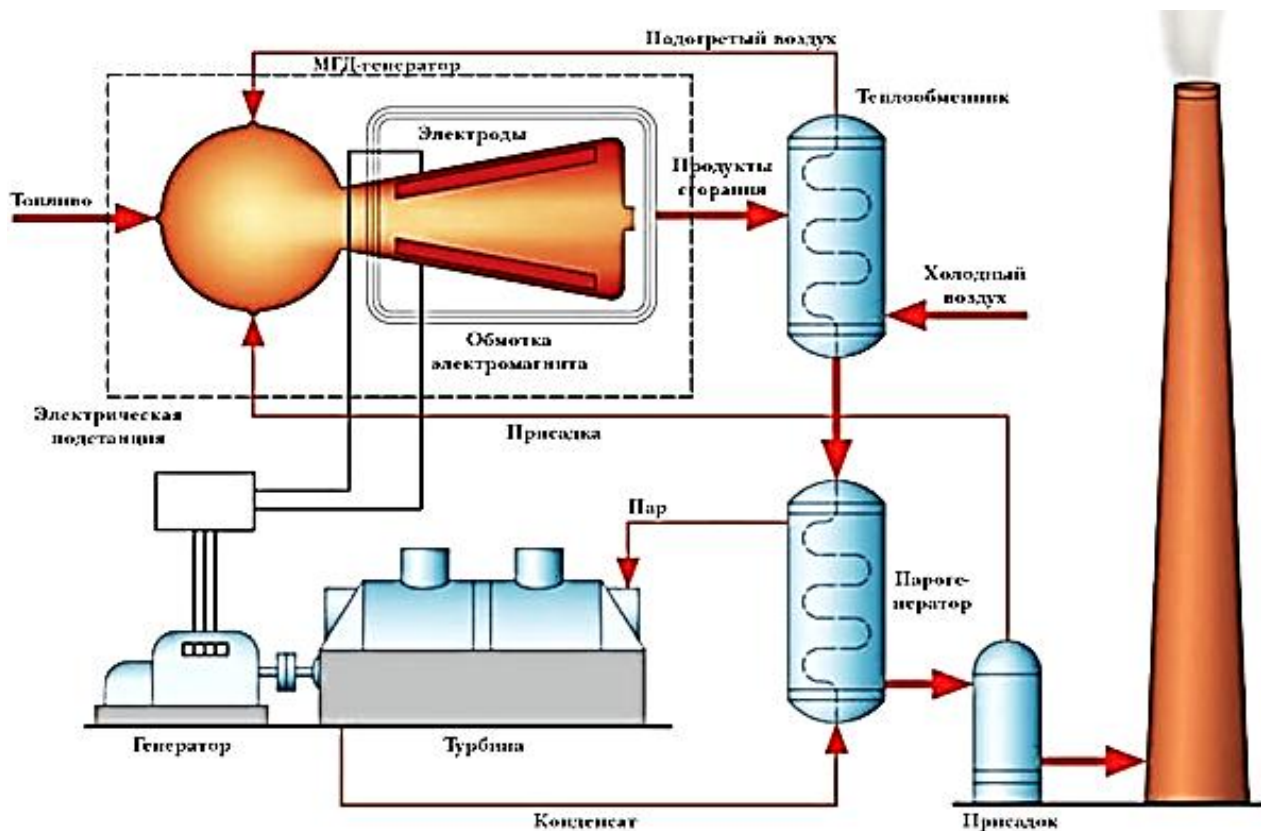


Рис. 11.4. Принципиальная схема МГД-генератора с паросиловой установкой (<https://clck.ru/Xko9C>)

Трудности в создании МГД-генераторов состоят в производстве и использовании материалов необходимой прочности. Так как элементам конструкции необходимо работать в агрессивных средах, которые на них воздействуют длительные периоды времени, к прочностным характеристикам предъявляются высокие требования. Сказываются также и высокие температуры (2500–2800°C). А добавление к плазме специальных присадок вызывает повышенную коррозию конструкционных материалов. В настоящее время такие материалы разрабатываются (например, графит, окись магния), но к ним остаются вопросы по способности противостоять механическим напряжениям.

Несмотря на достигнутые прорывные технологии, до конца задача промышленного использования МГД-генератора остаётся нерешённой. Разработан проект МГД-генератора, работающего по замкнутому циклу, в котором гелий с присадкой цезия непрерывно циркулирует в состоянии плазмы.

В качестве проводников для обмоток электромагнитов МГД-генератора целесообразно использовать сверхпроводящие материалы, которые не перегреваются и имеют небольшое активное сопротивление.

Тем не менее, опытные образцы МГД-генераторов имеют достаточно высокую стоимость, но в перспективе такие генераторы способны конкурировать с обычными электростанциями.

Контрольные вопросы

1. Что такое магнитогидродинамика?
2. Проводник в магнитном поле для создания ЭДС может быть любого агрегатного состояния?
3. Как работает МГД-установка?
4. Можно ли сравнить работы ПГУ и МГД-генератора с паросиловой установкой?

12. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

К устройствам, непосредственно преобразующим тепловую энергию в электрическую, также относятся и термоэлектрические генераторы (ТЭГ).

К их достоинствам можно отнести:

- отсутствие подвижных частей;
- отпадает применение высокого давления;
- применяются любые источники теплоты;
- большой ресурс работы.

В зависимости от назначения ТЭГ могут преобразовывать в электрическую энергию теплоту, получаемую в атомных реакторах, энергию солнечной радиации, энергию органического топлива и т. д.

Принцип работы термоэлемента был разработан Томасом Иоганном Зеебеком, немецким физиком. Впоследствии эффект получения электроэнергии в термоэлементе был назван в его честь.

Термоэлектрический эффект объясняется тем (рис. 12.1), что средняя энергия свободных электронов различна в разных проводниках и растёт с повышением температуры. Если вдоль проводника создать перепад температур, то возникнет направленный поток электронов от горячего спая к холодному, вследствие чего у холодного спая образуется избыток отрицательных зарядов, а у горячего – избыток положительных. Поток этот более интенсивен в проводниках с большой концентрацией электронов. У термоэлемента, замкнутая цепь которого состоит из двух проводников, каждый из которых имеет различную концентрацию электронов, а спаи поддерживаются при разных температурах, возникает электрический ток. Если цепь разомкнуть, то накопление электронов на холодном спае увеличивает его отрицательный потенциал до установления динамического равновесия между электронами, смещающимися к холодному концу, и электронами, уходящими от холодного спая под действием возникшей разности потенциала (рис. 12.2).

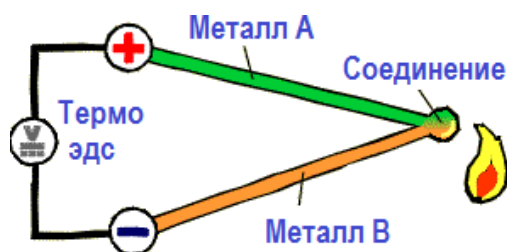


Рис. 12.1. Эффект Зеебека (<https://clck.ru/Xkodr>)



Рис. 12.2. Принципиальная схема работы ТЭГ (<https://clck.ru/XkoUZ>)

Чем меньше электропроводность материала, тем меньше скорость обратного перетока электронов, следовательно, выше ЭДС. Именно из-за этого полупроводники более эффективны, чем металлы. Одним из практических применений термоэлементов является использование теплового насоса, у которого в одной части выделяется тепловая энергия, а в другой – поглощается, когда к нему приложен внешний источник электрической энергии. Если меняем направление тока, то насос работает в обратном режиме, т. е. части, в которых происходит выделение и поглощение теплоты, поменяются местами. Такие тепловые насосы могут успешно применяться для терморегуляции жилых и прочих помещений.

В качестве источников энергии ТЭГ широко используют на космических объектах, ракетах, подводных лодках, маяках и многих других установках [26, 20].

Контрольные вопросы

1. Какие достоинства есть у ТЭГ?
2. В каком направлении движется поток электронов в ТЭГ? Почему?
3. Какие вы знаете практические применения термоэлементов?
4. Могут ли термоэлементы выделять теплоту, а не только её поглощать?
5. Где используются ТЭГ в качестве источников энергии?

13. РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Естественный радиоактивный распад ядер сопряжён с движущимися с большой скоростью частицами распада. Кинетическая энергия этих частиц используется в термоэлементах для преобразования в теплоту путём нагрева в результате столкновений и поглощений энергии. Установки такого типа называются радиоизотопными термогенераторами (рис. 13.1). Эти термогенераторы крайне надёжны благодаря отсутствию движущихся и вращающихся элементов, имеют длительный срок службы, компактны и успешно используются в качестве автономных источников энергии для различных установок космического и наземного назначений.

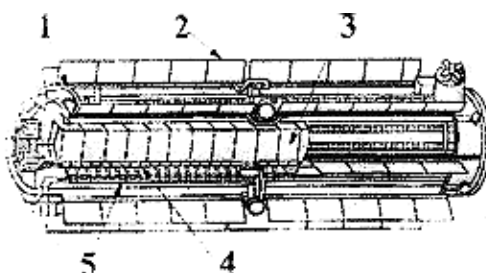


Рис. 13.1. Радиоизотопного термоэлектрического генератора: 1 – трубки охлаждения; 2 – внешний алюминиевый корпус; 3 – диоксид плутония; 4 – термопара; 5 – многослойная изоляция (<https://clck.ru/XkopM>)

Контрольные вопросы

1. Что такое радиоизотопные генераторы?
2. Можно ли использовать в качестве автономных источников энергии? Для какого назначения?

14. ТЕРМОЭМИССИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Явление термоэлектронной эмиссии впервые было открыто Томасом Эдисоном в 1883 г. В процессе работы над созданием первой электрической лампы Эдисон размещал в колбе две нити. Во время подбора материала для этих излучающих нитей одна из них перегорала, и изобретатель подключал другую путём поворота лампы. Во время таких испытаний обнаруживалось, что некоторое количество электричества [15; 17] переходит к холодной нити, т. е. электроны «испаряются» с горячей нити (она получила название катод), движутся к холодной нити (она получила название анод) и далее во внешнюю электрическую цепь. В этом случае часть тепловой энергии, расходуемой на нагревание катода, переносится электронами и отдается аноду, а часть энергии электронов выделяется во внешней электрической цепи при протекании электрического тока.

Было замечено, что анод разогревается за счёт теплоты, переносимой электронами. Чем меньше разница температур между анодом и катодом, тем больше тепловой энергии преобразуется в электрическую. Простейшая схема термоэмиссионного преобразователя энергии показана на рисунке 14.1.

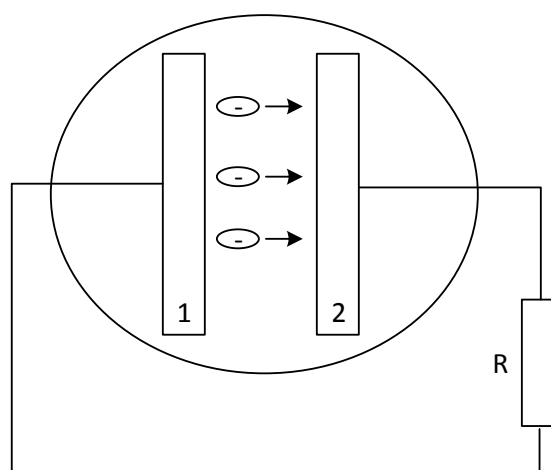


Рис. 14.1. Устройство термоэмиссионного преобразователя энергии: 1 – катод; 2 – анод

В процессе термоэлектронной эмиссии с поверхности металлов происходит выход свободных электронов. Внутри металла силы притяжения электрона сбалансированы положительно заряженными ядрами, но на поверхности электронам достаточно кинетической энергии для преодоления запирающего слоя для выхода на свободный энергетический уровень, что происходит при нагревании металла.

В энергетических термоэмиссионных генераторах для нагревания катода можно воспользоваться теплотой, получаемой в результате протекания радиоактивного распада ядер. Схема ядерного термоэмиссионного преобразователя приведена на рисунке 14.2. Испускание электронов в термоэмиссионных генераторах вызывается нагреванием катода. При радиоактивном распаде электроны (β -лучи) испускаются вследствие естественного свойства

радиоактивных ядер при столкновении со свободными нейтронами. Непосредственно используя это свойство, можно осуществить прямое преобразование ядерной энергии в электрическую.

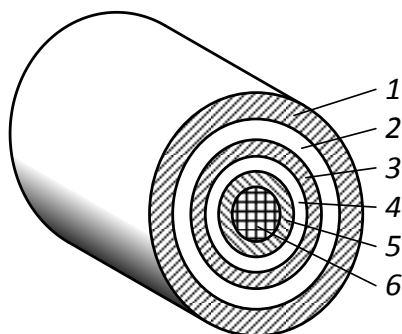


Рис. 14.2. Ядерный термоэмиссионный преобразователь: 1 – защита; 2 – охладитель; 3 – анод; 4 – вакуум; 5 – катод; 6 – ядерное горючее

Контрольные вопросы

1. Что являлось катодом и анодом в опыте Т. Эдисона?
2. Когда и почему происходит выход свободных электронов в устройстве термоэмиссионного преобразователя энергии?

15. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

В электрохимических генераторах происходит прямое преобразование химической энергии в электрическую. Возникновение ЭДС [19] в гальваническом элементе связано со способностью металлов посылать свои ионы в раствор в результате молекулярного взаимодействия между ионами металла и молекулами (и ионами) раствора, а также обратного процесса замещения. При опускании цинкового электрода в раствор сернокислого цинка молекулы воды стремятся окружить положительные ионы цинка в металле (рис. 15.1). В результате действия электростатических сил положительные ионы цинка переходят в раствор сернокислого цинка. Этому переходу способствует большой дипольный момент воды.

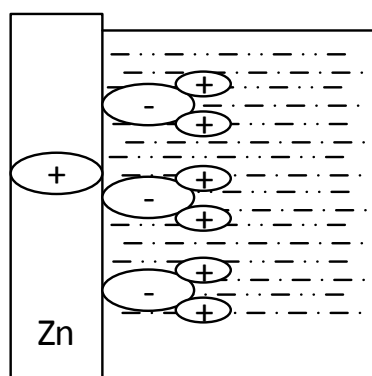


Рис. 15.1. Расположение электрических зарядов, способствующих переходу положительных ионов цинка в раствор сернокислотного цинка

Наряду с процессом растворения цинка происходит и обратный процесс возвращения в цинковый электрод положительных ионов цинка при достижении ими электрода в результате теплового движения. По мере перехода положительных ионов в раствор увеличивается отрицательный потенциал электрода, препятствующий этому переходу. При некотором потенциале металла наступает динамическое равновесие, т. е. два встречных потока ионов (от электрода в раствор и обратно) будут одинаковы. Этот равновесный потенциал называется электрохимическим потенциалом металла относительно данного электролита.

На рисунке 15.2 показана принципиальная схема водородно-кислородного топливного элемента. Электроды в топливном элементе выполнены пористыми. На аноде происходит переход положительных ионов водорода в электролит. Оставшиеся электроны создают отрицательный потенциал и во внешней цепи перемещаются к катоду. Атомы кислорода, находящиеся на катоде, присоединяют к себе электроны, образуя отрицательные ионы, которые, присоединяя из воды атомы водорода, переходят в раствор в виде ионов гидроксила OH^- . Ионы гидроксида, соединяясь с ионами водорода, образуют воду. Таким образом, при подводе водорода и кислорода происходит реакция окисления горючего ионами с одновременным образованием тока во внешней цепи. Так как напряжение на выводах элемента невелико (порядка 1 В), то элементы последовательно соединяют в батарее. КПД

топливных элементов очень высок. Теоретически он близок к единице, а практически он равен 60–80%.

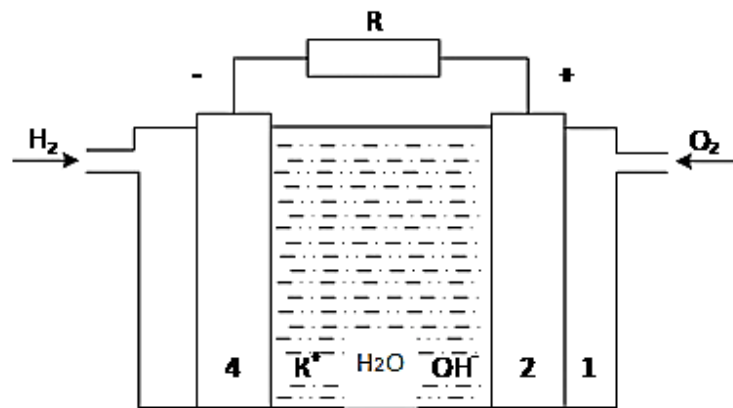


Рис. 15.2. Схема водородно-кислородного топливного элемента:
1 – корпус; 2 – катод; 3 – электролит; 4 – анод

Контрольные вопросы

1. Как работают электрохимические генераторы?
2. Вследствие чего возникает ЭДС в гальваническом элементе?
3. Что такое дипольный момент воды?
4. Что такое электрохимический потенциал металла? Как это свойство влияет на электрогенерацию?

16. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Геотермальные электростанции [11; 19; 27] в качестве источника энергии используют теплоту земных недр. Известно, что в среднем на каждые 30–40 м в глубину Земли температура возрастает на 1°C. В некоторых частях планеты температура горячих источников достаточно высокая и в непосредственной близости от поверхности. Эти районы наиболее благоприятны для сооружения геотермальных станций. Принципиальная схема работы представлена на рисунке 16.1.

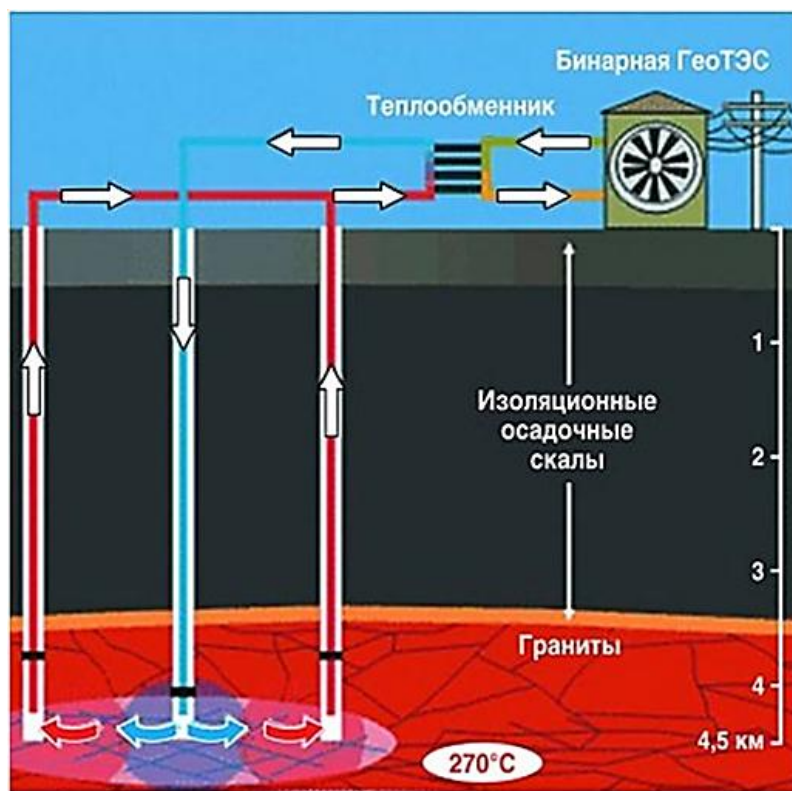


Рис. 16.1. Схема геотермальной электростанции (<https://clck.ru/XkpCW>)

В Российской Федерации для Камчатки и Курильских островов сооружение геотермальных станций может оказаться экономически оправданным. Так, на Камчатке успешно эксплуатируется опытно-промышленная геотермальная электростанция и обсуждается возможность использования действующих вулканов на Курильских островах.

Структурная схема геотермальной электростанции для невулканических районов приведена на рисунке 16.2.

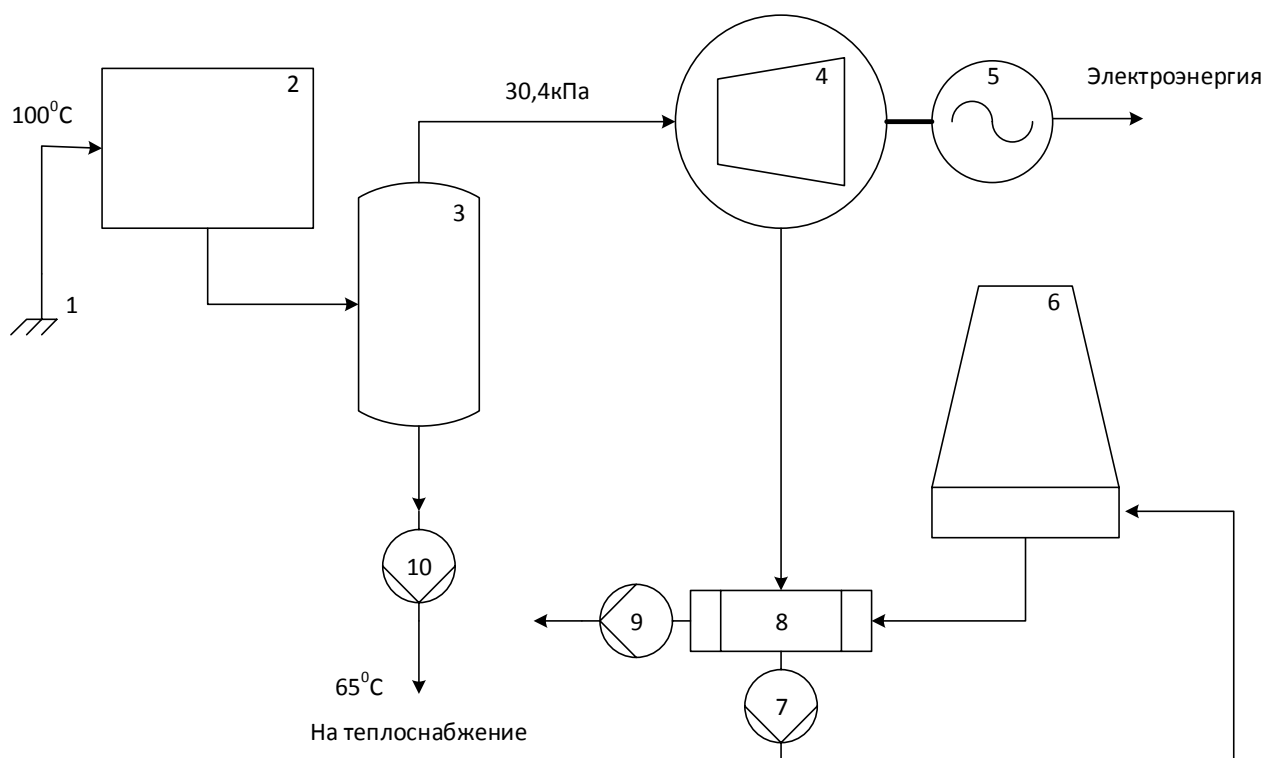


Рис. 16.2. Схема геотермальной электростанции для невулканических районов:
 1 – скважина; 2 – бак-аккумулятор; 3 – расширитель; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – градирня;
 7 – насос; 8 – смешивающий конденсатор; 9,10 – насос

Практически все геотермальные источники являются химически активными, так как содержат примеси в виде различных химических элементов. Химическая активность подземных теплоносителей, в составе которых могут быть ртуть, мышьяк, вызывает отрицательные экологические эффекты, а также усиливает коррозию конструкционных материалов энергетического оборудования. Извлечение химических элементов до отбора теплоты от теплоносителя позволяет снизить экологическое влияние, уменьшить химическую коррозию и получить ценное сырье для химической промышленности. Так, в некоторых скважинах Южно-Каспийского бассейна в 1 л воды содержится, мг: свинца – 77, цинка – 5, кадмия – 2, меди – 15.

Геоэнергетика России представлена в таблице 16.1. В России первая ГеоЭС – это Паужетская геотермальная гидроэлектростанция. Её первая рабочая скважина была пробурена в 1957 году, её глубина составляла 800 метров. Геологоразведочные работы длились 8 лет и закончились в 1962 году. А уже через 4 года, в 1966 году, был произведен запуск Паужетской ГеоЭС. На тот момент установленная мощность станции составляла 5 МВт, на ГеоЭС были введены в эксплуатацию две генераторные установки с турбинами по 2,5 МВт. Затем в результате реконструкции мощность станции выросла до 12 МВт.

За время проведения разведочных работ на территории Паужетского месторождения было пробурено порядка 70 скважин глубиной от 230 до 1200 метров. В настоящий момент эксплуатируются 9 скважин, и они обеспечивают паровым ресурсом геотермальную станцию.

Геотермальная энергетика России

Название ГеоЭС	Установленная мощность МВт	Год ввода первого блока	Год ввода последнего блока	Место расположение
Мутновская	50,0	2003	2003	Камчатка
Паужетская	12,0	1966	2006	Камчатка
Верхне-Мутновская	12,0	1999	2000	Камчатка
Океанская	2,5	2006	2006	о. Итуруп
Менделеевская	3,6	2002	2007	о. Кунашир
Сумма	80,1			

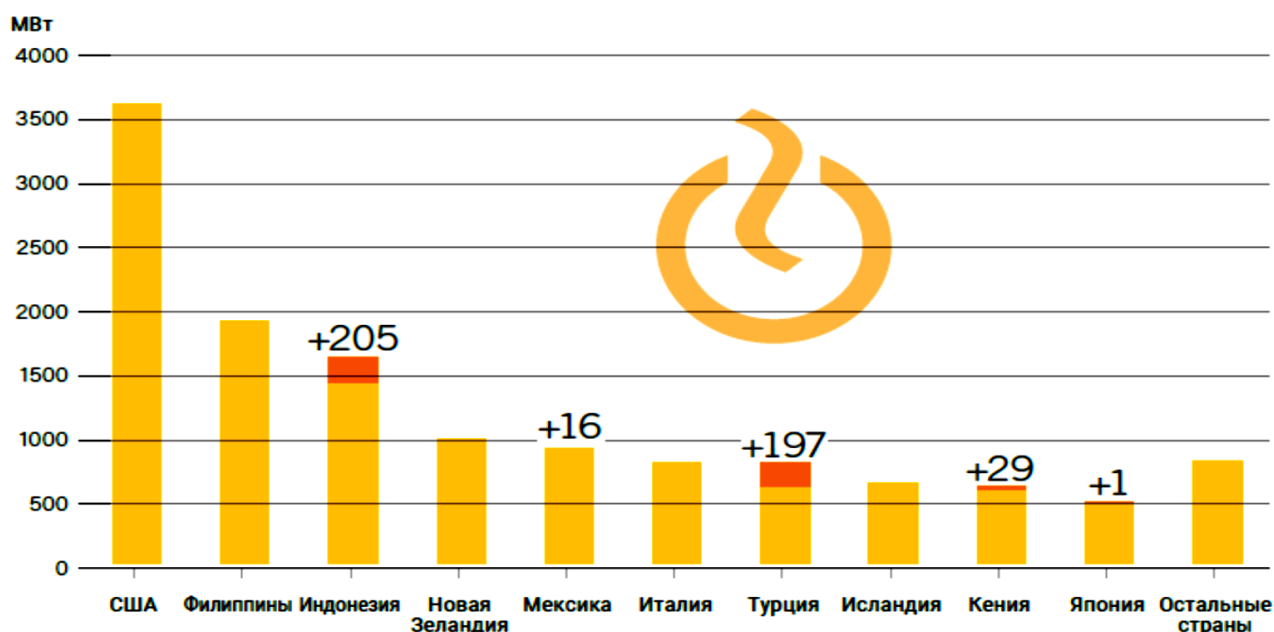


Рис. 16.3. Геотермальные электрические мощности на 2016 год

Контрольные вопросы

1. Какие районы наиболее благоприятны для строительства ГЭС?
2. Может ли быть строительство ГеоЭС экономически оправданным? В каком случае?
3. Чем отличается строительство ГеоЭС в вулканических и невулканических районах?
4. Является ли отопление при термальном источнике невыгодным с точки зрения возникновения коррозионных процессов в трубах?

17. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ

Огромные гидроэнергетические ресурсы Российской Федерации распределены неравномерно. На Дальнем Востоке и в Сибири их 66% от общих гидроресурсов [9]. Это выдвигает особые проблемы.

Энергия воды используется на гидроэнергетических установках (ГЭУ). Существуют следующие виды ГЭУ:

- гидравлические электрические 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 водоёмов, озёр.

Принципиальным преимуществом ГЭУ по сравнению с другими электрическими станциями является то, что они используют возобновляемые энергетические ресурсы.

Отдельно стоит рассмотреть вопросы гидроэнергетики и водного хозяйства.

Реки России относятся к бассейнам Северно-Ледовитого, Тихого, Атлантического океанов и бассейну внутреннего стока (бессточная Арало-Каспийская область). Главные особенности рек связаны с их режимом и питанием, которые в свою очередь зависят от климата территории, по которой протекает река. Характер течения, уклон и падение рек зависят от рельефа местности.

Реки бассейна Северного Ледовитого океана (самые длинные и полноводные): Лена, Енисей, Обь. Питание этих рек смешанное, преимущественно снеговое. Половодье весеннее. Покрываются льдом.

Большинство в верхнем течении – типичные горные реки, а в среднем и нижнем – равнинные.

Реки бассейна Тихого океана: основная – Амур, с притоками – Зея, Буряя, Уссури. Питание преимущественно дождевое, характерны летние паводки, бывают катастрофические разливы.

Реки бассейна Атлантического впадающие в Чёрное, Азовское и Балтийское моря: Нева, Западная Двина, Днепр, Дон, Кубань. Питание преимущественно снеговое. Характерно небольшое весеннее половодье.

Реки бассейна внутреннего стока – это Волга со своими притоками, Урал, Эмба, Терек. Питание преимущественно снеговое. Практически все реки европейской части нашей страны системой каналов соединены в единую речную сеть.

Озёра размещены по территории неравномерно. Особенно богат озёрами северо-запад нашей страны. Здесь распространены озёра ледникового происхождения – Ладожское, Онежское, Селигер, Валдайское. На Камчатке и Курильских островах много озёр вулканического происхождения. Но самое большое по площади – Каспийское море-озеро

остаточного происхождения. Самое глубокое озеро не только нашей страны, но мира – Байкал – расположено в тектоническом разломе.

Водное хозяйство (рис. 17.1) представляет собой производственную и природоохранную систему, включающую совокупность источников водных ресурсов, водохозяйственных объектов для управления ими и водопользователей, объединенных по административно-отраслевому или технологическому принципу, использующих водные ресурсы в интересах экономики и охраны окружающей среды.



Рис. 17.1. Схема ГЭС Ангарского каскада (<https://clck.ru/XkpFX>)

Современный этап функционирования водного хозяйства характеризуется образованием и развитием водохозяйственных систем (ВХС), которые охватывают большие территории и имеют сложные связи с отраслями народного хозяйства. Водохозяйственная система представляет собой гидравлически взаимосвязанную совокупность источников водных ресурсов, сооружений для управления ими и водопользователей, связанных общим источником воды и использующих водные ресурсы в интересах различных отраслей и охраны окружающей среды. Соответственно, под компонентами водохозяйственных систем понимаются единичные или объединенные по технологическим и административно-хозяйственным принципам группы водопользователей с определёнными требованиями к используемому водным ресурсам.

В России создан и функционирует мощный водохозяйственный комплекс, обеспечивающий потребности в воде населения, промышленности, сельского хозяйства, очистку сточных вод, выработку электроэнергии, судоходство, рыбный промысел, ограничение вредного воздействия воды.

Контрольные вопросы

1. Какие виды ГЭУ вы знаете?
2. Чем ВХС отличается от ВХК?

18. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Промышленное получение электрической энергии, базирующееся на электромашинном способе, – это получение электрической энергии за счёт электромагнитной индукции. Все другие способы получения электрической энергии, имеющие другую природу по сравнению с электромагнитной индукцией, а также новые способы применения первичных энергоресурсов с использованием закона электромагнитной индукции относятся к нетрадиционным источникам получения электрической энергии.

Распределение источников электрической энергии в мировой практике показано на рисунке 18.1.



Рис. 18.1. Распределение мировых источников электрической энергии (<https://clck.ru/XkpJJ>)

Сегодня в мировой энергетике остро стоят две проблемы – исчерпание запасов углеводородов и глобальное изменение климата

Мировая энергетика обладает очень высокой степенью инерционности. Основные фонды служат 30–40, а иногда и 60 лет. Поскольку отрасль очень капиталоемкая, то быстро изменить её технологическую базу невозможно, какими бы ни были принятые политические решения (по проблеме изменения климата или в др.). Как следствие, структура мирового топливно-энергетического баланса меняется достаточно медленно. Но в 1980–2009 гг. произошел некоторый сдвиг (уход от угля и нефти в пользу природного газа и атомной энергии).

Запасов углеводородов должно хватить по меньшей мере до 2040 г. Проблема стоит в исчерпании запасов дешёвых углеводородов и необходимости разработки месторождений со сложными условиями добычи нетрадиционных видов углеводородов. При этом издержки при добыче будут расти, а цены будут высокими.

Повышение энергоэффективности. Этот процесс идёт сейчас очень быстро, поскольку в 2000-е гг. при росте мировой экономики на 4,5–5,0% мировой спрос на энергоносители увеличился на 2,0–2,5%. В развивающихся странах – на 6,0% и 4,5% соответственно. Развитые страны уже находятся в постиндустриальной стадии развития, в которой эластичность

прироста спроса на ТЭР по приросту ВВП составляет 0,0-0,3%. Развивающиеся страны ещё находятся в стадии индустриализации, в которой эластичность составляет 0,5–0,8. По мере завершения индустриализации в развивающихся странах будет возрастать роль структурного энергосбережения за счёт роста менее энергоёмкой сферы услуг и менее энергоёмких отраслей промышленности. Очень важна скорость распространения технологического энергосбережения. Но для этого нужен механизм технологического трансфера, а его нет [8].

Развитие нетопливных источников энергии. Наибольшим потенциалом среди них обладает атомная энергетика. Несмотря на психологические последствия Чернобыльской аварии, все реалистичные с экономической точки зрения сценарии снижения выбросов CO₂ требуют многократного роста атомной энергетика. «Атомный ренессанс» сдерживается отставанием мощностей по строительству и производству оборудования, сильно сократившихся в 1990-е гг. Для атомной энергетика ключевой вопрос – создание реакторов на быстрых нейтронах, это резко повысит её эффективность. Разработки ведутся в России (мы пока лидируем), в США, в Индии, но везде есть серьезные проблемы.

В силу сохраняющейся, хотя и ослабшей «атомной фобии» «зеленые» обычно упирают на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а не атомной энергетика. ВИЭ действительно показывали в 2000-е гг. очень высокие темпы роста. Очевидно, что определенную нишу в мировой энергетике они займут (в первую очередь ветровая энергетика).

Есть ряд проблем, которые будут сдерживать распространение ВИЭ: 1) высокие капитальные вложения и стоимость эксплуатации (в 2–3 раза превышающие стоимость ТЭС – АЭС), 2) низкая плотность энергии, 3) резкие колебания выработки энергии, не совпадающие с колебаниями нагрузки. Это требует значительного резервирования мощностей для компенсации перепадов.

В западных странах постепенно формируется новый тип энергетика – постиндустриальный, построенный на сочетании энергосбережения и ВИЭ. В больших городах такую систему построить не удастся. Но отдельные анклавы постиндустриальной экономики таким образом могут быть обеспечены энергией (такие примеры есть уже сейчас).

К нетрадиционным способам получения электрической энергии относятся:

- Ветроэнергетика.

В последнее время многие страны расширяют использование ветроэнергетических установок (ВЭУ). Больше всего их используют в странах Западной Европы (Дания, ФРГ, Великобритания, Нидерланды), в США, в Индии, Китае. Дания получает 25 % энергии из ветра. К ветрогенераторам относятся автономные ветрогенераторы, а также ветрогенераторы, работающие параллельно с сетью.

• Биотопливо. Его используют взамен традиционным видам топлива. К видам биотоплива относятся:

Жидкое: биодизель, биоэтанол.

Твёрдое: древесные отходы и биомасса (щепа, гранулы (топливные пеллеты) из древесины, лузги, соломы и т. п., топливные брикеты)

Газообразное: биогаз, синтез-газ.

- Гелиоэнергетика.

Солнечные электростанции (СЭС) работают более чем в 80 странах. Солнечный коллектор, в том числе солнечный водонагреватель, используется как для нагрева воды для отопления, так и для производства электроэнергии. Кроме того, используются также фотоэлектрические элементы.

- Альтернативная гидроэнергетика.

Волновые электростанции. Примером может служить российский волновой генератор «Ocean 160».

Приливные электростанции (ПЭС) пока имеются лишь в нескольких странах – Франции, Великобритании, Канаде, России, Индии, Китае.

Мини и микро ГЭС (устанавливаются в основном на малых реках).

Аэро ГЭС (конденсация влаги из атмосферы, в том числе из облаков), пока созданы только опытные образцы.

- Геотермальная энергетика.

Используется как для нагрева воды для отопления, так и для производства электроэнергии. На геотермальных электростанциях вырабатывают немалую часть электроэнергии в странах Центральной Америки, на Филиппинах, в Исландии; Исландия также является примером страны, где термальные воды широко используются для обогрева, отопления.

Тепловые электростанции (принцип отбора высокотемпературных грунтовых вод и использования их в цикле).

Грунтовые теплообменники (принцип отбора тепла от грунта посредством теплообмена).

- Грозовая энергетика.

Грозовая энергетика – это способ использования энергии путём поимки и перенаправления энергии молний в электросеть. Компания Alternative Energy Holdings 11 октября 2006 года объявила о создании прототипа модели, которая может использовать энергию молнии. Предполагалось, что эта энергия окажется значительно дешевле энергии, полученной с помощью современных источников, окупаться такая установка будет за 4–7 лет.

- Управляемый термоядерный синтез.

Синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии, который носит управляемый характер. До сих пор не применяется.

Контрольные вопросы

1. Каковы на данный момент тренды развития мировой энергетики?
2. Каковы на данный момент тренды развития энергетики в РФ?
3. Почему повсеместно не вводят мощности на ВИЭ?
4. Существует ли позитивный опыт реализации проектов по грозовой энергетике?

19. ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

От Солнца на Землю направляется мощный поток излучения, ёмкость внутренней энергии которого может составлять $1,05 \cdot 10^{10}$ кВт·ч в год. Непосредственно до поверхности доходит примерно одна пятая его часть, но и эта энергия в 30 тыс. раз превышает всё мировое производство. Однако у данного источника энергии имеются недостатки: малая плотность солнечного потока, не превышающего у земной поверхности 1 кВт на метр, и нерегулируемый приход его к земной поверхности, зависящий от времени года, суток и погоды [20].

Существуют следующие способы использования солнечной энергии:

- преобразование солнечного излучения в тепловую энергию с использованием её для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования воздуха, сушки материалов и продуктов сельского хозяйства, опреснения минерализованной воды и т. п.;
- преобразование солнечной энергии в электрическую с применением термического метода.

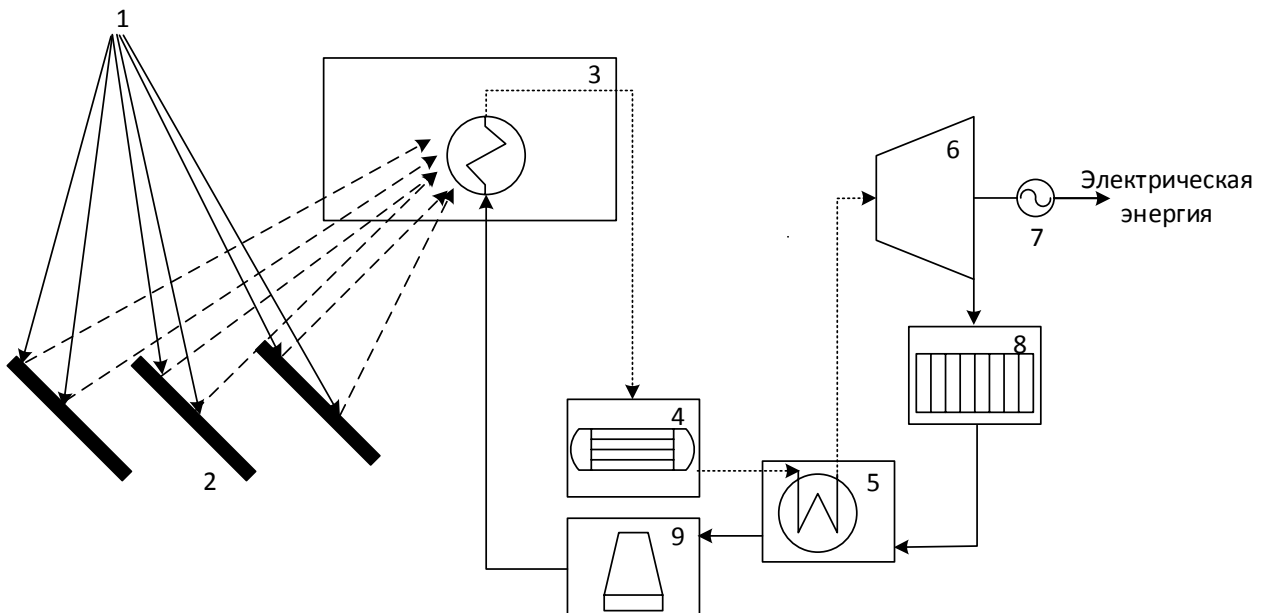


Рис. 19.1. Структурная схема солнечной электростанции

Принцип работы наземных солнечных электростанций (рис 19.1), основанных на термодинамическом методе, заключается в постоянном слежении за движением Солнца тысяч гелиостатов – плоских зеркал 2, отражающих падающие на них лучи на приемник 3, находящийся в фокусе этих лучей. Образовавшийся от нагрева пар поступает в накопитель 4, из которого вводится в парогенератор 5. В парогенераторе из первичного пара образуется пар с необходимыми параметрами для паровой турбины 6. От вращающегося генератора 7, находящегося на одном валу с паровой турбиной, электрическая энергия передаётся в энергосистему. Отработанный пар в турбине поступает в конденсатор 8, откуда в виде конденсата перекачивается в парогенератор, а затем через охлаждающую систему 9 вновь поступает в паровой приёмник.

Солнечный коллектор – устройство, которое служит для нагрева воды потоком солнечной энергии и является основным компонентом любой солнечной системы теплоснабжения. Солнечный тепловой коллектор включает в свой состав прозрачную панель, теплопоглощающую панель, набор стеклянных трубок для жидкостного теплоносителя, теплоизоляционный слой. Плоский коллектор состоит из элемента, поглощающего солнечное излучение, прозрачного покрытия и термоизолирующего слоя. Поглощающий элемент называется абсорбером; он связан с теплопроводящей системой. Прозрачный элемент (стекло) обычно выполняется из закалённого стекла с пониженным содержанием металлов.

Вакуумный коллектор имеет устройство, схожее с бытовыми термосами. Только внешняя часть трубки прозрачна, а на внутренней трубке нанесено высокоселективное покрытие, улавливающее солнечную энергию. Между внешней и внутренней стеклянной трубкой находится вакуум. Именно вакуумная прослойка даёт возможность сохранить около 95% улавливаемой тепловой энергии. В вакуумных солнечных коллекторах используются тепловые трубки, выполняющие роль проводника тепла. При облучении установки солнечным светом жидкость, находящаяся в нижней части трубки, нагреваясь, превращается в пар. Пар поднимается в верхнюю часть трубки (конденсатор), где конденсируясь, передаёт тепло коллектору. Использование данной схемы позволяет достичь большего КПД (по сравнению с плоскими коллекторами) при работе в условиях низких температур и слабой освещённости. Обычно солнечные коллекторы устанавливаются неподвижно, а угол наклона выбирается в зависимости от основного назначения устройства. При установке коллектор стараются ориентировать в сторону юга, но обязательно с учётом рельефа местности. В северных районах возможен вариант установки под углом, близким к вертикали, тогда приёмник будет больше использовать лучи, отражённые от поверхности снежного наста.

Развитию фотоэлектрического способа получения электроэнергии способствовали достижения последних лет в полупроводниковой технике и технологии работы с кварцем. Фотоэлектрический метод преобразования (рис. 19.2) стал одним из приоритетных направлений использования солнечной энергии. В этой связи следует коротко остановиться на физических процессах, происходящих в полупроводниковом фотоэлектроде.



Рис. 19.2. Наглядное изображение фотоэлектрического метода (<https://clck.ru/XkpYQ>)

Структура фотодиода такова, что его р-п переход одной стороной обращён к прозрачному окну, через которое поступает световой поток, а с других сторон он защищён от воздействия света. Фотодиод может работать в двух режимах:

- фотогенераторном;
- фотопреобразовательном.

В фотогенераторном режиме используется фотогальванический эффект, у которого при освещении поверхности фотоэлемента вблизи р-п перехода поглощённые фотоны возбуждают атомы полупроводника и генерируют пары электрон-дырка. Образующиеся электроны под действием электрического поля р-п перехода уходят в слой n, дырки – в слой р. Это приводит к избытку дырок в слое р и электронов – в слое n. В результате обе области заряжаются: n-область становится отрицательной, а р-область – положительной. Что ведёт к появлению на контактах р и n-областей ЭДС, которая может составить десятые доли вольта. Если замкнуть зажимы освещённого фотодиода через резистор R_n (рис. 19.3), то в электрической цепи потечёт ток.

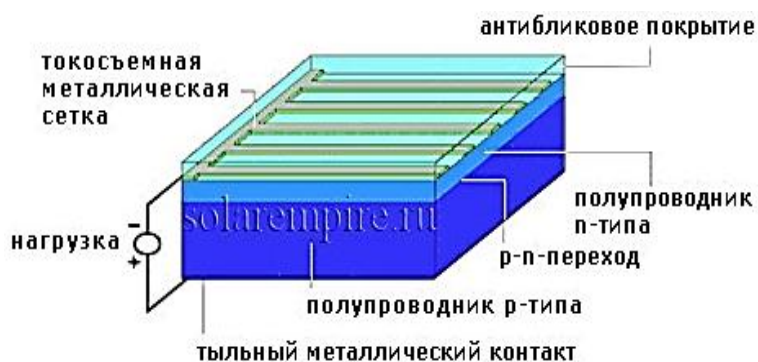


Рис. 19.3. Конструкция солнечной панели (фотогенераторный режим) (<https://clck.ru/XkpZ5>)

Последовательное подключение солнечных панелей позволяет добиться определённого уровня напряжения. Параллельное подключение увеличивает силу возникающего тока. Объединяя последовательно и параллельно соединённые элементы, можно добиться необходимых электрических параметров всего фотоэлектрического модуля.

В качестве основного сырья для производства кремниевых панелей используют кварцевый песок, который обладает высоким содержанием двуоксида кремния. В результате обработки сырья получают очищенный технический кремний (степень очистки 99,99%).

Различают три основных вида солнечного кремния – монокристаллический, поликристаллический и аморфный. Фотоэлектрические системы электроснабжения, питающиеся от солнечных электростанций, имеют структуру, показанную на рисунке 19.4. Элементы данных систем:

- Кремниевые фотопластины (вырабатывают электрический ток, преобразовывая в него энергию фотонов солнечного излучения);
- Контроллер (предназначен для заряда аккумуляторных батарей от солнечных модулей);
- Аккумуляторные батареи (служат для накопления заряда);

- Инвертор (преобразует постоянный ток, полученный в результате фотоэффекта, в переменный).

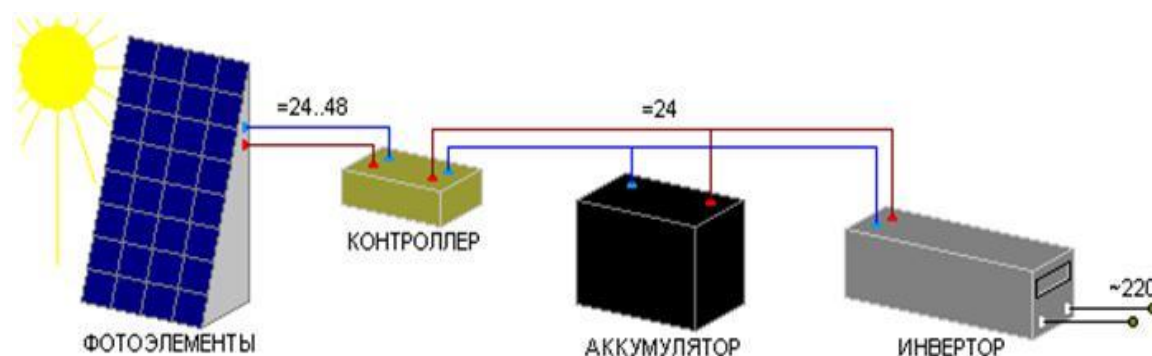


Рис. 19.4. Система электроснабжения от фотоэлементов (<https://clck.ru/Xkpar>)

Мощность потока солнечного излучения по регионам России представлена в таблице 19.1, а глобальная мощность солнечной энергетики и её прирост в мире представлены на рисунке 19.5, глобальная мощность солнечной энергетики по странам и регионам представлена на рисунке 19.6. Мощность солнечной энергетики и вводы мощностей ведущих стран представлены на рисунке 19.7. СЭС в России, введённые в 2018 г. представлены в таблице 19.1. Глобальная мощность концентрированной солнечной энергетики по странам и регионам представлена на рисунке 19.8. Крупнейшие фотоэлектрические станции в мире представлены в таблице 19.2.

Таблица 19.1

Мощность потока солнечного излучения по регионам России

Город	Месячный минимум, декабрь	Месячный максимум, июнь или июль	Суммарно за год
Архангельск	1.1 кВт·ч / м ²	159.7 кВт·ч / м ²	850 кВт·ч / м ²
Астрахань	26.6 кВт·ч / м ²	209.9 кВт·ч / м ²	1371 кВт·ч / м ²
Владивосток	57.8 кВт·ч / м ²	143.9 кВт·ч / м ²	1289.5 кВт·ч / м ²
Екатеринбург	12.8 кВт·ч / м ²	170.8 кВт·ч / м ²	1045 кВт·ч / м ²
Москва	11.7 кВт·ч / м ²	166.7 кВт·ч / м ²	1020.7 кВт·ч / м ²
Новосибирск	15.6 кВт·ч / м ²	177.2 кВт·ч / м ²	1110 кВт·ч / м ²
Омск	15.6 кВт·ч / м ²	177.8 кВт·ч / м ²	1113 кВт·ч / м ²
Петрозаводск	2.4 кВт·ч / м ²	167.1 кВт·ч / м ²	860.0 кВт·ч / м ²
Петропавловск-Камчатский	23.3 кВт·ч / м ²	155.8 кВт·ч / м ²	1098.4 кВт·ч / м ²
Ростов-на-Дону	22.2 кВт·ч / м ²	188.3 кВт·ч / м ²	1278 кВт·ч / м ²
Санкт-Петербург	2.2 кВт·ч / м ²	160.6 кВт·ч / м ²	840 кВт·ч / м ²
Сочи	34.7 кВт·ч / м ²	206.8 кВт·ч / м ²	1365.1 кВт·ч / м ²
Южно-Сахалинск	41.7 кВт·ч / м ²	162.8 кВт·ч / м ²	1267.5 кВт·ч / м ²

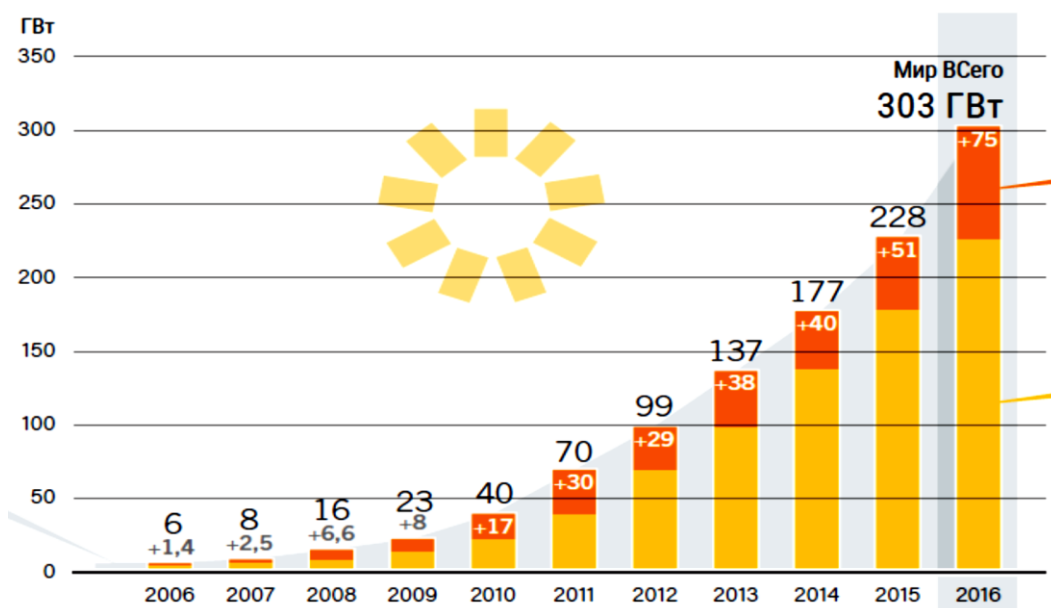


Рис. 19.5. Глобальная мощность солнечной энергетики (<https://clck.ru/XkpfT>)

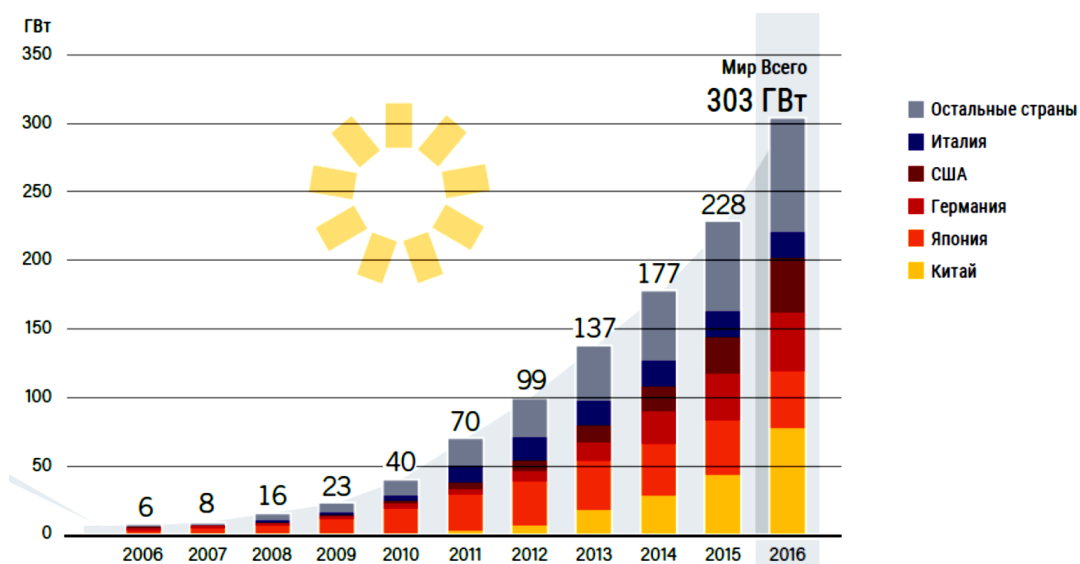


Рис. 19.6. Глобальная мощность солнечной энергетики, по странам и регионам (<https://clck.ru/XkpiC>)

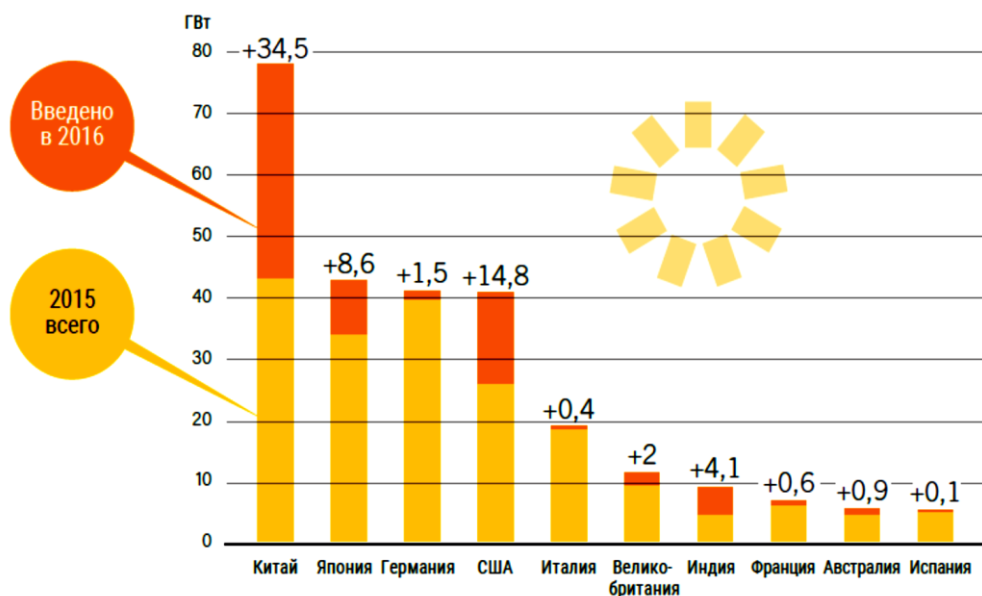


Рис. 19.7. Мощность солнечной энергетики и вводы мощностей ведущих стран

Таблица 19.2

Крупнейшие фотоэлектрические станции в мире

Наименование СЭС	Установленная мощность, МВт
Самарская СЭС-2	50,0
Орлов-Гайская СЭС	10,0
Новоузенская СЭС	15,0
Оренбургская СЭС (Оренбургская СЭС-1)	45,0
Сорочинская СЭС (Оренбургская СЭС-3)	60,0
СЭС Нива	15,0
СЭС Промстройматериалы	15,0
СЭС Володаровка	15,0
СЭС Енотаевка	15,0
Фунтовская СЭС	60,00
ИТОГО	300

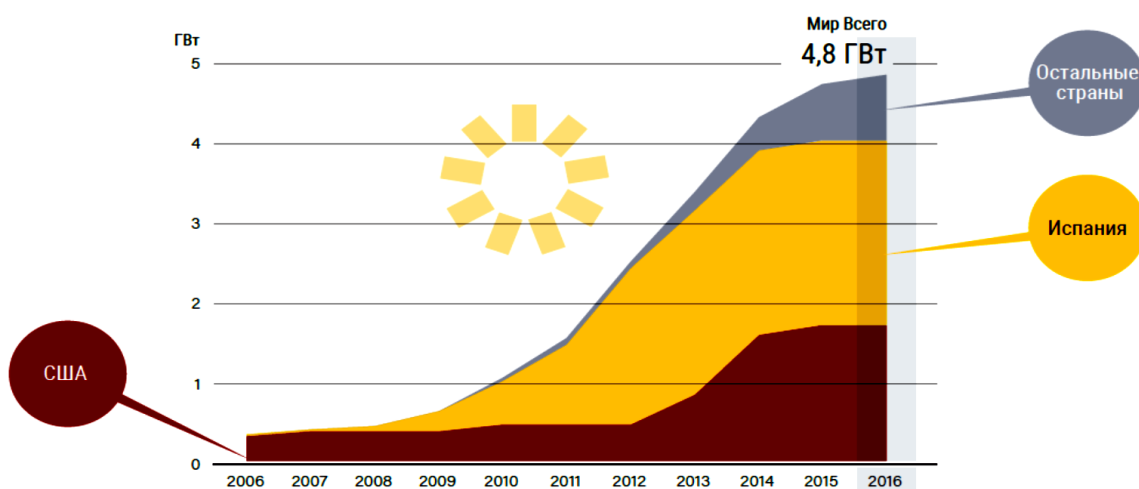


Рис. 19.8. Глобальная мощность концентрированной солнечной энергетики по странам и регионам

	$P_{уст}$, МВт	Страна	Год
1	320	China , Longyangxia Dam, Qinghai Province	2013
2	250	USA , san Luis Obispo, CA	2012–2013
3	250	USA , Yuma County, AZ	2012
4	214	India , Charanka	2012
5	200	China , Gonghe County, Qinghai Province	2013
6	200	China , Golmud	2011
7	170	USA , El Centro, Imperial Valley, CA	2014
8	166	Germany , Meuro	2011–2012
9	150	USA , Sonoran desert, AZ	2011–2012
10	145	Germany , Neuhardenberg	2012
11	143.2	USA , Kern County, CA	2013
12	139	USA , El Centro, Imperial Valley, CA	2013
13	128	Germany , Templin	2012
14	125	USA , Maricopa County, AZ	2013
15	115	France , Toul-Rosières	2012
16	105.56	Ukraine , Perovo	2011

Контрольные вопросы

1. В чём недостаток применения гелиоэнергетики?
2. Можно ли использовать солнечную энергию для выработки электроэнергии? Какие приборы для этого нужны?
3. Каков принцип работы наземных солнечных электростанций?
4. Для чего создается вакуум в солнечных установках?
5. Чем фотогенераторный режим отличается от фотогальванического?

20. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Ветер – это движение воздуха относительно поверхности Земли [3], оно напрямую зависит от солнечной энергии, которая нагревает земную поверхность неравномерно (степень черноты различна). Рост температур порождает разность давлений в разных областях неравномерного нагрева. Потoki воздушных масс устремляются из областей низкого давления в области высокого давления, и возникает ветер.

Приведем принятую градацию скорости ветра.

Ветер, имеющий скорость 5–8 м/с, считается умеренным, больше 14 м/с – сильным; от 20 до 25 м/с – штормом; свыше 30 м/с – ураганом. Наблюдались порывы ветра порядка 100 м/с.

При конструировании ветроэнергетических установок (ВЭУ) (рис. 20.1–20.3) необходимо обязательно учитывать возможную мощность потока ветра в данном районе, в противном случае установки могут быть повреждены внезапным штормом или ураганом.



Рис. 20.1. ВЭУ с горизонтальной осью вращения рабочего колеса (<https://clck.ru/Xkq6D>)



Рис. 20.2. ВЭУ с вертикальной осью вращения рабочего колеса (<https://clck.ru/Xkq6d>; <https://clck.ru/Xkq7G>)

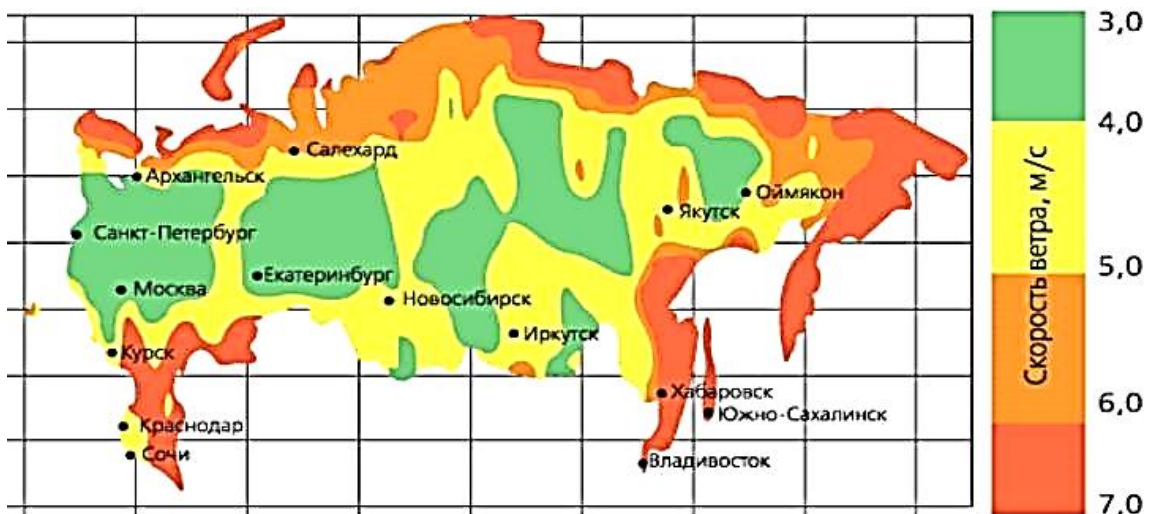


Рис. 20.3. Карта среднегодовой скорости ветра в РФ (<https://clck.ru/XkqCV>)

На рисунке 20.4 показан принцип работы ВЭУ с горизонтальной осью вращения рабочего колеса. Обратим внимание, что в данном случае электрический генератор расположен непосредственно в гондоле, а органы управления силовой электрической частью расположены возле основания. По своему конструктивному исполнению, в зависимости от среднегодовой скорости ветра, различают ветроэнергетические установки с горизонтальной (рис. 20.1, 20.4) или вертикальной (рис. 20.2) осью вращения.

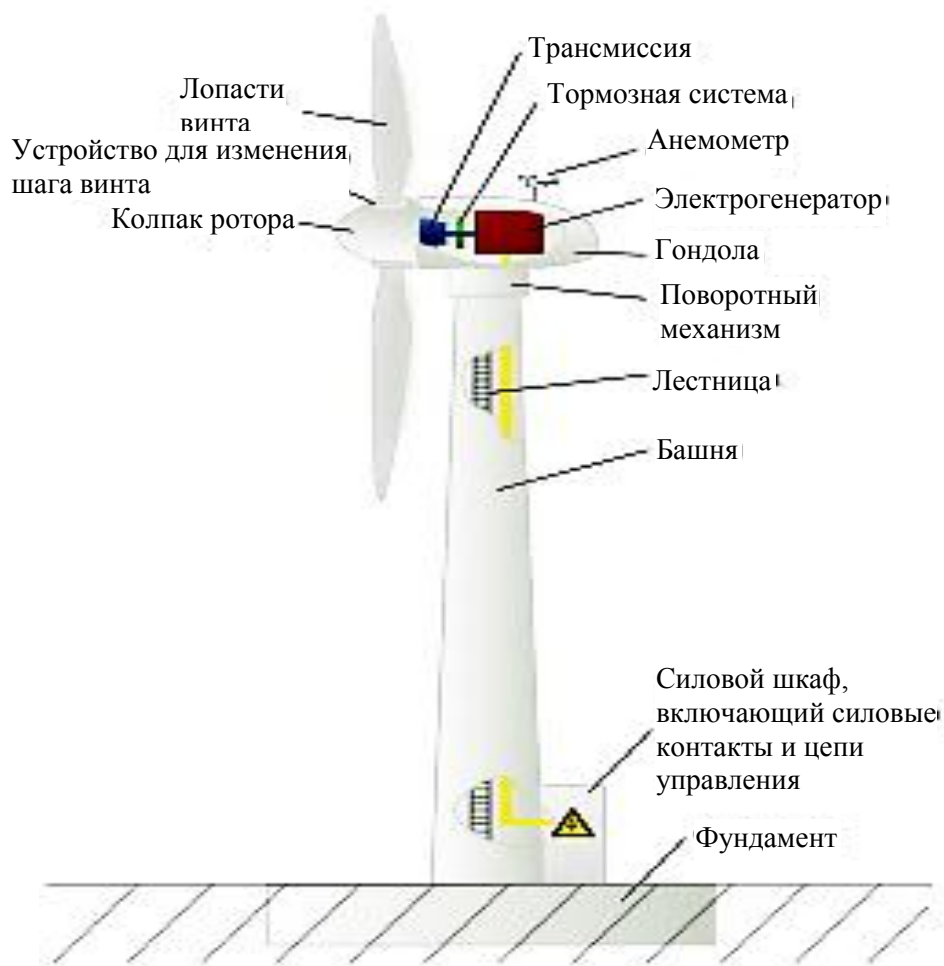


Рис. 20.4. Принцип работы ВЭУ (<https://clck.ru/XkqEj>)

Использование энергии ветра сопряжено с трудностями из-за его неравномерности как по силе, так и по направлению во времени. Это можно сбалансировать либо применением электрического аккумулятора, либо использованием энергии ветра для процессов, не требующих постоянной работы механизмов, либо передачей электрической энергии непосредственно в мощную электрическую систему, для которой небольшие колебания количества поступающей электроэнергии малочувствительны.

Действующие ветровые электростанции (ВЭУ) России [7] представлены в таблице 20.1. Изолированные энергосистемы с ВЭУ представлены в таблице 20.2.

Действующие ветровые электростанции (ВЭУ)

№	Название	Установленная мощность, МВт	Регион
1	Ульяновская ВЭС-2 (2018)	50	Ульяновская область
2	Ульяновская ВЭС	35	Ульяновская область
3	Останинская ВЭС	25 (10х2,5 МВт)	Крым
4	Тарханкутская ВЭС	22,45	Крым
5	Сакская ВЭС	20,82	Крым
6	Пресноводненская ВЭС	7,39	Крым
7	Донузлавская ВЭС	6,78	Крым
8	Ушаковская ВЭС (2018)	5,1	Калининградская обл.
9	Судакская ВЭС	3,76	Крым
10	Восточно-Крымская ВЭС	2,81 (15х107,5 кВт, 2х600 кВт)	Крым
11	ВЭС с. Тамар-Уткуль	2,725	Оренбургская область
12	ВЭС Тюпкильды	2,2	Республика Башкортостан
13	ВЭС г. Орск	0,4	Оренбургская область
14	ВЭС ООО «АльтЭнерго»	0,1	Белгородская область

Таблица 20.2

Изолированные энергосистемы с ВЭУ

№	Название	Установленная мощность, МВт	Регион
1	ВЭС п. Октябрьский	3,3	Камчатский край
2	Анадырская (Чукотская) ВЭС	2,5	Чукотский АО
3	ВДК с. Никольское	0,55	Камчатский край
4	ВЭС п. Усть-Камчатск	0,275 (1,175)	Камчатский край
5	ВДК п. Тикси	0,9	Якутия
6	ВЭС Новиково	0,45	Сахалинская область
7	ВЭУ в г. Лабытнанги	0,25	Ямало-Ненецкий АО

Контрольные вопросы

1. Зависит ли сила ветра от солнечной энергии?
2. В период штормового ветра мощность ветроустановки будет максимальной?
3. Согласно карте (рис. 20.3), где наиболее выгодно разместить автономный источник электрической энергии на основе ветра?
4. Что такое изолированные энергосистемы с ВЭУ?
5. Самая мощная ВЭУ РФ –

21. ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Глобальное изменение климата [24] (в частности, повышение приземной температуры воздуха) действительно существует, его наиболее вероятная причина – рост выбросов CO₂ и других парниковых газов, 60% которых приходится на энергетику. Точный прогноз изменения климата и его последствий на сегодня отсутствует. Несмотря на это, развёрнута интенсивная пропагандистская компания, определяющая снижение выбросов CO₂ главным параметром развития энергетики, игнорируя социальные и экономические требования в развивающихся странах.

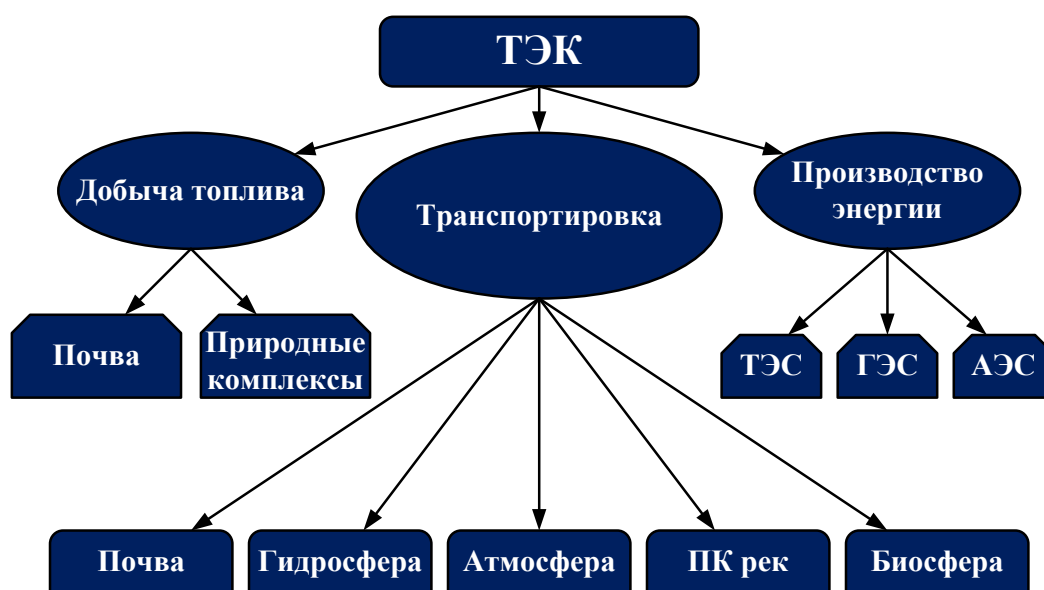


Рис. 21.1. Влияние топливно-энергетического комплекса на окружающую среду (<https://clck.ru/XkqMp>)

Предлагаемые меры для радикального снижения выбросов CO₂ очень дороги и не будут реализованы. Но значительного ограничения роста выбросов можно добиться со сравнительно небольшими затратами. В некоторых случаях меры по снижению выбросов могут даже приносить прибыль, например, меры по повышению энергоэффективности. Как следствие, ограничение выбросов станет одним из приоритетов энергетической политики (но не единственным и даже не главным) в США, Европе, Китае. Вероятно, глобальный углеродный рынок будет временно заменён региональными рынками.

Для сокращения выбросов CO₂ в энергетике есть три пути:

- повышение энергоэффективности,
- развитие нетопливных источников энергии,
- решение «транспортной проблемы» – замена двигателей внутреннего сгорания на экологически чистые технологии.

Для ГЭС наибольшей проблемой является строительство и эксплуатация водохранилища, а вопрос целесообразности строительства каждой конкретной ГЭС должен рассматриваться самостоятельно. К важнейшим характеристикам водохранилища относятся

размер зеркала водохранилищ, наличие в водохранилищах мелководий, влияние водохранилищ на местный климат, состояние почв и растительности, а также на рыбное хозяйство и водный (речной) транспорт. Большим бедствием являются водохранилища, большую часть которых составляют мелководья. Возникают они в тех случаях, когда плотины ГЭС сооружаются в равнинной местности, например, волжские ГЭС. Вода мелководий интенсивно прогревается солнцем, что создаёт благоприятные условия для развития сине-зелёных водорослей. Они в большинстве случаев не используются и, разрастаясь, гниют, заражают воду и атмосферу. Важен также учёт интересов речного судоходства. В принципе сооружение ГЭС оказывает двойное воздействие на судоходство: повышение глубины реки в верхнем бьефе, что для судоходства выгодно, и необходимость (при сквозном движении судов) сооружения шлюзов, что влечёт за собой дополнительные капиталовложения.

На вопросы функционирования рыбного хозяйства также влияет множество факторов. Это касается так называемых проходных рыб, совершающих в период нереста миграцию из морей в реки, например, из Каспийского моря в Волгу, при этом воздвижение плотин на пути их миграции может привести к ликвидации очень ценных проходных рыб.

Контрольные вопросы

1. Как можно снизить количество выбросов CO₂?
2. Можно ли считать, что наличие ГЭС на территории никак не повредит окружающей среде?

22. ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, ЖИВОТНЫЙ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР

Вредное воздействие на человека, животный и растительный мир оказывают следующие факторы:

- валовые выбросы вредных веществ;
- концентрация вредных веществ, выраженная в долях ПДК;
- класс опасности вредных веществ;
- количество выбрасываемых ингредиентов;
- время действия вредных веществ.

Валовые выбросы вредных веществ на примере крупного российского города составляют более 600 тыс. тонн в год, из них приходится на:

- 1) предприятия энергетики – 200 тыс. тонн (33%),
- 2) автотранспорт – 160 тыс. тонн (27%);
- 3) предприятия нефтехимического комплекса – 140 тыс. тонн (24%);
- 4) ведомственные котельные и прочие источники – 100 тыс. тонн (16%).

Предельно допустимой концентрацией вредного вещества (ПДК) называется такое содержание его в воздухе, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не может вызвать у человека каких-либо патологических изменений или заболеваний. ПДК в воздухе установлена для максимального разового и среднесуточного значений. Для воздуха производственных помещений установлена норма только максимально разовой концентрации. ПДК определяется в миллиграмм на метр, и для максимально разовых значений она установлена выше, чем для среднесуточных.

По степени воздействия на организм человека все вредные вещества разделяются на четыре класса опасности:

- чрезвычайно опасные (1 класс опасности);
- высокоопасные (2 класс опасности);
- умеренно опасные (3 класс опасности);
- малоопасные (4 класс опасности).

К первому классу принадлежат вредные вещества, которые вызывают острые заболевания и гибель людей и животных. К четвертому классу относятся вредные вещества, которые невозможно обнаружить по прямому или косвенному воздействию на человека, животных или растительный мир.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы, производимые электростанциями, пагубно влияют на окружающий мир?
2. Сколько классов опасности веществ существует? Какие из них наиболее опасные?

23. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Экологическая безопасность – это состояние защищенности биосферы и человеческого общества, а на государственном уровне – государства – от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на ОС.

В понятие экологической безопасности входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций. Экологическая безопасность реализуется на глобальном, региональном и локальном уровнях.

Глобальный уровень управления экологической безопасностью предполагает прогнозирование и отслеживание процессов в состоянии биосферы в целом и составляющих её сфер. В первой половине XXI в. эти процессы выражаются в глобальных изменениях климата, возникновении «парникового эффекта», разрушении озонового экрана, опустынивании планеты и загрязнении Мирового океана. Суть глобального контроля и управления – в сохранении и восстановлении естественного механизма воспроизводства ОС биосферой, который направляется совокупностью входящих в состав биосферы живых организмов.

Управление глобальной экологической безопасностью – прерогатива межгосударственных отношений на уровне ООН, ЮНЕСКО, ЮНЕП и других международных организаций. Методы управления на этом уровне включают принятие международных актов по защите ОС в масштабах биосферы, реализацию межгосударственных экологических программ, создание межправительственных сил по ликвидации экологических катастроф, имеющих природный или антропогенный характер. На глобальном уровне решаются экологические проблемы международного масштаба.

Региональный уровень включает крупные географические или экономические зоны, а иногда территории нескольких государств. Контроль и управление осуществляются на уровне правительства государства и на уровне межгосударственных связей (объединённая Европа, СНГ, союз африканских государств и т. д.).

На этом уровне система управления экологической безопасностью включает:

- экологическую экономику;
- новые экологически безопасные технологии;
- выдерживание темпов экономического развития, не препятствующих восстановлению качества ОС и способствующих рациональному использованию природных ресурсов.

Локальный уровень включает города, районы, предприятия металлургии, химической, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей промышленности и оборонного комплекса, а также контроль выбросов, стоков и др. Управление экологической безопасностью осуществляется на уровне администрации отдельных городов, районов, предприятий с привлечением соответствующих служб, ответственных за санитарное состояние и

природоохранную деятельность. Решение конкретных локальных проблем определяет возможность достижения цели управления экологической безопасностью регионального и глобального уровней. Цель управления достигается при соблюдении принципа передачи информации о состоянии ОС от локального к региональному и глобальному уровням.

Независимо от уровня управления экологической безопасностью, объектами управления обязательно являются окружающая природная среда, т. е. комплекс естественных экосистем и социоприродные экосистемы. Именно поэтому в схеме управления экологической безопасностью любого уровня обязательно присутствует анализ экономики, финансов, ресурсов, правовых вопросов, административных мер, образования и культуры.

Несмотря на то, что в пределах России находится самый большой в мире Северный Евроазиатский центр стабилизации окружающей среды, благодаря которому естественные экосистемы сохранились на 2/3 её территории, Россия была и остаётся страной с очень сложной экологической ситуацией. В первую очередь это относится к Главной полосе расселения. В начале 2002 г. на Всемирном экономическом форуме в Нью-Йорке был охарактеризован экологический рейтинг 142 стран мира. Россия оказалась в нем на 74 месте.

По мнению самых авторитетных отечественных экологов и географов, Россия фактически уже вступила в стадию жёсткого экологического кризиса. Первые правдивые данные об уровне экологического кризиса в СССР стали достоянием общественности в 1989 г., когда был опубликован государственный доклад Госкомприроды о состоянии окружающей среды. Поистине шоковое впечатление произвели сведения о том, что в условиях неблагоприятной экологической обстановки проживает более 20% всего населения страны, т. е. 50–55 млн. человек, в том числе 39% горожан. Как оказалось, в 103 городах уровень загрязнения атмосферы в 10 раз и более превышал предельно допустимые нормы.

Всего в стране оказалось около 300 ареалов со сложной экологической ситуацией, которые занимали 4 млн. км², или 18% её общей площади. А с учетом деградированных тундровых, степных и полупустынных пастбищ этот показатель возрастал до 20%.

На пороге XXI в. в России насчитывалось 195 городов (с общим населением в 65 млн. человек), в атмосфере которых средние за год концентрации одного или нескольких загрязняющих веществ превышали ПДК.

Среди городов с наибольшими выбросами в атмосферу разного рода загрязняющих веществ преобладают центры чёрной и цветной металлургии, химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Именно поэтому в первую десятку самых загрязнённых городов страны попадают (по убывающей): Норильск, Новокузнецк, Череповец, Липецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Красноярск, Ангарск, Новочеркасск, а замыкает этот список Москва. К категории районов с катастрофической экологической ситуацией в пределах стран СНГ отнесены две территории – район влияния аварии на Чернобыльской АЭС и район Аральского моря. К категории районов с кризисной экологической ситуацией ныне относят 18 районов стран СНГ, из которых 12 находятся на территории России.

Исходя из первопричины экологического кризиса в этих районах и их народно-хозяйственной специализации, их правомерно подразделить на три группы.

- Первую и самую большую группу образуют промышленно-городские районы с преобладанием отраслей тяжёлой промышленности и в особенности её наиболее «грязных» производств. Для них характерно сильное загрязнение атмосферы, водного бассейна, почвенного покрова, изъятие из оборота продуктивных сельскохозяйственных земель, утрата почвенного плодородия, деградация растительности и животного мира и, как следствие, общее сильное ухудшение экологической обстановки, чреватое отрицательными последствиями для здоровья людей. К категории таких районов в России относятся Кольский полуостров, Московский столичный регион, Среднее Поволжье и Прикамье, Северный Прикаспий, промышленная зона Урала, Норильский промышленный район, Кузбасс, нефтегазоносный район Западной Сибири, Приангарский и Байкальский районы.

- Ко второй группе районов с кризисной экологической ситуацией в СНГ можно отнести такие преимущественно сельскохозяйственные районы, как Калмыкия, Молдавия, Фергана. Особенно угрожающая обстановка создалась в Калмыкии, где интенсивная пастбищная нагрузка, превышающая нормальную в три-четыре раза, привела к резкому увеличению площадей, совершенно лишенных растительного покрова. Ныне процессами опустынивания охвачено более 4/5 территории республики, причем сильное и очень сильное опустынивание выявлено уже на 1/2 её площади, а подвижными песками занято более 500 тыс. га. Учёные считают, что здесь образовалась первая антропогенная пустыня в Европе.

- К третьей группе районов с кризисной экологической ситуацией следует, по-видимому, отнести природно-рекреационную зону, которая протягивается вдоль побережий Чёрного и Азовского морей в России, на Украине и в Грузии. В этой зоне рекреационная функция давно уже вошла в противоречие с промышленным развитием, которое привело к сильному загрязнению морской среды и побережья. В результате был нарушен экологический режим и потерян природно-рекреационный (и шире – природно-ресурсный) потенциал на обширных территориях. При этом к промышленному добавилось и сельскохозяйственное загрязнение среды.

Несколько особое место в реестре кризисных районов России занимает Новая Земля, где основной причиной резкого обострения экологической ситуации стали испытания ядерного оружия, которые проводились здесь с 1957 г. Всего на Новой Земле было осуществлено более 130 взрывов (до 1963 г. – в атмосфере, а затем – под землёй).

В последнее время в отечественной географии стали использовать сравнительно новое понятие об эколого-географическом положении России. Н. Н. Клюев отмечает, что, хотя в целом для неё характерна относительная природно-географическая изолированность, Россия имеет довольно тесные экологические связи со многими своими соседями. Эти связи находят выражение в первую очередь в трансграничном переносе загрязнений воздуха и воды. Баланс такого переноса в целом для России невыгоден, поскольку «импорт» загрязнений в страну значительно превышает их «экспорт». При этом основная экологическая угроза исходит от соседей России на Западе: только Украина, Белоруссия и Эстония поставляют 1/2

всех трансграничных веществ, загрязняющих атмосферу, с территории Украины в Россию поступает в 1,5 раза больше сточных вод, чем идёт в обратном направлении. На эколого-географическое положение России влияют и очаги трансграничного переноса, возникшие у её южных границ – в китайском Приамурье, Прииртышском, Павлодарско-Экибастузском и Усть-Каменогорском районах Казахстана.

Перспективы развития экологической ситуации в России зависят в первую очередь от того, будет ли ослабевать антропогенная нагрузка в районах с острой экологической ситуацией, будут ли внедряться в производство природоохранные технологии.

По мнению учёных, понятие экологической безопасности должно входить важной составной частью в более широкое понятие национальной безопасности России. Из этого исходит и Экологическая доктрина России, разработка которой была закончена в 2000 г. В начале 2002 г. был принят федеральный закон «Об охране окружающей среды».

На территории России, отличающейся огромными размерами и, следовательно, чрезвычайным разнообразием природных условий, наблюдается более 30 видов опасных природных явлений. Основной ущерб обычно приносят наводнения (около 30%), оползни, обвалы и лавины (21%), ураганы и смерчи (14%), сели (3%). Большую угрозу представляют и землетрясения, которые время от времени происходят в Камчатско-Курильском, Прибайкальском и Северо-Кавказском районах. За год в стране случается от 350 до 400 таких неблагоприятных и опасных явлений, в результате которых часто возникают действительно чрезвычайные ситуации.

Ещё больше возникает чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с железнодорожными авариями и катастрофами, авариями на трубопроводах и на шахтах, авиакатастрофами, пожарами и т. п. При этом их количество в последнее время имеет тенденцию к увеличению (в 1998 г. по сравнению с 1991 г. оно возросло в восемь раз), что во многом объясняется большим износом основных фондов. В федеральном законе «Об охране окружающей среды» есть глава VIII, в которой рассматриваются зоны экологического бедствия и зоны чрезвычайных ситуаций. Кроме того, в 1994 г. был принят федеральный закон о защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

К основным направлениям экологической политики обычно относят:

- 1) оптимизацию использования природных ресурсов в процессе общественного производства;
- 2) охрану природы от негативных последствий человеческой деятельности;
- 3) экологическую безопасность населения. Можно добавить, что осуществление всех этих направлений во многом зависит от общего уровня развития той или иной страны, от того, как в ней решаются главные социально-экономические проблемы.

В территориальном аспекте экологическую политику можно подразделить на глобальную и государственную (национальную).

Современный теплоэнергетический комплекс – это не только совокупность технических средств, механизмов и устройств, объединенных в единое целое по своему

функциональному назначению и предназначенных для получения, преобразования, накопления и передачи различных видов энергии, но и сложный инженерный антропогенный (техногенный или искусственный) объект, представляющий собой многоуровневую систему.

Рассмотрим вопросы экологической безопасности топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

Повседневные задачи, решаемые ТЭКом, в силу своего разнообразия и сложности требуют в каждом отдельном случае реализации тех или иных свойств, совокупность которых, в конечном итоге, составляет его качество (или потенциальную эффективность). Очевидно, что не обладая работоспособностью, экономичностью, надёжностью, манёвренностью и другими эксплуатационными свойствами, теплоэнергетический комплекс практически бесполезен и функционально непригоден для использования. Именно практическая реализация совокупности свойств формирует его эффективность в процессе эксплуатации. Известно, что система свойств теплоэнергетического комплекса формируется свойствами её отдельных подсистем, например, паропроизводительной (атомной или котельной) установки, паротурбинной установки (при её наличии), топливного хозяйства, хранилищ энергоносителей, очистных сооружений и других элементов.

В реальных условиях, в зависимости от задачи, реализуются те или иные свойства. При этом каждое отдельно взятое свойство ТЭКа можно количественно оценить с помощью существующих общепринятых и отражённых в различных ГОСТах критериев и определить их численное значение. Практически все они формируются свойствами элементов низшего уровня, то есть являются сложными и комплексными.

Предметом экологии, как известно, являются не сами загрязнения, деформация или деградация окружающей природной или антропогенной среды, а их последствия. С позиции экологии теплоэнергетический комплекс целесообразно рассматривать в нескольких аспектах.

Во-первых, это созданный руками человека объект – антропогенный или техногенный элемент (подсистема) в экосистеме более высокого уровня – окружающей природной среды, посредством которого человек осуществляет свою трудовую деятельность, оказывая прямое и косвенное воздействие на состояние природного баланса.

Во-вторых, это самостоятельная антропогенная (техногенная) экологическая система, являющаяся, в свою очередь, искусственно созданной средой деятельности обслуживающего персонала и представленная замкнутым пространством, состоящим из комплекса различных по функциональному назначению помещений с разной степенью обитаемости.

В-третьих, как продукт общественного труда, созданный для получения, преобразования, накопления, передачи и использования различных видов энергии в необходимом количестве и требуемого качества. И наконец, как мощный стационарный антропогенный плоскостной источник загрязнения окружающей среды.

На исходе XX века во многих регионах Российской Федерации, практически во всех крупных городах и промышленных центрах нашей страны сложилась тяжёлая, а местами критическая экологическая обстановка. На сегодняшний день экономический ущерб от загрязнения окружающей природной среды страны соизмерим с нашим национальным доходом, что заставляет безотлагательно решать проблему защиты окружающей природной среды, в том числе и при функционировании ТЭКа. По мере восстановления и модернизации российской энергетики и промышленности экологические проблемы не только не теряют своей актуальности, а приобретают первостепенное государственное значение.

Одним из направлений деятельности в данной области является повышение экологической чистоты всех без исключения объектов большой, средней и малой энергетики. Это предполагает формирование такого важного свойства ТЭКа, как экологическая безопасность. Объективная необходимость формирования у теплоэнергетических комплексов свойства «экологическая безопасность» обусловлена и положениями реализуемой в настоящее время концепции реформирования российского ТЭКа, направленной на повышение качественных параметров технических систем и средств при одновременном снижении количественных затрат различных ресурсов на их эксплуатацию.

Каждый теплоэнергетический комплекс функционирует и реализует свои свойства в системе более высокого уровня, каковой является окружающая природная среда. В связи с этим имеет место постоянный и довольно интенсивный взаимообмен ТЭКа с окружающей природной средой (атмосферой и гидросферой) различными веществами, массой и энергией, поэтому уместно говорить о том, что эксплуатация ТЭКа по отношению к окружающей природной среде является экологически опасной.

Экологическая безопасность и чистота ТЭКа представляет собой сложное комплексное свойство данного объекта, его подсистем, технических средств и т. д., проявляющееся в способности не нарушать качества природной (естественной) и антропогенной (искусственной) окружающей среды, а также устранять или снижать до минимума негативные последствия своего воздействия на состояние природного баланса во всех средах своего функционирования.

Экологическая безопасность формируется при проектировании, реализуется в процессе постройки, восстанавливается во время ремонта и совершенствуется при модернизации. Это свойство поддерживается на заданном уровне на всех этапах жизненного цикла, в том числе и силами обслуживающего персонала. В системе свойств ТЭКа экологическая безопасность является особым свойством, что обусловлено целым рядом объективных причин.

Во-первых, оно проявляется практически на всех этапах жизненного цикла комплекса: при постройке, эксплуатации (использовании, ремонте, модернизации, консервации) и при утилизации.

Во-вторых, это свойство реализуется при выполнении абсолютного большинства задач (при производстве, преобразовании, передаче, накоплении и использовании различных видов энергии и т. д.).

В-третьих, это свойство как ни одно другое тесно связано с другими свойствами ТЭКа (например, с манёвренностью, надёжностью, экономичностью, обитаемостью, защищенностью и др.), их улучшения или ухудшения их, в конечном итоге определяют качество ТЭКа, а следовательно, и эффективность его использования в целом.

Тепловые и газовые загрязнения, шумы, вибрация, излучения различной природы являются причиной ухудшения среды обитания внутренних помещений ТЭКа, изменяющего условия работы обслуживающего персонала и оказывающего существенное влияние на способность людей качественно выполнять свои обязанности. Они же ухудшают экологическую обстановку в районе расположения предприятия ТЭКа и региона в целом.

Наиболее тесно экологическая безопасность предприятия связана с его экономичностью, поскольку имеющиеся в распоряжении ресурсы, не использованные по прямому назначению, а равно используемые нерационально, рано или поздно сбрасываются в окружающую среду в виде отходов и представляют собой экологически опасные загрязнители.

И наконец, отличительной особенностью свойства «экологическая безопасность» является его двоякая сущность. С одной стороны, это внешняя экологическая безопасность, определяемая степенью влияния ТЭКа на качество внешней экологической системы «теплоэнергетический комплекс – окружающая природная среда» и проявляющаяся в способности не нарушать состояние природного баланса в районе расположения предприятия ТЭКа. С другой стороны, это внутренняя экологическая безопасность, отражающая состояние искусственной среды жизнедеятельности, так называемой внутренней экосистемы «теплоэнергетический комплекс – человек».

Внутренняя экологическая безопасность ТЭКа, в свою очередь, будучи отличительным признаком (свойством) искусственно созданной среды, приближенной к природной, выражается в способности не нарушать качества среды обитания/деятельности обслуживающего персонала. Здесь необходимо отметить, что внутреннюю экологическую безопасность ТЭКа не следует отождествлять с его обитаемостью, поскольку понятие экологической безопасности гораздо шире. Свойство «обитаемость», как известно, отражает способность антропогенного объекта создавать и поддерживать диапазон благоприятных, комфортных условий для жизнедеятельности членов коллектива. В то время, как внутренняя экологическая безопасность показывает границы выживаемости и здоровья человека. «Разность» между обитаемостью и внутренней экологической безопасностью определяет запас толерантности (терпимости) человеческого организма функционировать в экстремальных условиях, что, собственно, и является предметом экологии.

Условное деление экологической безопасности ТЭКа на внутреннюю и внешнюю является обязательным. Это обусловлено тем, что в процессе эксплуатации теплоэнергетического комплекса, с одной стороны, нарушается состояние окружающей

природной среды (баланс внешней экосистемы), а с другой – требуется обеспечивать экологическую чистоту и безопасность внутренних помещений комплекса (качество внутренней экосистемы).

Особенности и двоякую сущность «экологической безопасности» обязательно необходимо учитывать при формировании, реализации и обеспечении данного свойства. Игнорирование или недооценка её как важного и обязательного свойства в конечном итоге не только значительно снижает эффективность использования ТЭКа, ухудшая его эксплуатационные показатели, но и повышает экологическую опасность этого сложного инженерного антропогенного сооружения.

Свойство «экологическая безопасность» сложное и комплексное, формируется целым рядом отдельных самостоятельных свойств и элементов, отражающих различные виды экологической безопасности. В соответствии с действующими в настоящее время руководящими документами экологическая безопасность технического объекта может включать в себя не менее четырнадцати составляющих (элементов или подсистем), которые определяют состояние природной и антропогенной среды жизнедеятельности и характеризуются своими качественными признаками и количественными показателями. Это электрическая безопасность, механическая, электромагнитная, биологическая, атомная, виброшумовая, световая, токсическая, радиационная, химическая, газовая, магнитная, тепловая, взрывопожаробезопасность, защита от динамического давления, от загрязнения вод, от газового и теплового загрязнения атмосферы и т. д.

Значимость отдельных элементов экологической безопасности ТЭКа и их ранжирование по степени экологической опасности в тех или иных условиях зависят, прежде всего, от количества и вида загрязнителей окружающей среды; от степени их негативного воздействия на человека и на животный и растительный мир; от вида, количества, концентрации и мощности источников загрязнения, а также времени их действия, технического состояния ТЭКа, его отдельных систем и технических средств.

Так, на ТЭКе с атомной установкой (АЭС) наиболее значимой является радиационная безопасность. В то время, как на ТЭКе с котельной установкой (КУ) указанные элементы, составляющие экологическую безопасность ТЭКа, вообще могут отсутствовать, а значимой является защита атмосферы от уходящих дымовых котельных газов, территории и водных источников от загрязнения нефтесодержащими водами и нефтяными остатками.

В реальных же условиях эксплуатации ТЭКа приходится иметь дело с комплексным загрязнением окружающей среды загрязнителями различного происхождения и различной природы. Это означает, что и на АЭС, и на ТЭКе с КУ присутствуют практически все виды (составляющие) экологической безопасности, однако их воздействие на человека, животный и растительный мир и в целом на окружающую среду разное.

Функционируя по своему прямому назначению, теплоэнергетический комплекс является мощным источником возмущения неживой природы, раздражения и возбуждения живой природы, а также загрязнения используемых им природных сред: атмосферы, земли и гидросферы. Пределами действия для возмущения, раздражения и возбуждения являются

их пороговые значения, а для загрязнения – предельно-допустимые концентрации. Если после устранения причин окружающая среда самостоятельно возвращается в первоначальное состояние, то загрязнения природной среды должны быть локализованы и ликвидированы непосредственно человеком.

Любое свойство ТЭКа [5], как известно, отражает технические требования, в основу которых заложены положения действующего законодательства страны. Свойство «экологическая безопасность» не является исключением и должно соответствовать экологическим требованиям, регламентируемым экологическим законодательством Российской Федерации.

Однако в экологических законодательных актах РФ, впрочем как и в аналогичных законодательствах государств Северной Америки и Европейского Союза, отсутствуют общепринятые в экологии термины и определения. Такие, например, как «экологическая безопасность», «экологические критерии», «экологическая катастрофа», «экологическая угроза» и многие другие, а следовательно, не существует и их юридического толкования и объяснения.

Таким образом, экологическое законодательство практически во всех странах мира умышленно или неумышленно подменяется природоохранным. Однако природоохранное и экологическое законодательство – это не совсем одно и то же. Очевидно, что и требования, разработанные на основе такого законодательства, являются скорее природоохранными, нежели экологическими.

Такое положение с экологическим законодательством не способствует, а в отдельных случаях даже препятствует формированию и реализации на правовой основе свойства «экологическая безопасность», а также разработке и практическому внедрению экологических мероприятий, включая и конструктивные.

Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие экологической безопасности?
2. На каких уровнях реализуется экологическая безопасность? Что происходит на каждом из этих уровней?
3. Каково на сегодняшний день состояние окружающей среды на ваш взгляд? Почему вы так думаете?
4. Каковы первопричины экологического кризиса?
5. Каковы перспективы развития экологической ситуации в РФ и мире?

24. КАК РЕШАЕТСЯ ПРОБЛЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Вопрос аккумулирования различных видов энергии является актуальным. Разделим все имеющиеся способы аккумулирования по видам энергии: тепловая, механическая и электрическая энергия [15; 17].

Начнём с тепловой энергии. Существуют тепловые аккумуляторы с твёрдым либо плавящимся теплоаккумулирующим материалом; жидкостные; паровые; термохимические; с электронагревательным элементом. Электрический обогреватель, принцип действия которого заключается в сохранении энергии в ночное время (фаза зарядки), когда электричество стоит дешевле («ночной тариф»), чем днём, а затем высвобождении тепловой энергии в течение дня. Накопленное тепло в процессе конвекции обогревает воздух в помещении. Запас тепла накапливается в материале с высокой теплоёмкостью (обычно используют кладку из высокопрочного кирпича). Другими теплоаккумулирующими материалами являются твердотельные материалы магнезит, чугун, а также эвтектические смеси солей щелочных металлов и кристаллогидраты неорганических солей. Кроме того, под тепловым аккумулятором понимают водонагревательные устройства (обычно ТЭНы) или ёмкости для хранения горячей воды, обшитые материалом с высокими теплоизоляционными свойствами.

Существуют аккумуляторы, накапливающие механическую энергию. К примеру, рассмотренные ранее гидроаккумулирующие электростанции ГАЭС. Когда снижается потребность в электроэнергии, ее избыток используется на ГАЭС для перекачки воды из нижнего резервуара в верхний. Таким образом излишки электрической энергии превращаются в механическую (потенциальную) энергию. Во время повышенного спроса на электроэнергию производится перепуск воды из верхнего резервуара в нижний. При этом вода протекает через гидротурбогенератор, в котором ее потенциальная энергия превращается в электрическую. Второй тип механического аккумулятора предназначается для транспортных устройств. Принцип аккумулирования основан на маховике, который обладает большой массой и раскручивается до очень высокого числа оборотов. Запасаемая им энергия – это кинетическая энергия самого маховика. Для повышения кинетической энергии маховика нужно увеличивать его массу и число оборотов вращения. Но с ростом числа оборотов увеличивается центробежная сила, что может привести к разрыву маховика. Поэтому для маховиков используются самые прочные материалы. Например, сталь и стеклопластик. Уже изготовлены маховики, масса которых измеряется многими десятками килограммов, а частота вращения достигает 200 тыс. оборотов в минуту. Потери энергии при вращении маховика вызываются трением между поверхностью маховика и воздухом, и трением в подшипниках. Для уменьшения потерь маховик помещают в кожух, из которого откачивается воздух, т. е. внутри кожуха создается вакуум.

Рассмотрим некоторые виды электрических аккумуляторов. Электрохимический аккумулятор заряжается путём питания его электрической энергией. В аккумуляторе она преобразуется в химическую энергию электролита. Выдает же электрохимический

аккумулятор накопленную энергию снова в виде электрической энергии. Аккумулятор этого типа имеет два электрода – положительный и отрицательный, – погруженных в раствор электролит. Преобразование химической энергии в электрическую происходит посредством химической реакции. Чтобы дать начало реакции, достаточно замкнуть внешнюю часть электрической цепи аккумулятора. На отрицательном электроде, содержащем восстановитель, в результате химической реакции происходит процесс окисления. Образующиеся при этом свободные электроны переходят по внешнему участку электрической цепи от отрицательного электрода к положительному, между электродами возникает разность потенциалов, протекает электрический ток, аккумулятор заряжается. При зарядке аккумулятора химическая реакция протекает в обратном направлении. В настоящее время больше всего используются сравнительно дешевые свинцово-кислотные аккумуляторы. Более высокие показатели имеют серебряно-кадмиевые аккумуляторы.

Главным недостатком всех существующих электрохимических аккумуляторов является низкое значение удельной (т. е. отнесенной к 1 кг массы аккумулятора) энергии, запасаемой аккумулятором.

Контрольные вопросы

1. Существуют ли аккумуляторы, накапливающие механическую энергию?
2. Какие аккумуляторы наиболее энергоёмкие?
3. Какие недостатки есть у упомянутых в главе аккумуляторов?

**ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ
ПО ВСЕМУ КУРСУ ИЗУЧЕННОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

№	вопрос	Ответ 1	Ответ 2	Ответ 3	Ответ 4
1	Что не входит в состав ТЭС, работающей по циклу Ренкина?	котёл	конденсатор	турбина	химводоочистка
2	Процесс расширения пара в турбине в идеальном цикле Ренкина на рисунке 1.2 – это ...?	Адиабата BC	Изобара BC	Изобара CD	Изохора DA
3	Что зануляется в первом законе термодинамики при изохорном процессе?	Q	A	dU	ничего
4	Чем ГРЭС отличается от ТЭЦ?	Отсутствием теплофикации	Наличием водоподготовки	Наличием эжекторов на конденсаторе	Отсутствием деаэратора
5	На ГРЭС генерирует перегретый пар ...	котёл	турбина	насос	деаэратор
6	Что используется в качестве теплового двигателя на ТЭС?	Паровая турбина	Насос	ветряк	МГД
7	Прибор, преодолевающий сопротивление газового тракта и позволяющий удалять уходящие газы из тракта – ...?	дымосос	турбина	мельница	золоуловитель
8	Где, исходя из рисунка 2.3, никогда не будет находиться пар?	экономайзер	барабан	турбина	бункер угля
9	Чем барабанный котёл отличается от прямоточного?	Наличием барабана	Наличием пароперегревателей	Отсутствием пароперегревателей	Прямоточный котёл работает без турбины
10	Что является статором в активной турбине?	C	Рабочие лопатки	Направляющие лопатки	Лабиринтные уплотнители
11	Что применяется в качестве рабочего тела в ГТУ?	Горячие газы	Пар	Твёрдое топливо	Мазут
12	Для повышения эффективности ГТУ и снижения температуры уходящих газов используется ...	Компрессор	Регенератор	Охлаждение компрессора в любое время года	Регулирование расхода на турбину
13	На каком элементе ГТУ происходит сжатие воздуха?	Компрессор	Камера сгорания	Топливный бак	турбина
14	На каком элементе ГТУ происходит расширение продуктов сгорания?	Компрессор	Камера сгорания	Топливный бак	турбина
15	На каком элементе ГТУ происходит генерация продуктов сгорания?	Компрессор	Камера сгорания	Топливный бак	турбина
16	С какой температурой попадают газы на лопатки газовой турбины в ПГУ?	650-700	1000-1900	2000-2500	300-400
17	После какого элемента ПГУ располагается паровая турбина?	Парогенератор	компрессор	регенератор	газовая турбина

№	вопрос	Ответ 1	Ответ 2	Ответ 3	Ответ 4
18	Для какого элемента в ПГУ (рис 4.1) необходима охлаждающая вода?	конденсатор	электрогенератор	регенератор	насос
19	Сколько ступеней в компрессоре на рисунке 4.2?	6	7	8	9
20	Сколько ступеней в турбине на рисунке 4.2?	3	4	5	6
21	Какое топливо является самым распространенным при выработке электроэнергии в России?	уголь	природный газ	мазут	сланцы
22	Каких выбросов нет при сжигании газа?	оксиды азота (NO, NO ₂),	оксид углерода (CO)	бензапирен (C ₂₀ H ₁₂)	зола
23	Аммиачно-циклические технологии используют для снижения...	NO _x	CO	SO _x	Зола
24	Электрофильтры применяют для улавливания ...	NO _x	CO	SO _x	Золы
25	Циклоны применяют для улавливания ...	NO _x	CO	SO _x	Золы
26	За счёт чего создают на равнинных реках напор?	плотина	деривационные каналы	водопады	канализация
27	На рабочем колесе турбины ГЭС кинетическая энергия воды переходит в ...	потенциальную	механическую	электрическую	тепловую
28	Такие турбины используют в широком диапазоне напоров от 30 до 600 м.	радиально-осевые	пропеллерные	двухперовые	диагональные
29	Такие турбины обладают простой конструкцией и высоким КПД, однако у них с изменением нагрузки КПД резко уменьшается	радиально-осевые	пропеллерные	двухперовые	диагональные
30	Такие турбины имеют спаренные рабочие лопасти, что позволяет повысить расход воды. Широкое применение их ограничено конструктивными сложностями.	радиально-осевые	пропеллерные	двухперовые	диагональные
31	Когда вода принудительно перекачивается в верхний водоем ПЭС, это называется ...	Насосным режимом	Принудительным режимом	Прямым режимом	Обратным ходом
32	Какое вещество, которое бы закипало при температуре в 20 и выше градусов и конденсировалось при температуре 4 градуса?	аммиак	вода	аргон	хладон
33	Какое количество МВт вырабатывала первая ПЭС?	52 кВт	52 МВт	52 кВт	52 ГВт
34	Где была запущена первая АЭС?	США	Китай	Япония	СССР
35	Какая энергия возникает вследствие деления ядер на АЭС?	кинетическая	потенциальная	электрическая	механическая
36	Какая из перечисленных АЭС наиболее безопасна?	Одноконтурная	Двухконтурная	Трёхконтурная	
37	Какое вещество обычно применяется на втором контуре АЭС?	Жидкий натрий	Уголь	Продукты сгорания	
38	Какой вид тока используется в теплообменнике второго контура АЭС?	прямоток	противоток	перекрестный ток	

№	вопрос	Ответ 1	Ответ 2	Ответ 3	Ответ 4
39	Какой из этих реакторов считается водо-водяным?	ВВЭР	РБМК	БН	ЭГП
40	Где самое большое количество атомных реакторов в мире?	Франция	США	Япония	Россия
41	Какое антикоррозионное покрытие используется для реакторов?	никель	асбест	цирконий	серебро
42	В каких реакторах можно использовать малообогащенное топливо?	ВВЭР	РБМК	БН	ЭГП
43	Какие реакторы самые распространенные в России?	ВВЭР	РБМК	БН	ЭГП
44	Кто открыл закон электромагнитной индукции?	Фарадей	Ом	Эрстед	Вольт
45	При какой температуре газ превращается в электропроводное вещество?	3000	150	0	500
46	Кто разработал принцип работы термоэлемента?	Зеебек	Фарадей	Эрстед	Ампер
47	Чем меньше, электропроводность материала, тем ... скорость обратного перетока электронов	Больше	Меньше		
48	Кем было открыто явление термоэлектронной эмиссии?	Эдисон	Зеебек	Фарадей	Вольт
49	Какие лучи возникают в термоэмиссионных генераторах?	β -лучи	α -лучи	γ -лучи	
50	Каков КПД топливных элементов?	60-80%	30%	5%	50%
51	В среднем на каждые 30–40 м в глубь Земли температура возрастает на ...	1°C	20°C	5°C	10°C
52	Первая ГеоЭС в России – это	Мутновская	Паужетская	Океанская	Менделеевская
53	Что в фотоэлектрических системах вырабатывает электрический ток, преобразовывая в него энергию фотонов солнечного излучения?	Кремниевые фотопластины	Контроллер	Аккумуляторные батареи	Инвертор
54	Что в фотоэлектрических системах предназначено для заряда аккумуляторных батарей от солнечных модулей?	Кремниевые фотопластины	Контроллер	Аккумуляторные батареи	Инвертор
55	Что в фотоэлектрических системах служит для накопления заряда?	Кремниевые фотопластины	Контроллер	Аккумуляторные батареи	Инвертор
56	Что в фотоэлектрических системах преобразует постоянный ток, полученный в результате фотоэффекта, в переменный?	Кремниевые фотопластины	Контроллер	Аккумуляторные батареи	Инвертор
57	Каким считается ветер, если его скорость 24 м/с?	шторм	ураган	умеренный	сильный
58	... уровень управления экологической безопасностью предполагает прогнозирование и отслеживание процессов в состоянии биосферы в целом и составляющих ее сфер.	глобальный	Региональный	локальный	

№	вопрос	Ответ 1	Ответ 2	Ответ 3	Ответ 4
59	... уровень включает крупные географические или экономические зоны, а иногда территории нескольких государств. Контроль и управление осуществляются на уровне правительства государства и на уровне межгосударственных связей (объединенная Европа, СНГ, союз африканских государств и т.д.).	глобальный	Региональн й	локальный	
60	... уровень включает города, районы, предприятия металлургии, химической, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей промышленности и оборонного комплекса, а также контроль выбросов, стоков и др.	глобальный	Региональн й	локальный	
61	... – это не только совокупность технических средств, механизмов и устройств, объединенных в единое целое по своему функциональному назначению и предназначенных для получения, преобразования, накопления и передачи различных видов энергии, но и сложный инженерный антропогенный (техногенный или искусственный) объект, представляющий собой многоуровневую систему.	Современный ТЭК	ТЭС	АЭС	ГЭС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апсю В.А., Ксенофонов А.И., Савандер В.И., Тихомиров Г.В., Шмелев А.Н. Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты. Долгопрудный, 2014. 296 с.
2. Баринов В.А., Барон Ю.Л., Батенин В.М. Энергетика России. Взгляд в будущее. М., 2010. 610 с.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика. М., 2010. 315 с.
4. Белоглазов В.П., Белоглазова Л.В. Котельные установки и парогенераторы. Омск, 2015. 83 с.
5. Белогорьев А.М., Бушуев В.В., Громов А.И., Куричев Н.К., Мастепанов А.М. Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века. М., 2011. 69 с.
6. Болдырев В.М. Атмосферное природопользование и атомная энергетика. М., 2019. 16 с.
7. Борисов В.Н., Порфирьев Б.Н., Семикашев В.В., Терентьев Н.Е. Альтернативная энергетика как фактор модернизации российской экономики. Тенденции и перспективы. Москва, 2016. 212 с.
8. Боруш О.В., Григорьева О.К. Общая энергетика. Энергетические установки. Новосибирск, 2017. 96 с.
9. Бушуев В.В. Энергетика России. Т. 1. Потенциал и стратегия реализации. М., 2012. 520 с.
10. Бушуев В.В. и др. Мировая энергетика – 2050. Белая книга. М., 2011. 355 с.
11. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. М., 2021. 350 с.
12. Григорьева О.К., Боруш О.В. Теплоэнергетика. Тепловая экономичность паротурбинных энергоблоков. Новосибирск, 2016. 51 с.
13. Головнев Н.Н. Энергетика и направленность химических процессов. Химическая кинетика и химическое равновесие. Красноярск, 2018. 148 с.
14. Едчик И.А. Физико-технические основы ядерной энергетики. Минск, 2017. 176 с.
15. Ковалев Ю.З., Татевосян А.С., Ковалева Н.А. Электропотребление в промышленности. Омск, 2014.
16. Лебедев В.А. Теплоэнергетика. СПб., 2017. 371 с. <https://doi.org/10.23682/78140>
17. Николаев М.Ю. и др. Основы составления главных схем электрических подстанций. Омск, 2019. 93 с.
18. Ола Дж., Гепперт А., Пракаш С. Метанол и энергетика будущего. Когда закончатся нефть и газ. 2-е изд. М., 2015. 419 с.
19. Ола Дж., Гепперт А., Пракаш С. Метанол и энергетика будущего. Когда закончатся нефть и газ. 3-е изд. М., 2020. 419 с.
20. Пархоменко Ю.Н., Полисан А.А. Физика и технология приборов фотоники: солнечная энергетика и нанотехнологии. М., 2013. 142 с.
21. Полищук В.И. Общая энергетика. М., 2021. 208 с. <https://doi.org/10.12737/1039242>.

22. Порфирьева Б.Н. Альтернативная энергетика как фактор модернизации российской экономики: тенденции и перспективы. М., 2016. 212 с.
23. Родионов В.Г. Энергетика. Проблемы настоящего и возможности будущего. М., 2010. 344 с.
24. Семиколенных А.А., Жаркова Ю.Г. Оценка воздействия на окружающую среду объектов атомной энергетики. М., 2013. 368 с.
25. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика. М, 2009. 352 с.
26. Тетельмин В.В., Язев В.А. Физические основы традиционной и альтернативной энергетики. Долгопрудный, 2016. 176 с.
27. Удалов С.Н. Возобновляемая энергетика. Новосибирск, 2016. 607 с.
28. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный, 2011.

Учебное издание

**Николаев М.Ю., Мальгин Г.В.,
Мостовенко Л.В., Щекочихин А.В.**

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

КУРС ЛЕКЦИЙ

ISBN 978-5-00047-614-7



Редактор: Е.Е. Солдатова
Технический редактор: Д.В. Вилявин
Обложка: Д.В. Вилявин

Дата принятия: 21.06.2021

Дата печати: 25.09.2021

Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 4,64
Электронное издание. Объем 4,5 МБ. Заказ 2213

Издательство НВГУ

628615, Тюменская область, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, 4
Тел./факс: (3466) 24-50-51, E-mail: izdatelstvo@nggu.ru