

**Областное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Курский электромеханический техникум»
(ОБПОУ «КЭМТ»)**

КУРС ЛЕКЦИЙ
по учебной дисциплине ОП.13 Общая энергетика
для студентов ОБПОУ «КЭМТ»
специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Разработчик: МАСЛЕННИКОВА Татьяна Николаевна,
преподаватель ОБПОУ «КЭМТ»

РАССМОТРЕН

на заседании
предметной (цикловой) комиссии
преподавателей профессионального цикла
по направлению подготовки

13.00.00 Электро- и теплоэнергетика

Протокол № 14 от 14 июня 2019 г.

Председатель ПЖ

М. Масленникова Т.Н. Масленникова

« 14 » июня 2019 г.

СОГЛАСОВАН

Заведующий отделением

Н.Г. Корнев

« 14 » июня 2019 г.

Масленникова Т.Н. Курс лекций по учебной дисциплине ОП.13 Общая энергетика для студентов ОБПОУ «КЭМТ» специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электротехнического оборудования (по отраслям). – Курск: ОБПОУ «КЭМТ», 2019 г. – 98 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	2
Пояснительная записка.....	5
Лекция 1. Невозобновляемые источники энергии.....	6
1.1 Общие сведения.....	6
1.2 Органические топлива (горючие)	6
1.3 Ядерная энергия и механизм тепловыделения.....	10
Лекция 2. Возобновляемые источники энергии и вторичные энергоресурсы.....	11
2.1 Теплота недр Земли и толщи вод морей	12
2.2 Солнечная энергия.....	12
2.3 Энергия движения воздуха в атмосфере.....	12
2.4 Гидроэнергетические ресурсы.....	13
2.5 Вторичные энергоресурсы	14
Лекция 3. Решение проблем энергообеспечения	16
3.1 Энергетические проблемы России. Общие сведения	17
3.2 Низкий уровень изученности энергоемких секторов промышленности.....	17
3.3 Проблема государственного контроля	19
3.4 Проблема отсутствия единого владельца норм и законов по энергосбережению.....	19
3.6 Проблема отсутствия на предприятиях специалистов по профессиональному энергосбережению.....	20
3.7 Проблема недостаточной подготовки кадров	20
3.9 Проблема низкой культуры ресурсопотребления населения	21
Лекция 4. Основы теплотехники	22
4.1 Основные понятия и определения технической термодинамики	22
4.4 Основные термодинамические процессы идеальных газов	27
4.5 Реальные газы, вода и водяной пар	27
4.6 Круговой процесс. Цикл Карно.....	28
Лекция 5. Циклы основных тепловых электрических станций	29
5.1 Особенности тепловых электростанций.....	29
5.2 Паротурбинные электрические станции.....	30
5.3 Влияние КЭС на окружающую среду	32
5.4 Теплофикационный цикл ТЭЦ.....	33
5.5 Газотурбинные установки.....	36
5.6 Парогазовые установки.....	37
Лекция 6. Атомные электростанции (АЭС)	38
6.1 Характеристика АЭС.....	38
6.2 Топливо АЭС	39
6.3 Типы реакторов АЭС	39
6.4 Схемы АЭС.....	40
6.5 Преимущества АЭС.....	41
Лекция 7. Гидроэлектростанции, солнечные и ветровые электростанции.....	42
7.1 Классификация ГЭС	42
7.2 Схема создания напора на ГЭС	44

7.3 Энергия и мощность ГЭС.....	49
Лекция 8. Солнечные и ветровые электростанции	49
8.1 Общие сведения о ветроэнергетике	49
8.2 Ветроэнергетические установки (ВЭУ)	51
8.3 Солнечная энергетика.....	52
8.4 Типы солнечных коллекторов.....	56
Лекция 9. Передача электроэнергии.....	56
9.1 Высокое напряжение, как способ уменьшения потерь.	56
9.2 Классификация линий электропередач (ЛЭП)	57
9.3 Способы передачи электроэнергии	58
9.4 Структурная схема электроснабжения	59
Лекция 10. Назначение и классификация котельных агрегатов.....	61
10.1 Основное оборудование котельной установки.....	61
10.2 Технологическая схема котельной установки	62
10.3 Назначение и классификация котельных агрегатов	64
Лекция 11. Основные элементы котельного агрегата.....	66
10.1 Основные элементы котельного агрегата.....	67
10.2 Тепловой баланс котельного агрегата.	71
Лекция 12. Классификация и основные конструкции паровых турбин.....	72
12.1 Основные сведения о паровых турбинах	72
12.2 Классификация и основные конструкции паровых турбин.....	74
12.4 Потери энергии и КПД турбины	77
12.5 Конденсационные установки паровых турбин.....	78
Лекция 13. Классификация систем ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	82
13.1 Классификация систем теплоснабжения	82
13.2 Системы источников тепла	84
13.3 Районные и промышленные отопительные котельные.....	84
13.3 Центральные тепловые пункты (ЦТП).....	87
Лекция 14. Отраслевое энергосбережение.....	89
14.1 Способы энергосбережения в промышленности	89
14.2 Организационные мероприятия.....	90
14.3 Технические мероприятия по повышению энергоэффективности в промышленности.....	90
Лекция 15. Энергосбережение в быту и в ЖКХ.....	92
15.1 Основные направления энергосбережения в быту	93
15.2 Способы экономии электроэнергии в быту	93
15.3 Экономия тепла.....	95
15.4 Экономия воды.....	96
Список источников	97

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс лекций по учебной дисциплине ОП.13 Общая энергетика предназначен для обучающихся по программе подготовки специалистов среднего звена по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) в ОБПОУ «КЭМТ».

Курс лекций является структурным компонентом учебно-методического комплекса (УМК) по указанной учебной дисциплине.

Курс лекций содержит 15 лекций по следующим тематическим разделам:

- энергетические ресурсы;
- технология производства и передачи электрической энергии;
- основное оборудование тепловых электрических станций;
- энергосбережение при потреблении энергоресурсов.

В каждой лекции представлен план изложения материала и вопросы для самопроверки по изученной теме.

Курс лекций по учебной дисциплине ОП.13 Общая энергетика для студентов специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) могут быть использованы преподавателями для организации текущей работы в рамках учебного занятия, а также для самоподготовки обучающихся по указанным темам.

ЛЕКЦИЯ 1. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

План лекции:

1. **Общие сведения об энергоресурсах.**
2. **Органические топлива (горючие).**
3. **Ядерная энергия и механизм тепловыделения.**

1.1 Общие сведения

Энергоресурсы – материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия.

Энергия – количественная оценка различных форм движения материи, которые могут превращаться друг в друга, – *условно подразделяется по видам: химическая, механическая, электрическая, ядерная и т.д.*

К основным энергоресурсам относят энергию рек, водопадов; различные органические топлива – уголь, нефть, газ; ядерное топливо – тяжелые элементы урана и тория, а в перспективе – легкие элементы.

Энергоресурсы подразделяют на *возобновляемые* и *невозобновляемые*. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (вода, ветер и т.д.), а ко вторым – ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (каменный уголь, нефть, газ и др.).

Энергия, непосредственно существующая в природе (энергия топлива, воды, ветра, тепла Земли, ядерная), называется *первичной*.

Энергия, получаемая человеком после преобразования первичной энергии на специальных установках – станциях, называется *вторичной* (энергия электрическая, пара, горячей воды и т.д.).

1.2 Органические топлива (горючие)

Основные сведения. *Топливом* может быть названо любое вещество, способное при горении (окислении) выделять значительное количество теплоты.

Химические топлива состоят из горючего и окислителя.

Горючие топлива бывают органического и неорганического происхождения. Те и другие могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

В энергетике для получения электрической энергии на тепловых электрических станциях в основном используются топлива органического происхождения.

Все виды органического топлива (горючие) представляют собой углеводородные соединения, в которые входят небольшие количества других веществ.

К твердому топливу относятся: антрацит, каменный и бурый уголь, торф, дрова, сланцы, отходы лесопильных заводов и деревообделочных цехов, а также растительные отходы сельскохозяйственного производства – солома, костра, лузга, чинголак и др.

Твердые топлива используются в основном на ТЭС для получения электрической энергии, для отопления и технологических нужд промышленности и в незначительной степени для судовых и локомотивных двигателей.

К жидкому топливу относятся нефть, а также различные продукты ее переработки: бензин, керосин, лигроин, разнообразные масла и остаточный продукт нефтепереработки – мазут. Искусственное жидкое топливо и горючие смолы, а также масла получают и при переработке некоторых твердых топлив.

До 70% жидких топлив расходуют транспортные средства – автомобили, трактора, тепловозы, суда, самолеты, вертолеты; около 30 % сжигается в виде мазута на тепловых электростанциях. Сырую нефть в качестве топлива в котельных и других установках не применяют.

К газообразному топливу относятся: природный газ, добываемый из недр земли; попутный нефтяной газ; газообразные отходы металлургического производства (коксовый и доменный газы); крекингový газ; генераторный газ, получаемый искусственным путем из твердого топлива в особых газогенераторных установках.

Газообразные топлива (горючие) сжигаются на ТЭС для получения электрической и тепловой энергии. И в очень небольшом количестве используются на транспорте.

Элементарный состав твердого и жидкого топлив. Топливо в том виде, в каком оно поступает для сжигания в топке или в двигатели внутреннего сгорания и специальные аппараты, называется рабочим.

В состав рабочего (твердого или жидкого) топлива входят углерод С, водород Н, кислород О, азот N, летучая сера S, негорючая минеральная примесь – зола А, а также влага W.

Влага, содержащаяся в топливе, совместно с золой называется *балластом топлива*.

Балласт значительно снижает ценность топлива, уменьшая его теплоту сгорания. Влага в топливе вредна тем, что, во-первых, на ее испарение при горении расходуется тепло и, во-вторых, уменьшается относительное количество горючего вещества в топливе. Наличие золы не только снижает теплоту сгорания, но и значительно затрудняет процесс горения в топке и ее эксплуатацию.

В горючую часть топлива входит только летучая сера, остальная сера в горении участия не принимает и может быть отнесена к балласту (зола топлива).

Горючими элементами являются только углерод, водород и сера. Горючую массу можно характеризовать как топливо, не содержащее золы и в абсолютно сухом состоянии. Содержание азота в горючей массе твердых топлив обычно составляет 1... 2 % по массе.

Зольность топлива. Золой называют твердый негорючий остаток, который образуется после сжигания топлива в атмосфере воздуха. Зола способствует разрушению обмуровки топочных устройств и поверхностей камер сгорания, оседает в газоходах теплообменных аппаратов и ускоряет износ поверхностей, обтекаемых забалластированным газовым потоком, а также засоряет окружающую местность.

Влажность топлива. Определяется по ГОСТ 11014 – 81 высушиванием навески при 105... 110 °С. Максимальная влажность массы W_p составляет 50 % и более и определяет экономическую целесообразность использования данного горючего материала и возможность его сжигания. Влага снижает температуру в топке и увеличивает объем дымовых газов.

Летучие вещества. При нагревании твердого топлива без доступа воздуха его органическая масса разлагается, в результате чего образуются газы, водяные и смоляные пары и углеродосодержащий остаток. Суммарное количество выделяющихся летучих веществ увеличивается с увеличением температуры и времени выдержки. Выход летучих веществ является важнейшей характеристикой горючей массы топлива и уменьшается по мере увеличения его возраста. Чем больше выход летучих веществ, т.е. чем больше топлива превращается при нагревании в горючий газ, тем проще зажечь это топливо и легче поддерживать устойчивое горение.

Жидкие топлива. Практически все жидкие топлива пока получают путем переработки нефти (бензин, керосин, дизельное топливо и мазут). Мазут, как и моторные топлива, представляет собой сложную смесь жидких углеводородов, в состав которых входят в основном углерод и водород; содержание воды и зольность не превышают 0,2... 1,5%.

Мазуты, полученные из нефти ряда месторождений, могут содержать большое количество серы (до 5 %), что резко усложняет защиту окружающей среды при их сжигании.

Наиболее легкие сорта бензина применяются в авиации и называются авиационными, более тяжелые – в автотранспорте (автомобильные). Лигроин и керосин могут применяться для трак торных, турбореактивных и других двигателей.

Из жидких топлив в котельных и промышленных печах сжигаются только топочные мазуты, которые классифицируются по степени их вязкости.

Основные свойства жидких топлив – плотность, испаряемость, вязкость, стабильность при хранении, температуры застывания, вспышки, воспламенения и самовоспламенения, антидетонационная стойкость и др.

Температура воспламенения горючего – температура, при которой начинается самоподдерживающееся длительное горение с поверхности горючего.

Температура вспышки характеризует способность паров жидкого горючего воспламеняться от пламени над поверхностью горючего.

Эти две температуры характеризуют условия хранения и обращения с топливом (пожарная опасность).

Температура самовоспламенения определяет способность топлива самовоспламеняться от постороннего источника (например, в дизелях это нагретый от сжатия воздух, в карбюраторных двигателях – искра от электрической свечи).

Цетановое число характеризует склонность дизельного горючего к термическому распаду, окислению и самовоспламенению. Чем больше цетановое число, тем легче самовоспламеняется горючее.

Октановое число характеризует склонность жидкого топлива, обычно бензина, к детонационному, т. е. взрывному, сгоранию. Чем октановое число больше, тем склонность к детонации меньше. Детонация наблюдается в карбюраторных двигателях и ведет к повышению износа двигателя, уменьшению его мощности, увеличению расхода горючего. Чем выше давление смеси, тем больше при прочих равных условиях возможность и сила детонации.

У жидких топлив цетановое число 40... 50. Октановое число бензинов 60...98, для авиационных, более легких, бензинов – близко к 100.

Газообразное топливо. Преимущества:

- сгорает при небольшом избытке воздуха, образуя продукты полного горения без дыма и копоти,
- не дает твердых остатков;
- удобно для транспортирования по газопроводам на большие расстояния;
- позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в установках самых различных конструкций и мощностей.

Газообразное топливо подразделяется на естественное и искусственное. Естественное, в свою очередь, подразделяется на природное и нефтепромысловое.

Природный газ получают из чисто газовых месторождений, где он выбрасывается из недр земли под давлением, достигающим иногда до 10 МПа и более. Основным его компонентом является метан CH_4 .

При добыче нефти выделяется так называемый попутный газ, содержащий меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов и поэтому выделяющий при сгорании больше теплоты. Проблема полного его использования сейчас весьма актуальна.

В промышленности и особенно в быту находит широкое распространение сжиженный газ, получаемый при первичной переработке нефти и попутных нефтяных газов. По ГОСТ 20448–90 выпускают технический пропан, технический бутан и их смеси.

К искусственным газам относят: доменный газ, являющийся продуктом при выплавке чугуна на металлургических заводах; коксовый, образующийся при получении кокса в коксовых батареях; светильный, получаемый при сухой перегонке угля; генераторный, получаемый в газогенераторах, который для сжигания в топках котлов не применяют.

Коксовый и доменный газ используют главным образом на месте в доменном и других цехах металлургического завода.

К основным свойствам газообразных горючих относятся плотность, токсичность, взрываемость, влажность, запыленность.

Газы как горючее для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) имеют следующие достоинства: обладают высокими антидетонационными свойствами, широкими пределами воспламенения (по избытку воздуха); обеспечивают хорошие условия смесеобразования; приводят к меньшему, чем в ДВС на жидком горючем, износу; менее требовательны к качеству смазочных материалов и т.п. Однако все горючие газы имеют высокую температуру самовоспламенения и поэтому нуждаются в постороннем источнике зажигания.

Теплота сгорания топлива. Основной характеристикой топлива является так называемая теплота сгорания. Теплотой сгорания твердого и жидкого топлива называется количество теплоты (кДж), выделяемое 1 кг топлива при его полном сгорании. Теплоту сгорания обозначают буквой Q и измеряют в кДж/кг (в системе МКГСС – в ккал/кг).

Теплоту сгорания газообразного топлива относят обычно к 1 м³, взятому при нормальных условиях (0 °C, 760 мм рт. ст.), и измеряют в кДж/м³.

Теплота сгорания зависит от химического состава топлива и условий его сжигания.

В соответствии с понятием органической, горючей и других масс топлива она может быть отнесена к той или другой из этих масс. Наибольший практический интерес представляет теплота сгорания рабочей массы топлива Q^P .

В продуктах сгорания топлива, содержащего водород и влагу, будет содержаться водяной пар H_2O , обладающий определенной энтальпией, равной примерно 2510 кДж/кг. Наличие в продуктах сгорания топлива водяного пара заставляет ввести понятия высшей теплоты сгорания Q^B .

Высшей теплотой сгорания рабочего топлива называют теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг топлива, считая, что образующиеся при сгорании водяные пары конденсируются.

Низшей теплотой сгорания Q_n рабочего топлива называют теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом теплоты, затраченной на испарение как влаги, содержащейся в топливе, так и влаги, образующейся от сгорания водорода.

Чаще всего теплоту сгорания топлива определяют по формулам, учитывающим, что углерод C , водород H и сера S , участвующие в горении, выделяют определенное количество теплоты.

1.3 Ядерная энергия и механизм тепловыделения

Общие сведения. Ядерная энергия освобождается в виде тепловой в процессе торможения продуктов ядерного деления или синтеза атомных ядер, движущихся с большими скоростями, и поглощения их кинетической энергии веществом теплоносителя.

Полная энергия связи – энергия, необходимая для деления ядра на отдельные протоны и нейтроны, или энергия, выделяющаяся при синтезе ядра из отдельных протонов и нейтронов.

Удельная энергия связи ядра – энергия, приходящаяся на один нуклон (общее название протона и нейтрона).

Деление ядер нейтронами. По скорости движения различают медленные (тепловые) нейтроны, промежуточные

Энергия активации E_a зависит от вида ядер и применяемых «снарядов». Так, ^{235}U , ^{233}U и ^{239}Pu делятся под действием тепловых нейтронов, а ^{232}Th и ^{238}U – при бомбардировке быстрыми нейтронами.

Не все нейтроны, направляемые на мишень, сталкиваются с ее ядрами, а из столкнувшихся не все вызывают соответствующую реакцию.

Если нейтрон не поглощается ядром, а только сталкивается с ним, он теряет часть своей энергии, т.е. замедляется. При замедлении (упругом и неупругом рассеянии энергии) быстрый нейтрон может стать промежуточным, медленным (или тепловым).

Процесс деления ядра проще всего представить с помощью капельной модели. В ядре-капле действуют противоположные силы: электростатическое (кулоновское) отталкивание протонов стремится разорвать ядро-каплю на составные части, а поверхностные силы, обусловленные ядерным взаимодействием нуклонов, противодействуют распаду ядра. Ядро, поглотившее нейтрон, возбуждается и, подобно жидкой капле, начинает колебаться.

Если нейтрон с кинетической энергией захватывается делящимся ядром, то образующееся промежуточное ядро приобретает энергию возбуждения $W_{возб}$, равную

сумме кинетической энергии и энергии связи поглощенного нейтрона в промежуточном ядре. Если $W_{\text{возб}} > E_a$, то ядро делится, если, напротив, то энергия возбуждения передается какой-либо частице, испускаемой ядром. Так как энергия связи существенно зависит от того, является ли число нейтронов в ядре четным или нечетным, Бору удалось вывести правило (правило Бора), согласно которому ядра с нечетным числом нейтронов в основном делятся тепловыми нейтронами, тогда как ядра с четным числом нейтронов делятся только под действием быстрых нейтронов.

Цепные реакции деления ядерных топлив. Для возникновения цепной реакции необходимо, чтобы в каждом последующем акте деления участвовало больше нейтронов, чем в предыдущем. Делящиеся ядерные топлива являются однокомпонентными. Тепловые нейтроны поглощаются делящимися изотопами наиболее интенсивно. Поэтому в атомных реакторах нейтроны замедляются в специальных веществах – замедлителях – в воде, тяжелой воде, бериллии, графите и др.

Кинетическая энергия продуктов реакции, попадающих в вещество теплоносителя, превращается в теплоту. Один килограмм ядерного топлива обеспечивает получение тепловой мощности 2000 кВт в течение года.

Ядерное топливо применяется в реакторах в виде металлических блоков, отличающихся высокой эффективностью использования нейтронов, хорошей теплопроводностью и высоким сопротивлением термическим ударам (внезапным изменениям теплового режима при включении и выключении реактора). Но твердое металлическое ядерное топливо имеет и ряд недостатков: низкую температуру плавления, малую прочность; испытывает фазовые превращения при температуре до 600 °С, что не позволяет применять его в реакторах большой удельной мощности. Для устранения этих недостатков разрабатывают различные виды керамического ядерного топлива – двуокись урана, карбид урана, силицид урана и др.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Перечислите основные невозобновляемые энергетические ресурсы.
- 2) Назовите элементарный состав твердого топлива и виды массы топлива.
- 3) Что является основной характеристикой любого вида топлива?
- 4) Что такое условное топливо?
- 5) Назовите основной принцип получения тепловой энергии на атомных станциях.

ЛЕКЦИЯ 2. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

План лекции:

1. ***Теплота недр Земли и толщи вод морей.***
2. ***Солнечная энергия.***
3. ***Энергия движения воздуха в атмосфере.***
4. ***Гидроэнергетические ресурсы.***
5. ***Вторичные энергоресурсы***

2.1 Теплота недр Земли и толщи вод морей

На планете имеются значительные запасы энергии в виде теплоты земных недр. Энергия глубинной теплоты Земли практически неисчерпаема, и ее использование весьма перспективно. Земля непрерывно отдает в мировое пространство тепло, которое постоянно восполняется за счет распада радиоактивных элементов.

Термальные воды широко применяются для отопления и горячего водоснабжения в ряде стран. Так, столица Исландии – Рейкьявик – почти полностью обогревается теплотой термальных вод. В больших масштабах термальные воды для теплоснабжения используют в Австралии, Новой Зеландии, Италии.

Горячие газы и пар, поднимаясь по трещинам к поверхности Земли, могут встретить воду, которую они нагревают. Нагретая вода выходит на поверхность в виде горячих источников. Эта вода может быть использована на геотермальных электростанциях.

В настоящее время в России на Камчатке проектируются и создаются геотермальные электрические станции (ГеоЭС) общей мощностью 300 МВт.

Геотермальная энергетика России (геотермальные электрические станции и геотермальные тепловые станции) в перспективе может составить ощутимую долю (до 8%) от общей выработки энергии на ТЭС, ТЭЦ, АЭС.

Геотермальная энергетика сегодня – экологически чистые технологии выработки электричества и теплоты. Современные экологически чистые ГеоЭС исключают прямой контакт геотермального рабочего тела с окружающей средой и выбросы вредных парниковых газов (прежде всего CO_2) в атмосферу. С учетом лимитов на выбросы углекислого газа ГеоЭС и ГеоТС имеют заметное экологическое преимущество по сравнению с тепловыми электростанциями, работающими на органическом топливе.

2.2 Солнечная энергия

Солнце обладает огромными запасами энергии. Рассеиваемая в течении года энергия Солнца оценивается фантастической цифрой в $3,48 \cdot 10^{30}$ кВт·ч.

Важнейшее достоинство солнечного излучения – безвредность для окружающей среды процесса превращения его энергии в полезные виды. Более того, если при интенсивном использовании термоядерной энергии существует опасность перегрева атмосферы (по некоторым подсчетам, термоядерное выделение на всей Земле не должно превышать 5 % энергии солнечного излучения, достигающего земной поверхности), то при больших масштабах превращения солнечной энергии в электрическую это явление может даже несколько компенсироваться. Удобно также, что солнечная энергия не нуждается в специальных средствах доставки.

В связи с малой плотностью потока энергии излучения и его неравномерностью из-за смены дня и ночи, перемены погоды необходимо решать и две трудные задачи: концентрацию солнечной энергии и ее накопление (аккумуляция).

2.3 Энергия движения воздуха в атмосфере

Ветер – один из первых источников энергии, освоенных человеком. Запасы ветра в 100 раз превышают запасы гидроэнергии рек, однако в настоящее время двигатели,

использующие энергию ветра, имеют установленную мощность всего 1300 МВт и дают в год около $1 \cdot 10^7$ МВт-ч энергии, что составляет примерно 0,2 мировых потребностей. Составлены национальные программы исследований и разработок по созданию усовершенствованных ветряных двигателей электростанций.

На Земле существуют постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий, которые образуют систему пассатов.

Помимо постоянных движений воздушных слоев существуют периодические движения воздуха с моря на сушу и обратно в течение суток (бризы) и года (муссоны). Происхождение бризов и муссонов обусловлено различными температурами нагрева воды в морях и поверхности суши вследствие их различной теплоемкости.

Неустойчивость ветра приводит к необходимости применения средств аккумуляции энергии. Это удорожает установку, и в целом стоимость получаемой энергии оказывается больше, чем на гидростанциях и на многих тепловых электростанциях.

2.4 Гидроэнергетические ресурсы

Кинетическая энергия движущейся в реках воды есть, образно говоря, освобожденная энергия Солнца (в связи с круговоротом воды в природе). Она возобновляема – на гидроэлектростанциях превращается в электрическую энергию.

Свойство возобновляемости гидроэнергии является важным преимуществом ГЭС. К их преимуществам относятся также:

- небольшая стоимость эксплуатации и отсюда низкая себестоимость энергии, вырабатываемой на ГЭС;
- большая надежность работы, объясняемая отсутствием высоких температур и давлений в гидротурбинах и относительно невысокими скоростями вращения этих турбин и гидрогенераторов;
- высокая маневренность, определяемая небольшим временем, требующимся для включения в работу и набора нагрузки, а также останова ГЭС (это время составляет всего несколько минут).

Строительство ГЭС во многих случаях решает также задачи снабжения водой городов, промышленности и сельского хозяйства (орошение).

Работа ГЭС в отличие от ТЭС не ухудшает санитарного состояния воздушной среды и качество воды в водоемах. Недостатками ГЭС являются их более высокая стоимость и большой срок строительства в сравнении с ТЭС. Однако эти недостатки обычно компенсируются преимуществами ГЭС.

Энергия приливов и отливов. К использованию этих видов энергии в последнее время проявляется значительный интерес.

Наибольшей высоты приливы достигают в некоторых заливах и окраинных морях Атлантического океана – 14... 18 м. В Тихом океане у побережья России максимальные приливы бывают в Пенжинской губе Охотского моря – 12,9 м. У берегов Кольского полуострова в Баренцевом море они не превышают 7 м, но в Белом море, в Мензенской губе, достигают Юм. В окраинных морях Северного Ледовитого океана приливы не велики – 0,2...0,3 м, редко 0,5 м. Во внутренних морях – Средиземном, Балтийском, Черном – приливы почти незаметны.

Значительный интерес представляет энергия приливов и отливов. Наибольшей

высоты приливы достигают в некоторых заливах и окраинных морях.

Доступный для использования потенциал приливов в европейской части России оценивается в 40 млн МВт (16 тыс. МВт среднегодовой установленной мощности), а на Дальнем Востоке – в 170 млн МВт.

Течения и волнения в Мировом океане велики и чрезвычайно разнообразны.

В настоящее время построено несколько мощных электростанций, использующих энергию приливов. Однако большая стоимость сооружения таких станций, трудности, связанные с неравномерностью их работы (пульсирующий характер выдачи мощности), не позволяют пока считать приливные станции достаточно эффективными, в связи с чем развитие их идет медленно.

2.5 Вторичные энергоресурсы

Любой технологический процесс требует определенного расхода топлива, электрической и тепловой энергии; в результате химических реакций, механических воздействий горючие газы, теплоносители, газы и жидкости с избыточным давлением выделяют тепло. Эти энергетические ресурсы, как правило, используются не в полном объеме или не используются вовсе. Неиспользуемые в данном технологическом процессе или установке энергетические отходы получили название вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Долгое время использованию вторичных энергоресурсов не уделялось достаточного внимания, не была в полной мере раскрыта их сущность, отсутствовали методики расчетов ВЭР.

Вторичными энергетическими ресурсами являются энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), которые не могут быть использованы в самом агрегате, но могут частично или полностью использоваться для энергоснабжения других потребителей.

Термин "энергетический потенциал" означает наличие определенного запаса энергии в виде химически связанного тепла, физического тепла, потенциальной энергии избыточного давления и напора, кинетической энергии и др.

Химически связанное тепло продуктов топливопереработки - тывающих установок (нефтеперерабатывающих, газогенераторных, коксовальных, углеобогачительных и др.), а также тепловая энергия отходов, которая используется для подогрева потоков, поступающих в агрегат-источник ВЭР (регенерация, рекуперация), не относятся к вторичным энергетическим ресурсам.

Выход вторичных энергетических ресурсов – это количество вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенную единицу времени и годны к использованию в данный период времени.

Выработкой за счет вторичных энергетических ресурсов называется количество тепла, холода, электроэнергии, полученное за счет ВЭР в утилизационной установке. Выработки за счет ВЭР подразделяются на: возможную выработку, т. е. максимальное количество энергии, которое можно получить при работе установки; экономически целесообразную выработку, т. е. выработку с учетом ряда экономических факторов (себестоимость, затраты труда и т. д.); планируемую выработку – количество энергии, которую предполагается получить в определенный период при вводе вновь или

модернизации имеющихся утилизационных установок; фактическую выработку – энергию, реально полученную за отчетный период.

Использование вторичных энергетических ресурсов – это использованное количество ВЭР данного агрегата в других установках и системах. Использование вторичных энергоресурсов потребителем может осуществляться непосредственно без изменения вида энергоносителя или за счет преобразования его в другие виды энергии, или выработки тепла, холода, механической работы в утилизационных установках.

Тепловые ВЭР – это физическое тепло отходящих газов, основной и побочной продукции, тепло золы и шлаков, горячей воды и пара, отработавших в технологических установках, тепло рабочих тел систем охлаждения технологических установок.

Горючие ВЭР – горючие газы и отходы, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других установках и непригодные в дальнейшем в данной технологии: отходы деревообрабатывающих производств (щепа, опилки, обрезки, стружки), горючие элементы конструкций зданий и сооружений, демонтированных из-за непригодности для дальнейшего использования по назначению, щелок целлюлозно-бумажного производства и другие твердые и жидкие топливные отходы.

К вторичным энергетическим ресурсам избыточного давления относится потенциальная энергия газов, воды, пара, покидающих установку с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу, водоемы, емкости или другие приемники.

Избыточная кинетическая энергия также относится к вторичным энергоресурсам избыточного давления.

Основными направлениями использования вторичных энергетических ресурсов являются: топливное – когда они используются непосредственно в качестве топлива; тепловое – когда они используются непосредственно в качестве тепла или для выработки тепла в утилизационных установках; силовое – когда они используются в виде электрической или механической энергии, полученной в утилизационных установках; комбинированное – когда они используются как электрическая (механическая) энергия и тепло, полученные одновременно в утилизационных установках за счет ВЭР.

Значительное количество горючих ВЭР используется непосредственно в виде топлива, такое же непосредственное применение нашли и тепловые ВЭР, например, горячая вода системы охлаждения для отопления и др.

Необходимо отметить, что изменение схем топливо- и теплопотребления, когда использование энергоресурсов внутри технологических агрегатов улучшилось, а выход вторичных энергоресурсов сократился, не является использованием ВЭР. Такие преобразования схем только усовершенствовали технологический процесс данной установки (агрегата).

При правильном использовании вторичных тепловых энергетических ресурсов, образовавшихся в виде тепла отходящих газов технологических агрегатов, тепла основной и побочной продукции, достигается значительная экономия топлива. Проведенными расчетами установлено, что стоимость тепло - энергии, полученной в утилизационных установках, ниже затрат на выработку такого же количества теплоэнергии в основных энергоустановках.

Выявление выхода и учета возможного использования вторичных энергоресурсов – одна из задач, которую необходимо решать на всех предприятиях и особенно предприятиях с большим расходом топлива, тепловой и электрической энергии.

Использование вторичных энергетических ресурсов не ограничивается лишь энергетическим эффектом – это и охрана окружающей среды, в том числе воздушного бассейна, уменьшение количества выбросов вредных веществ. Некоторые из этих выбросов могут давать дополнительную продукцию, например, сернистый ангидрид, выбрасываемый с отходящими газами, можно улавливать и направлять на выпуск серной кислоты.

Считается целесообразным, если при реконструкции или расширении действующих, а также при проектировании новых предприятий будет предусматриваться разработка мероприятий по использованию ВЭР с обоснованием их экономической эффективности. Отказ потребителей от использования вторичных энергетических ресурсов как на действующих, так и проектируемых предприятиях может быть обоснован только расчетом, подтверждающим экономическую неэффективность или техническую невозможность использования ВЭР.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Перечислите основные возобновляемые энергетические ресурсы.
- 2) Назовите основные виды вторичных энергоресурсов.
- 3) Назовите основные направления использования вторичных энергоресурсов.

ЛЕКЦИЯ 3. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

План лекции:

1. *Энергетические проблемы России. Общие сведения*
2. *Проблема низкого уровня изученности энергоемких секторов промышленности*
3. *Проблема государственного контроля*
4. *Проблема отсутствия единого владельца норм и законов по энергосбережению*
5. *Проблема ложного сопоставления энергоснабжения с энергосбережением*
6. *Проблема отсутствия на предприятиях специалистов по профессиональному энергосбережению*
7. *Проблема отсутствия на предприятиях специалистов по профессиональному энергосбережению*
8. *Проблема лингвистической «пропасти» между профессиональными энергетиками и людьми других специальностей*
9. *Проблема низкой культуры ресурсопотребления населения*
10. *Потенциал энергосбережения*

3.1 Энергетические проблемы России. Общие сведения

Энергетические проблемы в России на современном этапе можно разделить на проблему энергообеспечения и проблему энергосбережения. Естественно, эти проблемы теснейшим образом связаны между собой.

В связанной проблеме энергообеспечения энергосбережения возникают глобальные стратегические вопросы, связанные и с уровнем добычи топлив, КПД тепловых и атомных электростанций, уровнем потерь энергии, т.е. с глобальным потенциалом энергосбережения.

Кроме того, разумеется, имеются и тактические проблемы энергосбережения, связанные с разработкой конкретных энергосберегающих технологий, вопросами учета, контроля и управления энергоресурсами, использованием различного рода регенераций, утилизаций и ВЭР тепловой и химической энергии.

Вопросы энергоснабжения и энергосбережения волнуют все мировые сообщества, при этом разные страны, естественно, имеют свои подходы и возможности в решении этих проблем.

Энергосбережение – актуальный в XXI веке для всего мира и для России вопрос. Энергосбережением в России занимаются не первый год, определенных успехов нашей стране удалось достичь. Но некоторые крупные проблемы не решены и по сей день.

Эффективность энергосбережения зависит от многих факторов и не все из них возможно учесть. Часть проблем имеют значительные масштабы и видны невооруженным взглядом.

3.2 Низкий уровень изученности энергоемких секторов промышленности

По состоянию на 2018 г. в России достаточно подробно изучена проблема энергосбережения и повышения энергоэффективности в ЖКХ и строительстве. По данным направления имеются нормативные документы, предъявляющие жесткие требования практически ко всем параметрам, от которых зависит общая энергоёмкость.

Владельцы зданий и сооружений и сами предъявляют немалый интерес к современным и инновационным методам энергосбережения – удельное энергопотребление в жилищном и офисно-административном секторах постепенно снижается.

Но жилищно-коммунальное хозяйство не является главным потребителем энергетических и водных ресурсов – крупнейшие объемы приходятся на промышленность.

Например, распределение потребителей электроэнергии в России выглядит примерно так:



Если разделить потребителей на население и организации, потенциал энергосбережения в России распределится следующим образом:



Как видим, работа с населением и повышение энергоэффективности в ЖКХ не обеспечивает и 20%-й охват объемов. Для повышения энергоэффективности на уровне государства России категорически важно переориентировать свое внимание на производственные компании.

Наиболее крупными потребителями энергии среди производственных компаний являются предприятия металлургического, горно-добывающего, нефтеперерабатывающего, машиностроительного отраслей. В данных секторах производства имеются предприятия, на которых отдельно взятый агрегат может потреблять топливно-энергетические ресурсы наравне с крупным поселком, а всё предприятие, за календарный год, – как целый город.

С такими предприятиями необходимо работать очень тесно.

В настоящее время энергосбережение в промышленности России отстает от мировых норм сразу по нескольким пунктам, связанным с отсутствием:

требований ежегодного повышения энергоэффективности для предприятий, которые построены более 15 лет назад и имеют значительные отставания в энергоэффективности;

единых форм отчетности по показателям энергоэффективности;

критериев оценки и сопоставления типовых процессов и операций разных предприятий;

публичных данных по показателям энергоэффективности каждой компании;

профессиональных институтов по повышению энергоэффективности промышленного сектора экономики и других важных составляющих.

В сфере ЖКХ один счётчик приходится, примерно, на 10 кВт электрической мощности, промышленности – на каждые 10 МВт. Т.е. плотность коммерческого учета в производственных предприятиях в 1000 раз ниже. Наверное, поэтому на промышленных предприятиях управление энергетическими потоками происходит намного «грубее», чем в офисах и квартирах.

В промышленности можно экономить десятки и сотни миллионов рублей только за счет повышения точности управления потоками энергетических ресурсов.

3.3 Проблема государственного контроля

Государственные требования к показателям энергоэффективности – лояльные как для частных организаций, так и государственных компаний. Энергопотребление непременно создает атмосферные выбросы и загрязнение водоёмов. Почти все граждане России жалуются на прогрессирующее снижение экологичности водоёмов, но в рамках своих служебных обязанностей за сокращением токсичности производственных выбросов и повышения энергоэффективности технологических операций следит не каждый. Для замедления динамики загрязнения окружающей среды и предотвращения развития онкологических и иных заболеваний населения, государство должно включиться в вопрос планирования и управления целями энергопотребления промышленных предприятий в государственной, в первую очередь, и частной собственности более решительно.

3.4 Проблема отсутствия единого владельца норм и законов по энергосбережению

Вопросами энергосбережения в России занимаются сразу несколько федеральных ведомств. При этом, в некоторых случаях, за некоторые показатели энергоэффективности российской промышленности прямо не отвечает ни одно ведомство, а часть показателей эффективности касается сразу нескольких служб. В результате несогласованности по некоторым показателям предприятиям приходится готовить разные по форме отчеты сразу для нескольких надзорных органов, а некоторые важные моменты энергоресурсопотребления остаются неосвещенными полностью. Такая ситуация несомненно создаёт условия для перерасхода топливно-энергетических и водных ресурсов крупными потребителями.

3.5 Проблема ложного сопоставления энергоснабжения с энергосбережением

Энергосбережение и энергоснабжение – это абсолютно разные процессы с в корне различающимися целями. Так же как производство автомобилей не является процессом вождения и соблюдения правил дорожного движения, так и энергоснабжение не является ни составной частью энергосбережения, ни его более широким понятием.

Так как энергопотребление – всегда загрязнение окружающей среды, то энергосбережение любой организации является интересом государства тоже.

При этом государство должно ясно понимать, что вопрос энергосбережения ни в коем случае нельзя отдавать на исполнение лицам, отвечающим за энергоснабжение и технологическое применение энергопотребляющего оборудования, т.к. последним выгодно, чтобы запасы мощности всех потребителей энергии перекрывали фактически требуемые многократно – что, безусловно, всегда приводит к перерасходу ресурсов.

Если для производителей и продавцов топлива и энергии выгодно, чтобы энергопотребления предприятий были высокими, то для предприятий и государства выгодны их постоянные сокращения.

Мы все знаем, что в каждой отрасли экономики имеются более эффективные и менее эффективные предприятия. Это касается и вопроса энергопотребления. В настоящее время существует проблема, что достижение низких удельных энергозатрат одного предприятия не становится публичной информацией, подстегивающей на достижение аналогичных показателей другими компаниями. Чтобы повышение

энергоэффективности стало всеобщей тенденцией, государство должно выступить посредником между предприятиями и разработать единые показатели энергоэффективности типовых технологических процессов и установок, и дать предприятиям инструмент для получения информации о своей энергоэффективности в сопоставлении со смежными предприятиями.

Единые показатели будет сложно выработать за один-два года, но по истечении 3-4 лет, после сбора статистических данных, можно выработать единые показатели, методы оценки эффективности, допустимые значения удельного энергопотребления по однотипным процессам, установкам и сопоставимым производствам. Нормативные показатели энергоэффективности не должны приниматься на десятилетия вперед, отнюдь – актуализироваться каждые 4 года-5 лет.

3.6 Проблема отсутствия на предприятиях специалистов по профессиональному энергосбережению

На абсолютном большинстве предприятий России нет отдельных компетентных и полномочных специалистов по энергосбережению. Относясь к энергоэффективности как к дополнительной обязанности сотрудников служб энергоснабжения, предприятия никогда не дождутся высоких показателей энергоэффективности производства и экономии средств. Некоторые технологические установки предприятий потребляют топливные ресурсы на миллиарды рублей, но специалистов, способных анализировать и повышать энергоэффективность даже для таких установок, у компаний нет.

Объем работ для экспертов по энергосбережению в промышленности огромен. Малозатратные, иногда даже полностью беззатратные мероприятия по повышению энергоэффективности процессов могут сулить химическим, нефтеперерабатывающим предприятиям и компаниям других отраслей многомиллионные и даже миллиардные дополнительные прибыли.

Не смотря на всю актуальность и остроту проблемы перерасхода ресурсов на энергоемких производствах, полномочных специалистов по энергосбережению (в первую очередь теплотехников и теплоэнергетиков) на российских предприятиях до сих пор нет.

3.7 Проблема недостаточной подготовки кадров

Профессиональных энергетиков в России готовят несколько десятков учебных заведений высшего и среднего образования. Но большинство готовящихся в России энергетиков являются электроэнергетиками, а для повышения энергоэффективности в промышленности требуются теплоэнергетики и теплотехнологи, т.к. большинство энергоемких технологических операций в промышленности протекают с проведением теплообменных, массообменных, химических, термодинамических процессов, являющихся профессиональной областью теплотехников.

Передача вопросов энергоэффективности профессиональным электроэнергетикам часто приводит к тому, что оборудование работает надежно, но предприятие несет внушительные убытки из-за круглосуточной, а не периодичной, работы энергопотребляющего оборудования, из-за бесконтрольной подачи окислителя на процессы сжигания и по другим причинам.

Если выделять из общей массы выпускников учебных заведений с энергетической специальностью энергетиков, ориентированных на энергосбережение в промышленности, обнаруживается, что специалисты для энергосбережения в промышленности в России практически не готовятся и проблемы низкой энергоэффективности крупных заводов и фабрик остаются не у дел.

3.8 Проблема лингвистической «пропасти» между профессиональными энергетиками и людьми других специальностей

Энергетика – наукоёмкое направление. Большинство специалистов, проработавших в тесном контакте с энергетиками многие годы, на самом деле, не знают и половину принципов энергетических преобразований, таких как правила Кирхгофа, законы Гюи-Стодоллы, Био-Фурье, уравнение Бернулли и множества других.

Из-за отсутствия конкретных показателей энергоэффективности даже для широко распространенных промышленных процессов и операций анализ энергоэффективности остается трудновыполнимой работой.

Из-за отсутствия закреплённых нормативными документами единых показателей энергоэффективности, незаинтересованности специалистов служб энергоснабжения (первоочередная задача которых обеспечивать надежность снабжения) и отсутствия профессионального «сленга» – разговоры финансистов и энергетиков в России остаются не конструктивными, а факты перерасхода энергии – неучтёнными.

Для оценки эффективности расходования энергетических ресурсов в компаниях специалистам неэнергетического профиля необходимы сравнительные примеры, допустимые нормы, удельные показатели энергоэффективности и другие отправные точки, средства измерения и последующего анализа. Пересмотр показателей и профессиональной терминологии должен пройти под контролем и с непосредственным участием государства.

3.9 Проблема низкой культуры ресурсопотребления населения

В России цены на энергоносители, несмотря на ежегодный рост тарифов, остаются довольно низкими по сравнению с ценами в развитых европейских странах.

У граждан ещё на слуху истории, когда топливо служебных машин сливалось в грунт, так как премии водителей были привязаны к объёму израсходованного топлива.

Большая часть граждан осознают, что в ближайшие 50 лет нефть и газ в стране не закончатся, поэтому о нехватке энергетических ресурсов, фактически, никто не переживает. Халатное отношение людей к топливу, энергетическим и водным ресурсам России создают значительные перерасходы в промышленности, в административно-офисном секторе, в ЖКХ и в целом по стране, создавая не только колоссальные убытки для экономики, но и нарушая право будущих поколений рождаться в экологичной среде.

Культуру потребления ресурсов следует прививать гражданам с раннего возраста и контролировать на протяжении всей жизни.

Т.к. самыми крупными потребителями ресурсов являются промышленные предприятия, внимание к культуре энергопотребления в промышленности следует уделять в первую очередь.

3.10 Потенциал энергосбережения

Энергосбережение – это не только финансовые потоки, цель которых – пополнение бюджета России, но и здоровье населения Земли и сохранение природы.

Постоянное развитие мирового сообщества и потребностей людей ведёт к постоянному росту промышленного производства, очевидно, что вопрос энергосбережения будет всё чаще всплывать даже в такой обеспеченной ресурсами стране как Россия. Реалии будущего потребуют от нас новых навыков, поэтому проблемы текущего периода должны быть решены как можно быстрее.

Проблемы энергосбережения у нас накопились немалые и внимание к ним должно быть соответствующее. Определённая работа по повышению энергоэффективности России как государства уже выполнена, но открытых проблем множество, и их острота не оставляет сомнений.

Чтобы соответствовать мировым стандартам энергоэффективности и не иметь отставаний от других стран в будущем – текущие проблемы энергосбережения России необходимо начинать решать уже сегодня.

Для повышения энергоэффективности России и устранения отставания нашего государства от наиболее продвинутых в вопросах рационального потребления ресурсов стран, необходимо расширить круг рассматриваемых в рамках темы энергосбережения вопросов, наконец разделить понятия энергоснабжение и энергосбережение, привлечь все компании на территории страны к работе над анализом собственной энергоэффективности и начать мотивировать организации и граждан на сознательное использование подаренных нашей Родиной ресурсов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Определите содержание понятий энергосбережение, энергопотребление, энергоэффективность?
- 2) Дайте характеристику основным проблемам энергообеспечения и способов их преодоления.

ЛЕКЦИЯ 4. ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

План лекции:

1. ***Основные понятия и определения технической термодинамики***
2. ***Внутренняя энергия, работа расширения, первый закон термодинамики***
3. ***Теплоемкость, энтальпия и энтропия. второй закон термодинамики***
4. ***Основные термодинамические процессы идеальных газов***
5. ***Реальные газы, вода и водяной пар***
6. ***Круговой процесс. Цикл Карно***

4.1 Основные понятия и определения технической термодинамики

Термодинамика – наука, изучающая энергию и законы ее превращения из одного вида в другой.

Техническая термодинамика – раздел термодинамики, в котором рассматриваются взаимопревращения тепловой и механической энергии с помощью тел, называемых рабочими телами. Она является основой теории работы тепловых

двигателей и других промышленных установок, так или иначе связанных с взаимопревращениями указанных видов энергии.

Преобразование теплоты в механическую работу происходит с помощью рабочего тела. Наиболее эффективны рабочие тела, обладающие резко выраженными упругими свойствами, которые позволяют их значительно деформировать (изменять свой объем) под влиянием механических сил (давления), термических (теплоты) или комбинированных термомеханических воздействий.

Наиболее целесообразными рабочими телами для применения их в различных тепловых устройствах являются газы или пар. Именно они наиболее полно могут быть использованы в процессах преобразования теплоты в механическую работу; так как газы и пар, с одной стороны, легко деформируемы (легко сжимаются, расширяются) под влиянием внешних сил, а с другой стороны, им же свойственны значительные (сравнительно с другими агрегатными состояниями тел) по величине коэффициенты объемного расширения.

Одним из основных в технической термодинамике является понятие о термодинамической системе, представляющей собой совокупность тел, находящихся во взаимодействии как между собой, так и с окружающей средой. Простым примером термодинамической системы может служить газ, расширяющийся или сжимающийся в цилиндре с движущимся поршнем.

Материальные тела, входящие в термодинамическую систему, разделяют на источники теплоты и рабочие тела, которые под воздействием источника теплоты совершают механическую работу.

Для определения конкретных физических условий, в которых находится термодинамическая система, используется ряд показателей, называемых параметрами состояния.

В число основных параметров состояния входят:

абсолютная температура;

абсолютное давление;

удельный объем v .

Последовательность изменения состояния рабочего тела в термодинамической системе называют *термодинамическим процессом*. Основным признаком процесса является изменение хотя бы одного из параметров состояния.

Абсолютная температура является одним из основных параметров, характеризующих тепловое состояние тела, и является мерой степени нагретости тела. Знак разности температур двух неодинаково нагретых тел определяет направление передачи теплоты. Температуру измеряют либо по абсолютной шкале в градусах Кельвина (К) и обозначают буквой T , либо по Международной стоградусной шкале в градусах Цельсия (°C) и обозначают буквой t . Единица деления шкалы Кельвина равна градусу шкалы Цельсия. Соотношение между величинами T и t определяется формулой

$$T = t + 273,15.$$

В США, Канаде и других странах применяют шкалу Фаренгейта, в которой за нуль градусов принята температура смеси равных частей льда и нашатыря. В этой шкале температура таяния льда равна + 32 °F, а температура кипения химически чистой воды

равна + 212 °F. Соотношение между значениями температур, измеренных по шкалам Фаренгейта и Цельсия, будет иметь вид

$$t(^{\circ}\text{F}) = 9/5 t(^{\circ}\text{C}) + 32.$$

Давление (p) в термодинамике определяется как сила, действующая по нормали на единицу поверхности тела. Давление измеряют в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2).

Различают абсолютное и избыточное давление. Под абсолютным понимают действительное давление рабочего тела внутри сосуда. Под избыточным давлением понимают разность между абсолютным давлением в сосуде и давлением окружающей среды. Прибор, служащий для замера этой разности давлений, называют *манометром*.

Если абсолютное давление меньше давления окружающей среды, то разность между ними называют *разрежением* или *вакуумом*. Для измерения его служит вакуумметр – прибор, показывающий разность давления окружающей среды и абсолютного давления газа в сосуде.

В системе СИ за единицу давления принят 1 Паскаль (Па), причем $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

В теплотехнических установках приборы чаще всего градуированы в системе МКГСС, в которой за единицу давления принята атмосфера (ат):

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 104 \text{ кгс/м}^2.$$

С округлением $1 \text{ ат} = 0,1 \text{ МПа}$.

Следует также отметить, что рабочее тело находится при нормальных физических условиях, если давление его равно 1 ат ($p_o = 760 \text{ мм рт. ст.}$, или 101325 Н/м^2), а температура $t_o = 0^{\circ}\text{C}$.

Под удельным объемом (v) рабочего тела понимают объем, занимаемый массой в 1 кг этого тела. Удельный объем измеряют в кубических метрах на килограмм ($\text{м}^3/\text{кг}$).

Под плотностью (ρ) рабочего тела понимают величину, обратную удельному объему, т. е. массу вещества в 1 м^3 рабочего тела. Плотность измеряют в килограммах на кубический метр (кг/м^3).

4.2 Внутренняя энергия, работа расширения, первый закон термодинамики

Известно, что эквивалентность теплоты и работы является опытным подтверждением всеобщего закона сохранения и превращения энергии, согласно которому энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь переходит в различных физических (а также химических) процессах из одного вида в другой.

Закон сохранения и превращения энергии в применении к понятиям термодинамики носит название первого закона термодинамики.

Опыт показывает, что подвод теплоты Q к какому-либо телу (так же, как и отвод теплоты) обычно связан с изменением температуры тела T и его объема V .

Изменение температуры тела обусловлено изменением энергии движения молекул вещества. Этот вид энергии называется внутренней энергией. Она представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий атомов и молекул тела. В общем случае внутренняя энергия тела складывается из кинетической энергии поступательного, вращательного и колебательного движения молекул, потенциальной энергии сил сцепления (отталкивания) между молекулами, внутримолекулярной, внутриатомной и внутриядерной энергии.

Изменение объема тела при нагревании (или охлаждении) связано с работой, которую производят возникающие в этом процессе силы, проявляющиеся в форме давления на поверхность тела. Работа этих сил в процессе подвода теплоты Q называется внешней работой L . Отсюда следует, что затрата теплоты Q при изменении температуры и объема тела связана с изменением внутренней энергии ΔU и совершением внешней работы L , и следовательно, в соответствии с законом сохранения энергии

$$Q = \Delta U + L. \quad (4.1)$$

Соотношение (4.1) называют обычно аналитическим выражением первого закона термодинамики для неподвижного тела. Это выражение устанавливает, что в данном термодинамическом процессе теплота расходуется в двух направлениях: на изменение внутренней энергии и на совершение внешней работы.

В технической термодинамике принимают, что основной формой преобразования теплоты во внутреннюю энергию является изменение кинетической энергии движения молекул (как функции изменения температуры) и потенциальной энергии сил сцепления между молекулами (как функции изменения удельного объема).

Для идеальных газов силы сцепления между молекулами равны нулю, и следовательно, внутренняя энергия таких газов зависит только от их абсолютной температуры.

Работа расширения (сжатия) неподвижного тела проявляется в изменении объема тела V под действием давления p .

Техническая работа. Если теплота сообщается движущемуся в пространстве телу, например потоку газа или пара, текущему по каналу произвольной формы, то получаемая при этом внешняя работа, кроме работы расширения, включает еще и другие виды механической энергии. Каждый элемент объема вытесняет равный ему объем вещества, т. е. совершает так называемую **работу проталкивания**

4.3 Теплостойкость, энтальпия и энтропия. Второй закон термодинамики

Теплостойкость и ее виды. Удельной теплостойкостью называют количество теплоты q , которое требуется для изменения температуры единицы количества вещества на 1 градус.

В зависимости от способа измерения единицы количества вещества, характера термодинамического процесса и величины интервала температур различают несколько видов теплостойкостей.

Теплостойкость зависит от характера процесса и свойств газа. В зависимости от способа подвода теплоты различают теплостойкость при постоянном давлении (изобарную) c_p и теплостойкость при постоянном объеме (изохорную) c_v .

Энтальпия. В ряде случаев целесообразно объединение параметров u (внутренняя энергия идеального газа) и pv в общий калорический параметр, называемый энтальпией, Дж/кг:

$$i = u + pv.$$

Энтальпия – термодинамическая функция, имеющая смысл полной (внутренней и внешней) энергии системы. Она складывается из внутренней энергии u и упругостной энергии pv , обусловленной наличием внешнего давления окружающей среды p т. е. pv –

работа, которую надо затратить, чтобы ввести рабочее тело объемом v в среду, имеющую давление p .

Энтальпия измеряется в тех же единицах, что и теплота, работа и внутренняя энергия, т. е. в Дж/кг.

Второй закон термодинамики. Второй закон термодинамики, как и первый, является опытным законом, основывающимся на многовековых наблюдениях ученых. Однако установлен он был только в середине XIX в.

Наблюдения за явлениями природы показывают, что:

а) возникновение и развитие самопроизвольно протекающих в ней естественных процессов, работа которых может быть использована для нужд человека, возможно лишь при отсутствии равновесия между участвующей в процессе термодинамической системой и окружающей средой;

б) процессы эти всегда характеризуются односторонним протеканием от более высокого потенциала к более низкому (от более высокой температуры к более низкой или от более высокого давления к более низкому);

в) при протекании указанных выше процессов термодинамическая система стремится к тому, чтобы прийти в равновесие с окружающей средой, характеризуемое равенством давления и температуры системы и окружающей среды.

Из наблюдений за явлениями природы следует также, что для того чтобы заставить процесс протекать в направлении, обратном направлению протекания самопроизвольного процесса, необходимо затратить заимствуемую из внешней среды энергию.

Второй закон термодинамики представляет собой обобщение изложенных выше положений и заключается в следующем:

самопроизвольное протекание естественных процессов возникает и развивается при отсутствии равновесия между участвующей в процессе термодинамической системой и окружающей средой;

самопроизвольно происходящие в природе естественные процессы, работа которых может быть использована человеком, всегда протекают лишь в одном направлении – от более высокого потенциала к более низкому;

ход самопроизвольно протекающих процессов происходит в направлении, приводящем к установлению равновесия термодинамической системы с окружающей средой, и по достижении этого равновесия процессы прекращаются;

процесс может протекать в направлении, обратном самопроизвольному процессу, если энергия для этого заимствуется из внешней среды.

Формулировку второго закона термодинамики надо понимать так, что, для того чтобы работала периодически действующая машина, необходимо, чтобы были минимум два источника теплоты различной температуры; при этом в работу может быть превращена лишь часть теплоты, забираемой из высокотемпературного источника, в то время как другая ее часть должна быть передана низкотемпературному источнику.

Физический смысл энтропии. Энтропию нельзя измерить, ее смысл затруднительно продемонстрировать с помощью наглядных пособий, но можно понять по следующим интерпретациям.

Энтропия – мера ценности теплоты: ее работоспособности и технологической эффективности.

Энтропия – мера потери работы вследствие необратимости реальных процессов. Чем больше необратим процесс в изолированной системе, тем больше возрастает энтропия $s_2 >$ и тем большая доля энергии не превращается в работу, рассеивается в окружающую среду.

Энтропия – мера беспорядка. Следовательно, возрастание беспорядка означает возрастание энтропии, рассеивание энергии. При подводе теплоты увеличивается хаотичность теплового движения частиц и энтропия возрастает. Наоборот, охлаждение системы при постоянном объеме есть извлечение из нее теплоты, а следовательно, и упорядоченность системы при этом повышается, а энтропия уменьшается. Такая закономерность позволяет предположить, что при нуле абсолютной температуры тепловое движение полностью прекратится и в системе установится максимальный порядок, т. е. неупорядоченность и энтропия станут равными нулю. Это предположение, неподдающееся опытной проверке, ибо абсолютный нуль температуры недостижим, носит название *третьего закона термодинамики*.

4.4 Основные термодинамические процессы идеальных газов

Для исследования термодинамических процессов вводят понятия о равновесных (обратимых) процессах.

Состояние рабочего тела, при котором давление и температура, а следовательно, и удельный объем во всех его точках не изменяются без внешнего энергетического воздействия во времени, называется равновесным состоянием.

Последовательное изменение состояния рабочего тела, происходящее в результате энергетического взаимодействия рабочего тела с окружающей средой, называется *термодинамическим процессом*. Процесс, при осуществлении которого тело последовательно проходит непрерывный ряд состояний равновесия, называется равновесным.

Основными процессами в технической термодинамике, весьма важными и в теоретическом и в прикладном отношении, являются:

изохорный, протекающий при постоянном объеме;

изобарный, протекающий при постоянном давлении;

изотермический, происходящий при постоянной температуре;

адиабатный, при котором отсутствует теплообмен с окружающей средой;

политропный, удовлетворяющий уравнению

$$pV^n = \text{const.}$$

Первые четыре процесса являются частными случаями политропного процесса.

4.5 Реальные газы, вода и водяной пар

К *реальным газам* в технической термодинамике принято относить перегретые пары некоторых жидкостей. В отличие от воображаемого идеального газа реальный газ, при соответствующих условиях, может быть сжижен, т. е. сконденсирован, или же переведен в твердое состояние.

В технике широко применяют пары различных веществ: воды, аммиака, хлористого метила, сернистого ангидрида и др. Наибольшее применение имеет водяной

пар, являющийся основным рабочим телом паровых двигателей, отопительных и других устройств.

Промежуточное состояние вещества между состоянием реального газа и жидкостью принято называть *парообразным* или просто *паром*. Превращение жидкости в пар представляет собой *фазовый переход* из одного агрегатного состояния в другое. При фазовом переходе наблюдается скачкообразное изменение физических свойств вещества.

Примерами таких фазовых переходов являются процесс *кипения* жидкости с появлением *влажного насыщенного пара* с последующим переходом его в лишенный влаги *сухой насыщенный пар* или обратный кипению процесс *конденсации* насыщенного пара. Во всех этих фазовых переходах существует однозначная связь между давлением и температурой (в данном примере – связь давления с *температурой кипения* или *конденсации*).

Одно из основных свойств сухого насыщенного пара заключается в том, что дальнейший подвод теплоты к нему приводит к возрастанию температуры пара, т. е. переходу его в состояние перегретого пара, а отвод теплоты – к переходу в состояние влажного насыщенного пара. В современной теплоэнергетике основным рабочим телом является *водяной пар*.

На современных крупных тепловых электростанциях основным двигателем является паровая турбина, где в качестве рабочего тела используется водяной пар, который получают в паровых котлах. Процесс парообразования в котлах обычно происходит при постоянном давлении, т.е. $p = \text{const}$.

4.6 Круговой процесс. Цикл Карно

Ранее было показано, что величины работы и количество теплоты в каком-либо произвольном политропном термодинамическом процессе зависят от характера процесса (показателя политропы); знак работы (положительный или отрицательный) зависит от направления процесса (расширения или сжатия).

Если, например, рабочее тело осуществляет последовательно ряд процессов расширения, а затем также последовательно – ряд процессов сжатия, то в итоге рабочее тело совершит так называемый круговой процесс, или термодинамический цикл, описывающий изменение термодинамических параметров рабочего тела и преобразование теплоты в работу в тепловых машинах.

Непрерывность действия тепловой машины обеспечивается тем, что рабочее тело, пройдя последовательно ряд процессов расширения и затем ряд процессов сжатия с изменением давления, объема и температуры, вновь возвращается в исходное состояние и цикл может быть повторен.

Цикл Карно. При исследовании свойств обратимых циклов особое значение имеет цикл, исследованный в 1824 г. французским ученым С. Карно. Цикл Карно состоит в преобразовании теплоты в работу при наличии только двух источников теплоты: верхнего, с температурой T_1 , и нижнего, с температурой $T_2 < T_1$.

Термический КПД цикла Карно полностью определяется только температурами верхнего и нижнего источников теплоты и возрастает с увеличением T_1 , и снижением T_2 . При этом КПД обратимого цикла Карно не зависит от рода теплоносителя и от величины полученной за цикл полезной работы.

Цикл Карно обладает также весьма важным свойством, которое позволяет использовать его как эталонный цикл, так как обратимый цикл Карно имеет наивысший (для данных температур источника и холодильника) термический КПД. Таким образом, можно утверждать, что при данной разности T_1 и T_2 термический КПД любого обратимого цикла не может быть больше КПД обратимого цикла Карно, осуществляемого при тех же температурах T_1 и T_2 .

Это же утверждение может быть сделано и по отношению к любому обратному обратимому циклу, для температурных условий которого цикл Карно будет иметь наибольшие возможные значения холодильного коэффициента эффективности. Для обратных циклов следует иметь в виду, что наиболее эффективным из них будет тот, который для переноса теплоты q_2 с температурного уровня T_2 на T_1 потребует подвода извне наименьшей работы, тогда как для прямого цикла эффективность определяется получением максимальной работы за счет подвода теплоты q_1 .

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Укажите основные параметры состояния рабочего тела и единицы их измерения.
- 2) Чем отличается реальный газ от идеального газа?
- 3) Объясните сущность первого закона термодинамики и напишите его математическое выражение.
- 4) Опишите основные термодинамические процессы и укажите энергобаланс этих процессов.
- 5) Какова сущность второго закона термодинамики? Дайте некоторые формулировки этого закона.
- 6) Что такое цикл Карно? Чем оценивается его эффективность?

ЛЕКЦИЯ 5. ЦИКЛЫ ОСНОВНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

План лекции:

1. *Особенности тепловых электростанций*
2. *Паротурбинные электростанции.*
3. *Влияние КЭС на окружающую среду*
4. *Теплофикационный цикл ТЭЦ*
5. *Газотурбинные установки.*
6. *Атомные электростанции.*

5.1 Особенности тепловых электростанций

Тепловые конденсационные электростанции (КЭС) строят по возможности ближе к местам добычи топлива, удобным для водоснабжения. Их выполняют из ряда блочных агрегатов (котел – турбогенератор – повышающий трансформатор) мощностью от 200 до 1200 МВт, выдающих выработанную энергию в сети 110...750 кВ. Особенность агрегатов КЭС заключается в том, что они недостаточно маневренны: подготовка к

пуску, разворот, синхронизация и набор нагрузки требуют от 3 до 6 ч. Поэтому для них предпочтительным является режим работы с равномерной нагрузкой в пределах от номинальной до нагрузки, соответствующей техническому минимуму, определяемому видом топлива и конструкцией агрегата. Коэффициент полезного действия КЭС составляет 32...40 %. Они существенно влияют на окружающую среду – загрязняют атмосферу, изменяют тепловой режим источников водоснабжения.

Теплофикационные электростанции строят вблизи потребителей тепла, при этом используется обычно привозное топливо. Работают эти электростанции наиболее экономично (коэффициент использования тепла достигает 60...70%) при нагрузке, соответствующей тепловому потреблению и минимальному пропуску пара в часть низкого давления турбин и в конденсаторы. Единичная мощность агрегатов составляет 30... 250 МВт. Станции с агрегатами до 60 МВт включительно выполняются в тепломеханической части с поперечными связями по пару и воде, в электрической части – со сборными шинами 6... 10 кВ и выдачей значительной части мощности в местную распределительную сеть. Станции с агрегатами 100...250 МВт выполняются блочного типа с выдачей мощности в сети повышенного напряжения. Теплофикационные, как и конденсационные электростанции, существенно влияют на окружающую среду.

5.2 Паротурбинные электрические станции

Конденсационные электростанции. На современных тепловых электростанциях большой мощности превращение теплоты в работу производится в циклах, использующих в качестве основного рабочего тела водяной пар высоких давления и температуры. Водяной пар производится парогенераторами (паровыми котлами), в топках которых сжигаются различные виды органического топлива: уголь, мазут, газ и др.

Термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара был предложен в середине XIX в. инженером и физиком У. Ренкиным.

В парогенераторе 1 за счет тепла сжигаемого топлива вода, нагнетаемая в парогенератор насосом 5, превращается в водяной пар, который затем поступает в турбину 2, вращающую электрогенератор 3. Тепловая энергия пара преобразуется в турбине в механическую работу, которая, в свою очередь, преобразуется в генераторе в электроэнергию. Из турбины отработавший пар поступает в конденсатор 4, где конденсируется (превращается в воду). Насос 5 нагнетает конденсат в парогенератор, замыкая таким образом цикл.

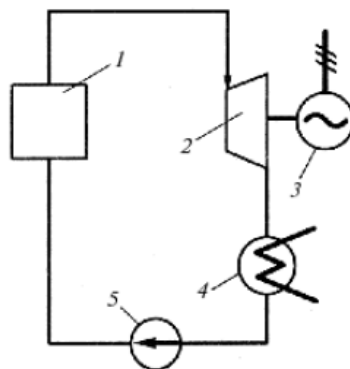


Рисунок 5.1 – Термодинамический цикл Ренкина

Термодинамические исследования цикла Ренкина показывают, что его эффективность в большой степени зависит от начальных и конечных параметров (давления и температуры) пара.

Исследования показывают, что η_2 увеличивается с увеличением начальных параметров пара p_1 и t_1 и уменьшением конечных p_2 и t_2 .

В настоящее время на электростанциях в основном используется пар с давлением $p_1 = 23,5$ МПа (240 кгс/см²) и температурой $t_1 = 565$ °С. На опытных установках применяется пар с $p_1 = 29,4$ МПа (300 кгс/см²) и $t_1 = 600...650$ °С.

Энергоблок КЭС представляет собой как бы отдельную электростанцию со своим основным и вспомогательным оборудованием и центром управления – блочным шитом.

Связей между соседними энергоблоками по технологическим линиям обычно не предусматривается. Построение КЭС по блочному принципу дает определенные технико-экономические преимущества, которые заключаются в следующем:

- облегчается применение пара высоких и сверхвысоких параметров вследствие более простой системы паропроводов, что особенно важно для освоения агрегатов большой мощности;
- упрощается и становится более четкой технологическая схема электростанции, вследствие чего увеличивается надежность работы и облегчается эксплуатация;
- уменьшается, а в отдельных случаях может вообще отсутствовать резервное тепломеханическое оборудование;
- сокращается объем строительных и монтажных работ;
- уменьшаются капитальные затраты на сооружение электростанции;
- обеспечивается удобное расширение электростанции, причем новые энергоблоки при необходимости могут отличаться от предыдущих по своим параметрам.

Технологическая схема КЭС состоит из нескольких систем: топливоподдачи, топливоприготовления, основного пароводяного контура вместе с парогенератором и турбиной, циркуляционного водоснабжения, водоподготовки, золоулавливания и золоудаления и электрической части станции.

Механизмы и установки, обеспечивающие нормальное функционирование вышеуказанных систем, входят в так называемую систему собственных нужд станции (энергоблока).

Наибольшие энергетические потери на КЭС имеют место в основном пароводяном контуре, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий еще большое количество теплоты, отдает ее циркуляционной воде. Теплота с циркуляционной водой уносится в водоемы, т.е. теряется. Эти потери в основном и определяют КПД электростанции, составляющий даже для самых современных КЭС не более 42 %.

Электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, выдается на напряжение 110...220 кВ и лишь часть ее отбирается на собственные нужды через трансформатор собственных нужд, подключенный к выводам генератора.

Наиболее крупные КЭС в настоящее время имеют мощность до 4 млн кВт; также сооружаются электростанции мощностью до 6,4 млн кВт с энергоблоками 500 и 800 МВт. Предельная мощность КЭС определяется условиями водоснабжения и влиянием выбросов станции на окружающую среду.

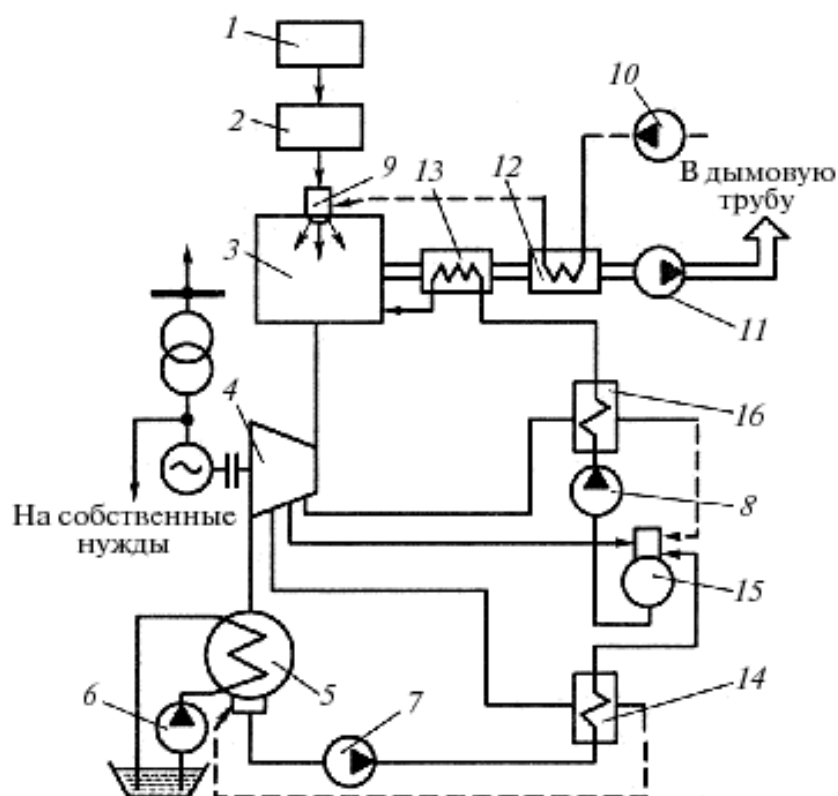


Рисунок 5.2 – Принципиальная технологическая схема энергоблока КЭС:

1 – склад топлива и система топливоподачи; 2 – система топливоприготовления; 3 – котел; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – питательный насос; 9 – горелки котла; 10 – вентилятор; 11 – дымосос; 12 – воздухоподогреватель; 13 – водяной экономайзер; 14 – подогреватель низкого давления; 15 – деаэратор; 16 – подогреватель высокого давления

5.3 Влияние КЭС на окружающую среду

Современные КЭС весьма активно воздействуют на окружающую среду: на атмосферу, гидросферу и литосферу. Влияние на атмосферу сказывается в большом потреблении кислорода воздуха для горения топлива и в выбросе значительного количества продуктов сгорания. Это, в первую очередь, газообразные окислы углерода, серы, азота, часть из которых имеет высокую химическую активность. Летучая зола, прошедшая через золоуловители, загрязняет воздух. Наименьшее загрязнение атмосферы (для станций одинаковой мощности) отмечается при сжигании газа и наибольшее – при сжигании твердого топлива с низкой теплотворной способностью и высокой зольностью. Необходимо учесть большие выбросы теплоты в атмосферу, а также электромагнитные поля, создаваемые электрическими установками высокого и сверхвысокого напряжения.

Конденсационные электростанции загрязняют гидросферу большими массами теплой воды, сбрасываемой из конденсаторов турбин, а также промышленными стоками, хотя они проходят тщательную очистку.

Для литосферы влияние КЭС сказывается не только в том, что для работы станции извлекаются большие массы топлива, отчуждаются и застраиваются земельные угодья,

но и в том, что требуется много места для захоронения больших масс золы и шлаков (при сжигании твердого топлива).

Влияние КЭС на окружающую среду чрезвычайно велико. Например, о масштабах теплового загрязнения воды и воздуха можно судить по тому, что около 20 % теплоты, которая получается в котле при сгорании всей массы топлива, теряются за пределами станции. Учитывая размеры производства электроэнергии на КЭС, объемы сжигаемого топлива, можно предположить, что они в состоянии влиять на климат больших районов страны. В то же время в современных условиях решается задача утилизации части тепловых выбросов путем отопления теплиц, создания подогреваемых прудовых рыбных хозяйств. Золу и шлаки используют в производстве строительных материалов и т.д.

5.4 Теплофикационный цикл ТЭЦ

В тех случаях, когда прилегающие к тепловым электростанциям районы должны потреблять большие количества теплоты, целесообразнее прибегать к комбинированной выработке теплоты и электроэнергии. Установки, служащие для комбинированной выработки тепла и электроэнергии, называют теплоэлектроцентралями, они работают по так называемому теплофикационному циклу.

Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплотой. Являясь, как и КЭС, тепловыми электростанциями, они отличаются от последних использованием теплоты отработавшего в турбинах пара для нужд промышленного производства, а также для отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При такой комбинированной выработке электроэнергии и теплоты достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением теплоты от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением теплоты и электроэнергии. В России в настоящее время на ТЭЦ производится около 30 % всей вырабатываемой электроэнергии.

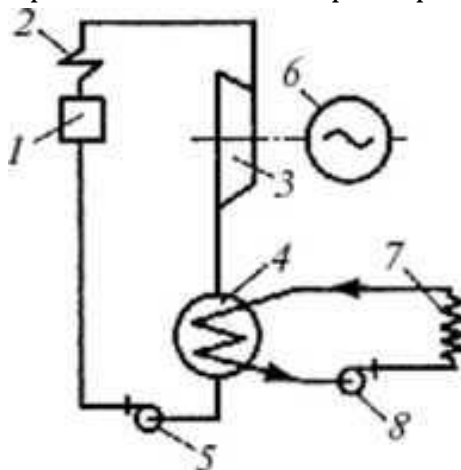


Рисунок 5.3 – Схема простейшей теплофикационной установки:

1 – котел; 2 – пароперегреватель; 3 – генератор; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – потребитель теплоты; 7, 8 – насосы.

Охлаждающая вода под действием насоса 8 циркулирует по замкнутому контуру, в который включен потребитель теплоты. Температура воды на выходе из конденсатора несколько ниже температуры конденсата t , но достаточно высока для обогрева помещений. Конденсат при температуре t_n забирается насосом 8 и после сжатия подается в котел 1. Охлаждающая вода нагревается за счет тепло конденсирующего пара и под напором, создаваемым насосом 7, поступает в отопительную систему 6. В ней нагретая вода отдает теплоту окружающей среде, обеспечивая необходимую температуру помещений. На выходе из отопительной системы охлажденная вода вновь поступает в конденсатор и в нем опять нагревается поступающим из турбины паром.

При наличии более или менее постоянного потребителя производственного пара пользуются турбиной, работающей с противодавлением без конденсатора.

Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рисунке 5.4. Части схемы, которые по своей структуре подобны таковым для КЭС, здесь не показаны. Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура.

При расширении в турбине часть пара с давлением $p_{отб} = 0,9... 1,2$ МПа отбирается и отводится в сетевой пароводяной подогреватель СП, через который сетевым насосом СН прогоняется вода, используемая для отопления зданий и для других нужд городского хозяйства и промышленных предприятий.

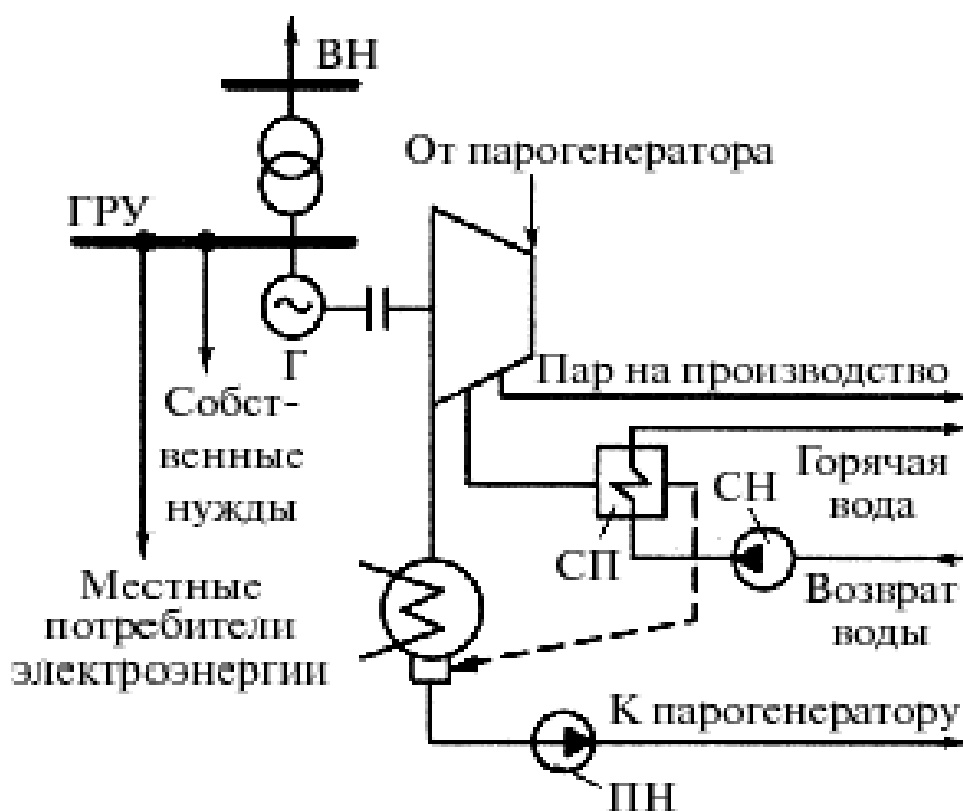


Рисунок 5.4 – Принципиальная технологическая схема электростанции с газовыми турбинами: ГРУ – генераторное распределительное устройство; Г – генератор; СП – сетевой пароводяной подогреватель; СН – сетевой насос; ПН – питательный насос.

На производство пар подается в тех случаях, когда вблизи станции имеются

промышленные предприятия, которым требуется пар для технологического процесса. Количество отбираемого от промежуточных ступеней турбины пара определяется потребностью тепловых потребителей в горячей воде и паре.

Использование для теплофикации частично отработавшего пара из промежуточных ступеней турбины уменьшает количество пара, поступающего в ее конденсатор, а следовательно, и потери теплоты с циркуляционной водой. Все тепло, содержащееся в горячей воде и паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считают полезно отпущенной теплотой.

Коэффициент использования теплоты теплоэлектроцентралей $\eta_{\text{ит}}$, учитывающей отпуск потребителям обоих видов энергии – электрической и тепловой, достигает 60...70% и даже более. Этот показатель характеризует общее использование энергии топлива на теплоэлектроцентралях. Очевидно, что экономичность работы теплоэлектроцентрали зависит от величины отбора пара на теплофикацию. С уменьшением количества пара, поступающего в конденсаторы теплофикационных турбин, Коэффициент использования топлива теплоэлектроцентрали возрастает.

Всю теплоту, содержащуюся в горячей воде и паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считают полезно отпущенной теплотой.

Коэффициент использования теплоты ($\eta_{\text{ит}}$) теплоэлектроцентралей, учитывающий отпуск потребителям данных видов энергии – электрической и тепловой, – составляет 70 % и более. Этот показатель характеризует общее использование энергии топлива на ТЭЦ. Очевидно, что экономичность работы ТЭЦ зависит от величины отбора пара на теплофикацию. С уменьшением количества пара, поступающего в конденсаторы теплофикационных турбин, КПД теплоэлектроцентрали возрастает.

Минимально возможное количество пара, проходящего последние ступени турбины и поступающего в конденсатор, указывается заводом-изготовителем турбины из соображений работы ее последних ступеней. В случае полного отсутствия отпуска теплоты в теплофикационную сеть турбины работают в конденсационном режиме, при этом КПД станции обычно не превышает 35 %.

Из сказанного следует, что наиболее экономичным режимом работы ТЭЦ является ее работа по графику теплового потребления, т.е. при регулировании поступления пара в турбины соответственно отбору его на теплофикацию при минимальном пропуске пара в конденсатор.

Так как режимы работы тепловых и электрических потребителей различны, то осуществление указанного режима работы ТЭЦ возможно только при ее параллельной работе с другими электростанциями энергосистемы – тепловыми и гидроэлектрическими.

Специфика электрической части ТЭЦ определяется расположением электростанции вблизи центров электрических нагрузок. В этих условиях часть мощности может выдаваться в местную сеть непосредственно на генераторном напряжении. С этой целью на электростанции создается обычно генераторное распределительное устройство ГРУ (см. рис. 4.8). Избыток мощности выдается, как и в случае с КЭС, в энергосистему на повышенном напряжении.

Существенной особенностью ТЭЦ является также повышенная мощность теплового оборудования по сравнению с электрической мощностью электростанции.

Это обстоятельство предопределяет больший относительный расход электроэнергии на собственные нужды, чем на КЭС.

Теплоэлектростанции размещают преимущественно в крупных промышленных центрах и поэтому к ним предъявляют повышенные требования по охране окружающей среды. Так, для уменьшения вредных выбросов ТЭЦ целесообразно, где это возможно, использовать в первую очередь газообразное или жидкое топливо, а также высококачественные угли.

5.5 Газотурбинные установки

В отличие от паротурбинного цикла (паросилового цикла Ренкина для водяного пара), в циклах газотурбинных установок (ГТУ) рабочим телом служат нагретые до высокой температуры сжатые газы. В качестве таких газов чаще всего используют смесь воздуха и продуктов сгорания жидкого (или газообразного) топлива.

Технологическая схема электростанции с газовыми турбинами (ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$) представлена на рисунке 5.5. Воздушный компрессор К сжимает атмосферный воздух, повышая его давление с p_1 до p_2 , и непрерывно подает его в камеру сгорания КС. Туда же специальным насосом непрерывно подается необходимое количество жидкого или газообразного топлива. Образующиеся в камере продукты сгорания выходят из нее с температурой T_3 и практически с тем же давлением p_2 (если не учитывать сопротивления), что и на выходе из компрессора ($p_2 = p_3$).

Следовательно, горение топлива (т.е. подвод теплоты) происходит при постоянном давлении.

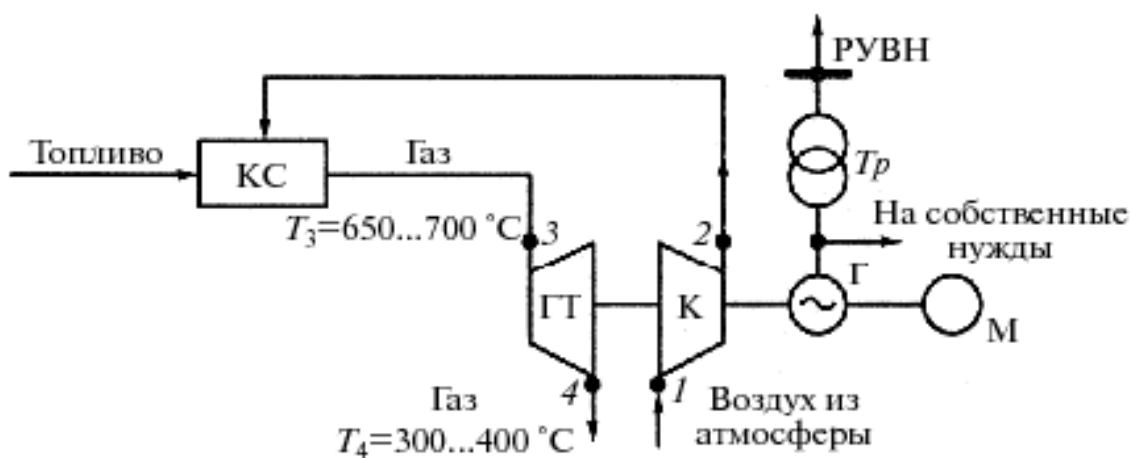


Рисунок 5.5 – Цикл ГТУ: 1, 2 – вход и выход воздуха в компрессоре; 3, 4 – вход и выход газа в турбине; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; К – компрессор; Г – генератор; Т – трансформатор; РУВН – распределительное устройство высокого напряжения; М – пусковой двигатель.

Максимальная температура газов перед турбиной ограничивается жаропрочностью металла, из которого делают ее основные элементы. Для авиационных двигателей эта температура составляет 1100... 1200 °C, а для стационарных 750... 850 °C. Поэтому приходится сознательно идти на снижение температуры горения топлива (за счет подачи излишнего количества воздуха).

При определении оптимального значения λ для заданной начальной температуры газа стремятся не только к более высокому КПД, но и к минимальному расходу газа на

единицу вырабатываемой мощности. Чем меньше этот расход, тем меньше размеры турбины и компрессора, а следовательно, размеры всей установки. Значение l , отвечающее максимуму g_j , не совпадает со значением l , отвечающим минимуму расхода газа.

Оптимальные значения l находятся в диапазоне 3...6, в некоторых случаях 10... 12.

Основу современных газотурбинных электростанций России составляют газовые турбины мощностью 25... 100 МВт.

В последние годы для электроснабжения газовых и нефтяных месторождений получили широкое распространение газотурбинные электростанции мощностью 2,5...25,0 МВт.

5.6 Парогазовые установки

Высокий уровень температур при подводе теплоты в газотурбинной установке и низкий уровень отвода теплоты в паротурбинной установке привели к развитию комбинированного парогазового цикла, который применяется при разнообразных сочетаниях двух рабочих тел: газа и водяного пара. Парогазовый цикл содержит газотурбинную ступень в области высоких температур и паротурбинную в области низких. Отработавший в газовой турбине газ отдает свою теплоту в паротурбинной ступени для целей промежуточного перегрева пара, для нагрева питательной воды, получения пара низкого давления в котле-утилизаторе и др.

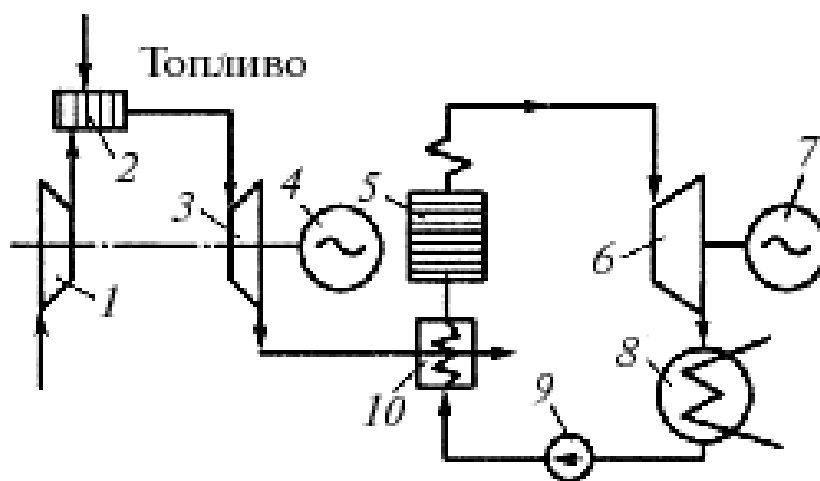


Рисунок 5.6 – Схема парогазовой установки:

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4, 7 – электрогенераторы; 5 – котлоагрегат; 6 – паровая турбина; 8 – конденсатор; 9 – насос; 10 – подогреватель.

В камеру сгорания 2 подается топливо и компрессором 1 – сжатый воздух. Продукты сгорания, отработав в газовой турбине 3, поступают в подогреватель 10, где нагревают питательную воду, поступающую в котел, и удаляются в атмосферу. Перегретый пар, получаемый в котлоагрегате 5, расширяется в паровой турбине 6 и конденсируется в конденсаторе 8. Конденсат насосом 9 перекачивается в подогреватель 10, где нагревается и поступает затем в котел. Полезная мощность, вырабатываемая газовой и паровой турбинами, передается генераторам электрического тока 4 и 7.

Соотношение между количеством отработавших газов и количеством подогреваемой питательной воды определяется из условия, что количество теплоты, отдаваемой отработавшими газами, должно равняться количеству теплоты, необходимой для подогрева питательной воды до расчетной температуры.

В парогазовой установке термический КПД общего цикла больше, чем КПД каждого из составных циклов (газового и пароводяного), следовательно, наибольшего из них. Цикл строится для 1 кг воды и соответствующего количества газа на 1 кг воды, определяемого из теплового баланса подогревателя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Опишите принципиальную тепловую схему ТЭС и основной принцип ее работы.
- 2) Перечислите основные способы увеличения КПД тепловой паротурбинной станции.
- 3) Укажите основной термодинамический принцип теплофикации на ТЭЦ.
- 4) Опишите принцип действия газотурбинной установки.
- 5) В чем заключается принцип работы парогазовой установки?

ЛЕКЦИЯ 6. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (АЭС)

План лекции:

- 1. Характеристика АЭС**
- 2. Топливо АЭС**
- 3. Типы реакторов АЭС**
- 4. Схемы АЭС**
- 5. Преимущества АЭС**

6.1 Характеристика АЭС

Атомные электростанции (АЭС) – это по существу тепловые электростанции, которые используют тепловую энергию ядерных реакций.

Атомные электростанции могут быть сооружены в любом географическом районе, в том числе и труднодоступном, но при наличии источника водоснабжения. Количество (по массе) потребляемого топлива (уранового концентрата) незначительно, что облегчает требования к транспортным связям. Атомные электростанции состоят из ряда агрегатов блочного типа, выдающих энергию в сети повышенного напряжения. Агрегаты, в особенности на быстрых нейтронах, не маневренны, так же как и агрегаты КЭС. По условиям работы и регулирования, а также по технико-экономическим соображениям предпочтительным является режим с относительно равномерной нагрузкой. Атомные электростанции предъявляют повышенные требования к надежности работы оборудования. Коэффициент полезного действия АЭС составляет 35-38 %. Практически АЭС не загрязняют атмосферу. Выбросы радиоактивных газов и аэрозолей незначительны, что позволяет сооружать АЭС вблизи городов и центров нагрузки. Трудной проблемой является захоронение или восстановление отработавших топливных элементов.

6.2 Топливо АЭС

Возможность использования ядерного топлива, в основном урана ^{235}U , в качестве источника теплоты связана с осуществлением цепной реакции деления вещества и выделением при этом огромного количества энергии. Самоподдерживающаяся и регулируемая цепная реакция деления ядер урана обеспечивается в ядерном реакторе. Ввиду эффективности деления ядер урана ^{235}U при бомбардировке их медленными тепловыми нейтронами пока преобладают реакторы на медленных тепловых нейтронах. В качестве ядерного горючего используют обычно изотоп урана ^{235}U , содержание которого в природном уране составляет 0,714%; основная масса урана – изотоп ^{238}U (99,28 %). Ядерное топливо используют обычно в твердом виде. Его заключают в предохранительную оболочку. Такого рода тепловыделяющие элементы называют ТВЭЛами, их устанавливают в рабочих каналах активной зоны реактора. Тепловая энергия, выделяющаяся при реакции деления, отводится из активной зоны реактора с помощью теплоносителя, который прокачивают под давлением через каждый рабочий канал или через всю активную зону. Наиболее распространенным теплоносителем является вода, которую тщательно очищают.

Реакторы с водяным теплоносителем могут работать в водном или паровом режиме. Во втором случае пар получается непосредственно в активной зоне реактора.

При делении ядер урана или плутония образуются быстрые нейтроны, энергия которых велика. В природном или слабо обогащенном уране, где содержание ^{235}U невелико, цепная реакция на быстрых нейтронах не развивается. Поэтому быстрые нейтроны замедляют до тепловых (медленных) нейтронов. В качестве замедлителей используют вещества, которые содержат элементы с малой атомной массой, обладающие низкой поглощающей способностью по отношению к нейтронам. Основными замедлителями являются вода, тяжелая вода, графит.

В настоящее время наиболее освоены реакторы на тепловых нейтронах. Такие реакторы конструктивно проще и легче управляемы по сравнению с реакторами на быстрых нейтронах. Однако перспективным направлением является использование реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством ядерного горючего – плутония; таким образом может быть использована большая часть ^{238}U .

6.3 Типы реакторов АЭС

На атомных станциях России используют ядерные реакторы следующих основных типов:

РБМК (реактор большой мощности, канальный) – реактор на тепловых нейтронах, водо-графитовый;

ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) – реактор на тепловых нейтронах, корпусного типа;

БН – реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

Единичная мощность ядерных энергоблоков достигла 1500 МВт.

В настоящее время считается, что единичная мощность энергоблока АЭС ограничивается не столько техническими соображениями, сколько условиями безопасности при авариях с реакторами.

Действующие в настоящее время АЭС по технологическим требованиям работают главным образом в базовой части графика нагрузки энергосистемы с продолжительностью использования установленной мощности 6500...7000 ч/год.

6.4 Схемы АЭС

Технологическая схема АЭС зависит от типа реактора, вида теплоносителя и замедлителя, а также от ряда других факторов. Схема может быть одноконтурной, двухконтурной и трехконтурной.

На рис. 4.12 в качестве примера представлена двухконтурная схема АЭС для электростанций с реактором типа ВВЭР. Видно, что эта схема близка к схеме КЭС, однако вместо парогенератора на органическом топливе здесь используется ядерная установка.

Атомные электростанции так же, как и КЭС, строятся по блочному принципу как в тепломеханической, так и в электрической части.

Ядерное топливо обладает очень высокой теплотворной способностью (1 кг ^{235}U заменяет 2900 т угля), поэтому АЭС особенно эффективны в районах, бедных топливными ресурсами, например в европейской части России.

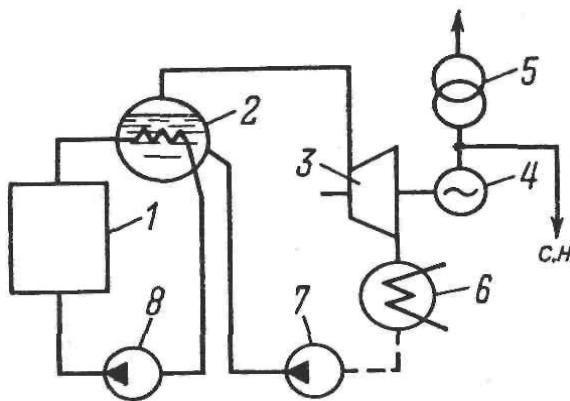


Рисунок 6.1 – Технологическая схема АЭС с реактором типа ВВЭР:

1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – турбина; 4 – трансформатор; 5 – генератор; 6 – конденсатор турбины; 7 – конденсатный (питательный) насос; 8 – главный циркуляционный насос.

Перспективными являются АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, которые могут использоваться для получения теплоты и электроэнергии, а также и для воспроизводства ядерного топлива. Реактор типа БН имеет активную зону, где происходит ядерная реакция с выделением потока быстрых нейтронов. Эти нейтроны воздействуют на элементы из ^{238}U , который обычно в ядерных реакциях не применяется, и превращают его в плутоний ^{239}Pu , который может быть впоследствии использован на АЭС в качестве ядерного топлива. Теплота ядерной реакции отводится жидким натрием и используется для выработки электроэнергии.

Схема АЭС с реактором типа БН (рисунок 6.2) трехконтурная, в двух из них используется жидкий натрий (в контуре реактора и промежуточном). Жидкий натрий бурно реагирует с водой и водяным паром. Поэтому, чтобы избежать при авариях контакта радиоактивного натрия первого контура с водой или водяным паром, выполняют второй (промежуточный) контур, теплоносителем в котором является

нерадиоактивный натрий. Рабочим телом третьего контура являются вода и водяной пар.

В настоящее время в эксплуатации находится ряд энергоблоков типа БН, из них наиболее крупный БН-600.

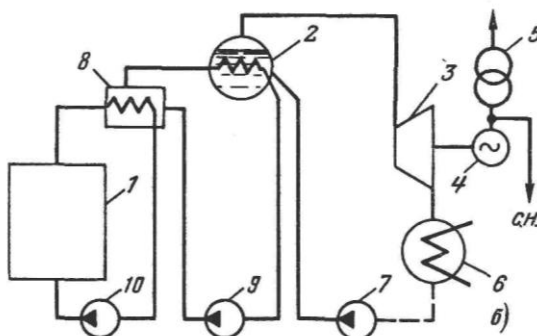


Рисунок 6.2 – Технологическая схема АЭС с реактором типа БН:

1 – реактор; 2 – теплообменник первого контура; 3 – теплообменник (барабан) второго контура; 4 – паровая турбина; 5 – повышающий трансформатор; 6 – генератор; 7 – конденсатор; 8, 9, 10 – насосы.

6.5 Преимущества АЭС

Атомные электростанции не имеют выбросов дымовых газов и не имеют отходов в виде золы и шлаков. Однако удельные тепловыделения в охлаждающую воду у АЭС больше, чем у ТЭС, вследствие большего удельного расхода пара, а следовательно, и больших удельных расходов охлаждающей воды. Поэтому на большинстве новых АЭС предусматривается установка градирен, в которых теплота от охлаждающей воды отводится в атмосферу.

Особенностью АЭС является необходимость захоронения радиоактивных отходов. Это делается в специальных могильниках, которые исключают возможность воздействия радиации на людей.

Применение атомной энергии позволяет расширить энергетические ресурсы, способствуя этим сохранению ресурсов органического топлива, снизить стоимость электрической энергии, что особенно важно для районов, удаленных от источников топлива, снизить загрязнение атмосферы, разгрузить транспорт, занятый перевозкой топлива, помочь в снабжении электроэнергией и теплотой производств, использующих новые технологии (например, занятых опреснением морской воды и расширением ресурсов пресной воды). Что касается загрязнения среды, то при использовании АЭС отпадает проблема нехватки кислорода в среде, которая характерна для тепловой электростанции по причине его использования для горения органического топлива. Отсутствует выброс с дымовыми газами золы. В связи с проблемой борьбы с загрязнением воздушной среды важно отметить целесообразность внедрения также атомных ТЭЦ, так как ТЭЦ обычно располагаются вблизи тепловых потребителей, промышленных узлов и крупных населенных пунктов, где чистота среды особенно необходима.

При работе АЭС, не потребляющих органическое топливо (уголь, нефть, газ), в атмосферу не выбрасываются окислы серы, азота, углекислый газ. Это позволяет снизить парниковый эффект, ведущий к глобальному изменению климата.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Дайте характеристику АЭС. Перечислите основные типы реакторов АЭС.
- 2) Опишите принцип действия АЭС с различными типами реакторов.
- 3) Как АЭС воздействуют на окружающую среду?

ЛЕКЦИЯ 7. ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, СОЛНЕЧНЫЕ И ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

План лекции:

1. *Классификация ГЭС*
2. *Схема создания напора и основное оборудование ГЭС*
3. *Энергия и мощность ГЭС*
4. *Общие сведения о ветроэнергетике*
5. *Ветроэнергетические установки*
6. *Солнечные электростанции*

7.1 Классификация ГЭС

Гидроэлектрические станции – это высокоэффективные источники электроэнергии. В большинстве случаев гидроэлектростанции представляют собой объекты комплексного назначения, обеспечивающие нужды электроэнергетики и других отраслей народного хозяйства: мелиорации земель, водного транспорта, водоснабжения, рыбного хозяйства и пр.

Гидроэлектрическая станция – это комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия водотока преобразуется в электрическую энергию. Она состоит из гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание сосредоточенного напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в электрическую энергию.

В зависимости от напора ГЭС подразделяют: на высоконапорные (более 80 м), средненапорные (от 25 до 80 м) и низконапорные (до 25 м).

Принято называть совокупность гидротехнических сооружений, энергетическое и механическое оборудование *гидроэнергетической установкой* (ГЭУ).

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

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

Гидроэлектростанции могут быть сооружены там, где имеются гидроресурсы и условия для строительства, что часто не совпадает с расположением потребителей электроэнергии. При сооружении ГЭС обычно преследуют решение комплекса задач, а именно: выработки электроэнергии, улучшения условий судоходства, орошения. Единичная мощность гидроагрегатов достигает 640 МВт. Электрическую часть выполняют по блочным схемам генераторы – трансформаторы с выдачей мощности в

сети повышенного напряжения. Гидроагрегаты высокоманевренны: разворот, синхронизация с сетью и набор нагрузки требуют от 1 до 5 мин. Гидроэлектростанция может быть использована для работы в пиковой части суточного графика системы с частыми пусками и остановами агрегатов. Коэффициент полезного действия ГЭС составляет 85-87%. Гидроэлектростанции существенно влияют на водный режим рек, рыбное хозяйство, микроклимат в районе водохранилищ, а также на лесное и сельское хозяйства, поскольку создание водохранилищ связано с затоплением значительных полезных для народного хозяйства площадей.

Гидроаккумулирующие электростанции предназначены для выравнивания суточного графика энергосистемы по нагрузке. В часы минимальной нагрузки они работают в насосном режиме (перекачивают воду из нижнего водоема и запасают энергию); в часы максимальной нагрузки энергосистемы агрегаты ГАЭС работают в генераторном режиме, принимая на себя пиковую часть нагрузки. Гидроаккумулирующие электростанции сооружают в системах, где отсутствуют ГЭС или их мощность недостаточна для покрытия нагрузки в часы пик. Их выполняют из ряда блоков, выдающих энергию в сети повышенного напряжения и получающих ее из сети при работе в насосном режиме. В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. Она за счет потребляемой энергии перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний и создает запасы гидроэнергии за счет **повышения** уровня верхнего бьефа. Агрегаты высокоманевренны и могут быть быстро переведены из насосного режима в генераторный или в режим синхронного компенсатора. Коэффициент полезного действия ГАЭС составляет 70... 75 %. Их сооружают там, где имеются источники водоснабжения и местные геологические условия позволяют создать напорное водохранилище.

В настоящее время в России работает Загорская ГАЭС мощностью 1200 МВт, ведется проектирование других ГАЭС.

В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как гидроэлектростанция. Вода из верхнего бьефа пропускается через турбины в нижний бьеф, и ГАЭС вырабатывает и выдает электроэнергию в энергосистему. В процессе работы ГАЭС потребляет дешевую электроэнергию, а выдает более дорогую энергию в период пика нагрузки (за счет разности тарифов). Заполняя провалы нагрузки в энергосистеме, она позволяет работать агрегатам атомных и тепловых станций в наиболее экономичном и безопасном режиме, резко снижая при этом удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии в энергосистеме.

Насосная станция предназначена для перекачки воды с низких отметок на высокие и транспортирования воды в удаленные пункты. На ней устанавливаются насосные агрегаты, состоящие из насоса и двигателя. Насосная станция является потребителем электроэнергии.

Насосные станции используются для водоснабжения тепловых и атомных станций, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения, а также в ирригационных системах, в судоходных каналах, пересекающих водоразделы и т. п.

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются *плотина*, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т.е. *напор*, и *здание* ГЭС, в котором размещаются гидротурбины, генераторы, электрическое и механическое

оборудование. В случае необходимости строятся водосбросные и судоходные сооружения, рыбопропускные сооружения и т.п.

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

Гидроэлектростанции как источник электрической энергии имеют существенные преимущества перед тепловыми и атомными электростанциями. Они лучше приспособлены для автоматизации и требуют меньшего количества эксплуатационного персонала. Показательны следующие средние значения удельной численности персонала станций различного вида на 1 млн кВт установленной мощности: для ГЭС – 300, для ТЭС – 1400, для АЭС – 1800 чел. Но это только на самой станции, а еще нужно добавить трудозатраты на добычу и транспортирование топлива, в итоге требуемая Удельная численность персонала на 1 млн кВт для ТЭС (АЭС) в среднем составляет 2500 чел.

В России построены и эксплуатируются крупные ГЭС: каскад Волжских ГЭС мощностью 2530 МВт и менее, Братская ГЭС – 4500 МВт, Красноярская ГЭС – 6000 МВт, Саяно-Шушенская 1 ГЭС – 6400 МВт и др.

В настоящее время в мире и России большой интерес вызывает 1 возможность создания малых ГЭС мощностью до 30 МВт. Они могут создаваться в короткие сроки с использованием унифицированных гидроагрегатов и строительных конструкций с высоким уровнем автоматизации систем управления. Экономическая эффективность их использования существенно возрастает при комплексном использовании малых водохранилищ (восстановления объема водохранилища, рыбоводство, водозаборы для систем орошения и водоснабжения и т.п.).

Приливные электростанции (ПЭС) сооружаются на побережье морей и океанов со значительными приливо-отливными колебаниями уровня воды. Для этого естественный залив отделяется от моря плотиной и зданием ПЭС. При приливе уровень моря будет выше уровня воды в отделенном от него заливе, а при отливе, наоборот, ниже, чем уровень воды в заливе. Перепады этих уровней создают напор, который используется при работе гидротурбин ПЭС.

В некоторых морских заливах приливы достигают 10... 12 м, а наибольшие приливы наблюдаются в заливе Фанди (Канада) – до 19,6 м.

Технические ресурсы приливной энергии России оцениваются в 200...250 млрд кВт ч в год и в основном сосредоточены у побережья Охотского, Берингова и Белого морей.

7.2 Схема создания напора на ГЭС

Наиболее эффективное использование энергии водотока возможно при концентрации перепадов уровней воды на относительно коротком участке. Для использования падения уровней рек, распределенных по значительной длине водотока, прибегают к искусственному сосредоточению перепада, что может быть осуществлено

различным способами.

Различают три основные схемы:

- *плотинная*, при которой напор создается плотиной;
- *деривационная*, где напор создается преимущественно с помощью деривации (отведения, отклонения), выполняемой в виде канала, туннеля или трубопровода;
- *комбинированная*, в которой напор создается плотиной и деривацией.

Плотинная схема (рисунок 7.1, в) предусматривает создание напора уровня водотока путем сооружения плотины. Образующееся при этом водохранилище может использоваться в качестве регулирующей емкости, позволяющей периодически накапливать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

В гидроузлах, осуществленных по плотинной схеме создания напора, различают русловые и приплотинные здания станций.

Гидроэлектростанция с русловым зданием характеризуется тем, что ее здание входит в состав водоподпорных сооружений и воспринимает давление воды со стороны верхнего бьефа. Конструкция здания в этом случае должна удовлетворять всем требованиям устойчивости и прочности, предъявляемым к плотинам. Размеры здания, в частности его высота, определяются напором, поэтому ГЭС с русловыми зданиями строятся при сравнительно небольших напорах – до 40 м (каскад Волжских ГЭС).

Гидроэлектростанция с приплотинным зданием характеризуется тем, что ее здание располагается за плотиной и не воспринимает давление воды. На крупных современных гидроэлектростанциях такого типа напор достигает до 300 м (Красноярская ГЭС).

Деривационная схема (рисунок 7.1, г) позволяет получить сосредоточенный перепад путем отвода воды из естественного русла по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон. Благодаря этому уровень воды в конце водовода оказывается выше уровня воды в реке; эта разность уровней и является напором гидроэлектростанции.

Сооружение деривационных ГЭС оказывается целесообразно в горных условиях при больших уклонах рек и относительно малых расходах воды; тогда при небольшой протяженности и малой площади сечения деривационного водовода можно получить большой напор (1000 м и более) и соответственно большую мощность.

Комбинированная схема (рисунок 7.1, б) предусматривает создание напора посредством использования напора как плотины, так и деривационных сооружений.

На всех гидроэлектростанциях, осуществленных по любой из указанных выше схем, механическая энергия движущихся масс воды преобразуется в электрическую с помощью гидротурбин и гидрогенераторов, размещенных вместе с многочисленным вспомогательным оборудованием в зданиях станции.

Гидротурбины. Основным энергетическим оборудованием ГЭС являются гидротурбины и генераторы.

Гидравлической турбиной называется машина, преобразующая энергию движения воды в механическую энергию вращения ее рабочего колеса. Гидротурбины подразделяются на два класса: активные и реактивные. Турбина называется *активной*, если используется только кинетическая энергия потока, и *реактивной*, если используется и потенциальная энергия при реактивном эффекте.

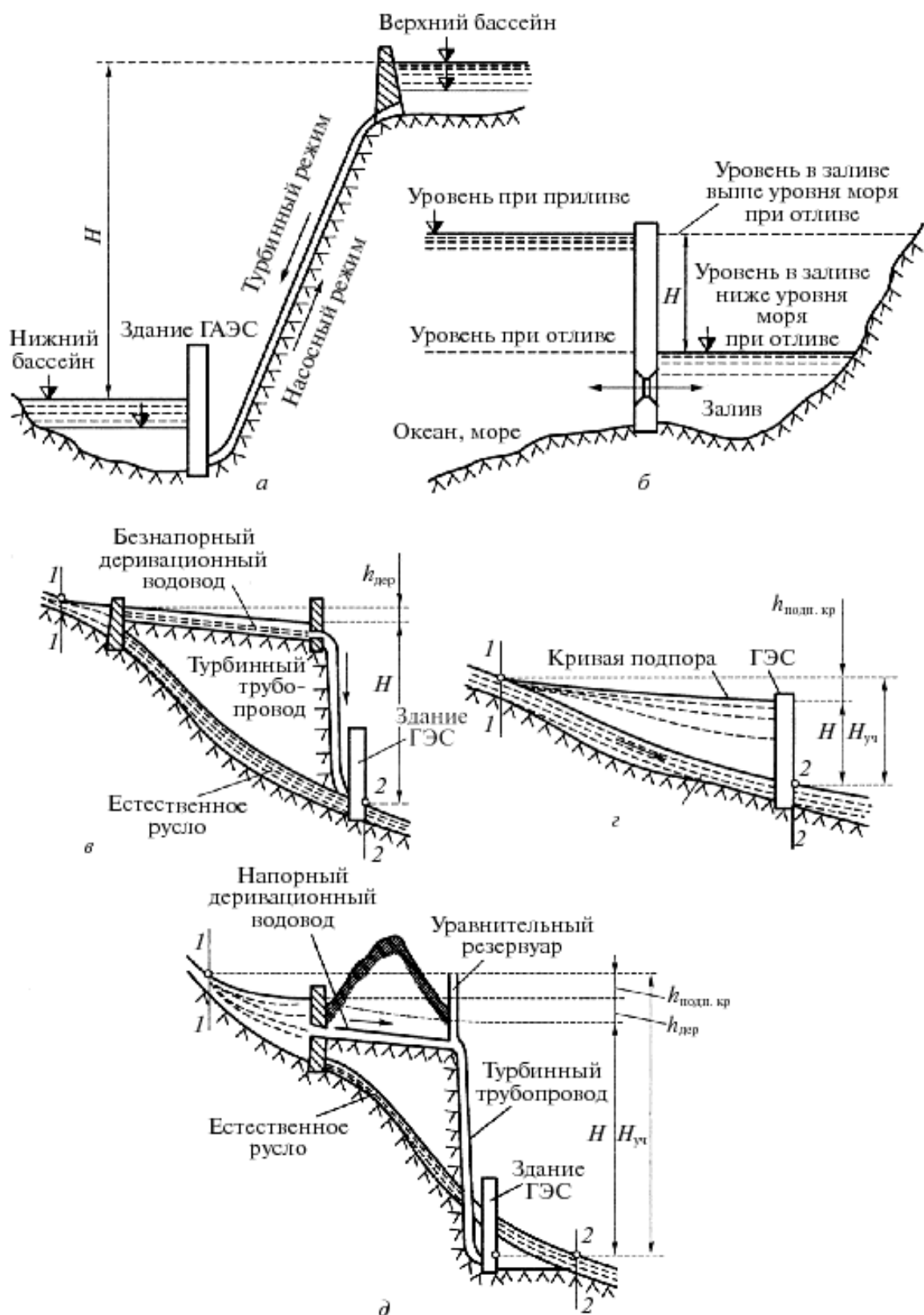


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема создания напора: а – на ГАЭС; б – на ПЭС; в – на деривационной ГЭС; г – на платинной ГЭС; д – на комбинированной ГЭС; 1-1, 2-2 – сечения соответственно верхнего и нижнего бьефов.

Наиболее распространенными активными гидротурбинами являются ковшовые. В ковшовой активной турбине потенциальная энергия гидростатического давления в суживающейся насадке – сопле – полностью превращается в кинетическую энергию дви-

жения воды. Рабочее колесо турбины выполнено в виде диска, по окружности которого расположены ковшеобразные лопасти 6 (рисунок 7.2, а, б). Вода, огибая поверхности лопастей, меняет направление движения. При этом возникают центробежные силы, действующие на поверхности лопастей, и энергия движения воды преобразуется в энергию вращения колеса турбины.

В *реактивной гидравлической турбине* на лопастях рабочего колеса преобразуется как кинетическая, так и потенциальная энергия воды в механическую энергию турбины. Вода, поступающая на рабочее колесо 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.

За счет кривизны лопастей изменяется направление потока воды, при котором, как и в активной турбине, кинетическая энергия воды в результате действия центробежных сил превращается в механическую энергию турбины. Рабочее колесо реактивной турбины в отличие от активной полностью находится в воде, т.е. поток воды поступает одновременно на все лопасти рабочего колеса. Различные конструкции рабочих колес реактивных турбин показаны на рис. 7.2, в–ж.

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.

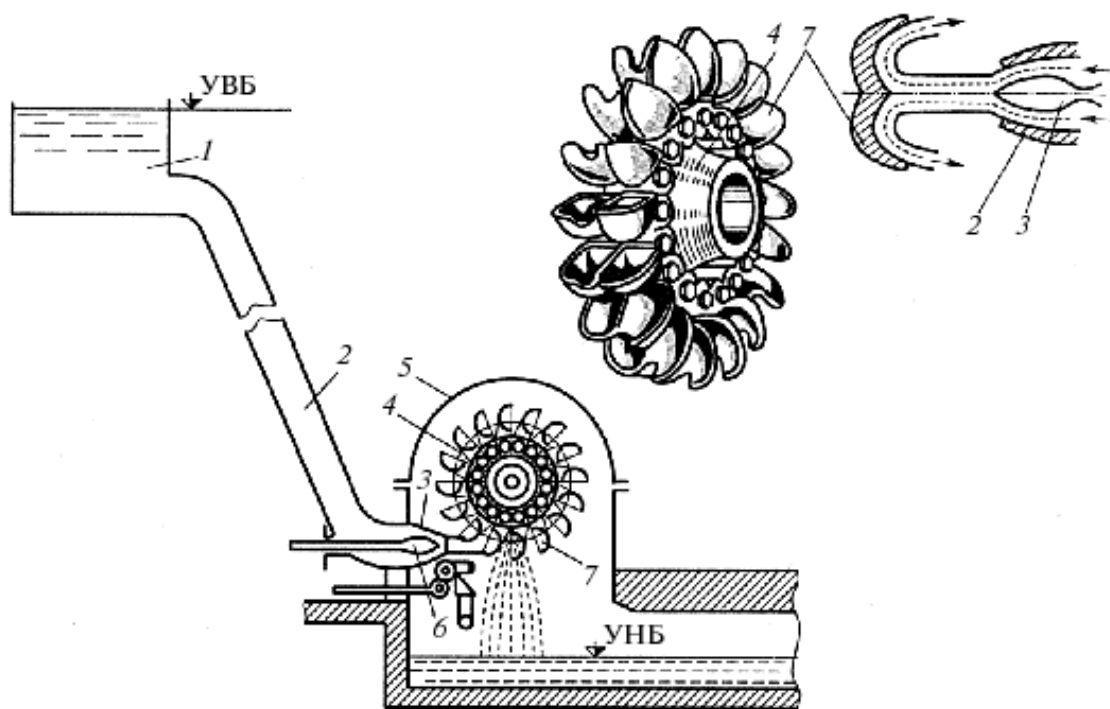
Пропеллерные турбины обладают простой конструкцией и высоким КПД, однако у них с изменением нагрузки КПД резко уменьшается.

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

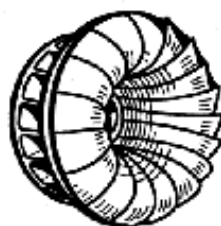
Двухперовые турбины имеют спаренные рабочие лопасти, что позволяет повысить расход воды. Широкое применение их ограничено конструктивными сложностями. Сложная конструкция свойственная также *диагональным турбинам*, у которых рабочие лопасти поворачиваются относительно своих осей.

Радиально-осевые турбины установлены на Братской, Красноярской и других ГЭС. Поворотно-лопастными турбинами оборудованы Куйбышевская, Волгоградская, Каховская, Кременчугская и другие ГЭС.

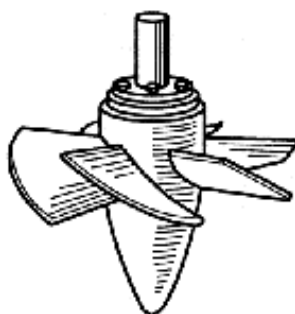
На электрических станциях турбина и генератор связаны общим валом. Частоты их вращения не могут выбираться произвольно. Они зависят от числа пар полюсов ротора генератора и частоты переменного тока, которая должна соответствовать стандартной. Кроме того, необходимо учитывать, что при небольших частотах 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.



a



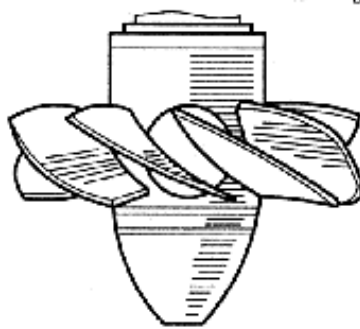
б



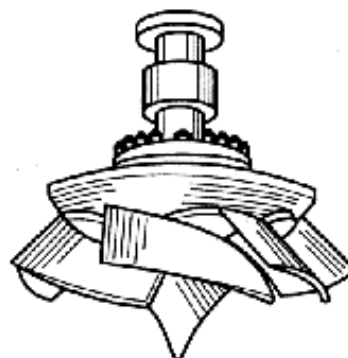
в



г



д



е

Рисунок 7.2 – Схема работы ковшовой турбины (*a*) и виды рабочих колес радиально-осевой (*б*), пропеллерной (*в*), поворотнo-лопастной (*г*), двухперовой (*д*) и диагональной (*е*) реактивных гидротурбин: 1 – бассейн верхнего уровня (бьефа); 2 – турбинный трубопровод; 3 – сопло; 4 – рабочее колесо; 5 – кожух; 6 – регулировочная игла; 7 – лопасти (ковши)

Разнообразие природных условий, в которых сооружаются ГЭС, определяет разнообразие конструктивного исполнения турбин. Мощности турбин изменяются от нескольких киловатт до 640 МВт.

В последнее время стали применяться горизонтальные агрегаты (капсульные), в которых генератор заключен в герметичную капсулу, обтекаемую водой. У таких агрегатов КПД больше 95 % . благодаря лучшим гидравлическим условиям обтекания.

При сооружении ГЭС обычно решают комплекс народнохозяйственных задач, в который помимо выработки электрической энергии входит регулирование стока воды и улучшение судоходства реки, создание орошаемых массивов, развитие энергоемких производств, использующих местное сырье, и т.д.

7.3 Энергия и мощность ГЭС

Годовая выработка электроэнергии ГЭС не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от объема стока, поступившего в водохранилище, степени его регулирования и условий эксплуатации ГЭС. При годичном регулировании годовая выработка электроэнергии ГЭС, как правило, существенно колеблется в основном за счет энергоотдачи в паводковый период.

При многолетнем регулировании неравномерность выработки электроэнергии по годам бывает незначительной.

Очевидно, что электрическая мощность, подведенная к потребителю, меньше мощности, производимой гидроэлектростанцией. Сумму всех потерь при передаче электрической мощности от ГЭС к потребителю и при многократных преобразованиях ее в повышающих и понижающих трансформаторах можно оценить с помощью КПД системы передачи и преобразований $\eta_{\text{пер}}$. Обычно $\eta_{\text{пер}} = 0,92...0,93$.

Установленная мощность ГЭС $N_{\text{уст}}$ определяется как сумма номинальных (паспортных) мощностей имеющихся на ней генераторов. Она соответствует максимальной мощности, которую может развить гидроэлектростанция.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Перечислите основные типы ГЭС.
- 2) Какие параметры характеризуют водоток?
- 3) Какие виды гидротурбин используются на ГЭС?

ЛЕКЦИЯ 8. СОЛНЕЧНЫЕ И ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

План лекции:

- 1. Общие сведения о ветроэнергетике**
- 2. Ветроэнергетические установки**
- 3. Солнечные электростанции**
- 4. Типы солнечных коллекторов**

8.1 Общие сведения о ветроэнергетике

Энергия ветра на земном шаре оценивается в 175...219тыс. ТВт-ч в год, при этом развиваемая им мощность достигает (20... 25)·10⁹ кВт. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Считают, однако, что полезно может быть использовано только 5 % этой энергии. В настоящее же время эта цифра значительно

меньше. Использовать ветер, т.е. энергию движения воздуха, человек начал еще в глубокой древности.

Постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий образуют систему пассатов. Общая циркуляция атмосферы происходит главным образом из-за вращения Земли, при котором под действием центробежной силы воздушные массы отбрасываются в районе экватора в верхние слои атмосферы. На место ушедших масс воздуха с севера и юга приходят новые воздушные слои.

Помимо постоянных движений воздушных слоев существуют периодические движения воздуха с моря на сушу и обратно в течение суток (бризы) и в течение года (муссоны). Происхождение бризов и муссонов обусловлено различным нагревом воды и суши вследствие их разной теплоемкости.

При использовании энергии ветра в современных условиях стремятся учесть опыт тех стран, в которых ветряные двигатели издавна широко применялись, особенно в Дании и Голландии – классических странах ветряных мельниц.

Многие видные русские исследователи, такие как профессор Н.Е. Жуковский и академик С. А. Чаплыгин, внесли большой вклад в развитие ветряных двигателей.

Ветроэнергетика – отрасль науки и техники, разрабатывающая теоретические основы, методы и средства использования энергии ветра для получения механической, электрической и тепловой энергии (ветротехника) и определяющая области и масштабы целесообразного использования ветровой энергии в народном хозяйстве.

Использование энергии ветра осуществляется с помощью специальных установок.

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – это комплекс технических устройств для преобразования кинетической энергии ветрового потока в какой-либо другой вид энергии. Ветроэнергетическая установка состоит: из ветроагрегата (ветродвигатель в комплекте с одной или несколькими рабочими машинами); устройства, аккумулирующего энергию или резервирующего мощность; в ряде случаев дублирующего двигателя (чаще теплового); систем автоматического управления и регулирования режимов работы установки.

Различают ветросиловые установки и ветроэлектрические станции.

Ветродвигателем называют двигатель, использующий кинетическую энергию ветра для выработки механической энергии. Различают ветродвигатели крыльчатые (наиболее распространенные) с коэффициентом использования энергии ветра до 0,48, карусельные (роторные) с коэффициентом использования не более 0,15 и барабанные.

В основном ветродвигатели применяют в ветроэлектрических станциях.

В настоящее время ветроэнергетика – одна из самых бурно развивающихся отраслей мировой электроэнергетики. В 1960 – 1970-с гг. большинство эксплуатируемых в Европе ВЭУ имело мощность до 20 кВт, затем – от 100 до 250 кВт; средняя мощность ВЭУ, выпущенных в 2002 г. в Германии, составила 1100 кВт. Тенденция роста единичных мощностей ВЭУ, по-видимому, сохранится и далее. Так, фирма «De Wind» планирует создание агрегатов мощностью 3... 5 МВт. По прогнозам общая мировая мощность ВЭУ к 2006 г. составит более 36 000 МВт.

Современные мощные ВЭУ более экономичны, у них ниже стоимость 1 кВт установленной мощности. Ветроколесо мощных ВЭУ находится на большой высоте, где скорость ветра выше. Выше у них и коэффициент удельной выработки электроэнергии

являющийся обобщенной характеристикой ВЭУ.

Считается целесообразной установка ВЭУ в местах, где среднегодовая скорость ветра составляет более 5 м/с.

Важным шагом в развитии ветроэнергетики в России, обладающей огромным потенциалом, можно считать сдачу в эксплуатацию в 2002 г. самого крупного ветропарка в стране мощностью 5,1 МВт (одна установка мощностью 600 кВт и 20 – по 225 кВт), построенного в Калининградской области. Кроме того, построена Анадырская ВЭС (Чукотка) мощностью 2,5 МВт (10 агрегатов по 250 кВт) и строится Элистинская ВЭС (Калмыкия) мощностью 22 МВт (22 агрегата по 1 МВт).

8.2 Ветроэнергетические установки (ВЭУ)

В ВЭУ чаще всего используются: синхронные и асинхронные (генераторы), реже асинхронизируемые синхронные генераторы.

Уровень шума крупных ВЭУ непосредственно у основания башни не превышает 100 дБ. Обычно для энергетических целей используют кинетическую энергию приземного слоя воздуха высотой не более 200 м с максимальной его плотностью ρ . При этом для повышения мощности единичной ВЭУ с заданным диаметром ротора стремятся увеличить высоту башни, так как скорость ветра увеличивается с высотой.

Преобразование кинетической энергии ветра в электрическую происходит с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ), которые можно классифицировать по следующим признакам:

- по мощности – малые (до 10 кВт), средние (от 10 до 100 кВт), крупные (от 100 до 1000 кВт), сверхкрупные (более 1000 кВт);
- числу лопастей рабочего колеса – одно-, двух-, трех- и многолопастные;
- отношению рабочего колеса к направлению воздушного потока – с горизонтальной осью вращения, параллельной вектору скорости (рис. 6.2, а), или с вертикальной осью вращения, перпендикулярной вектору скорости (ротор Дарье) (рис. 6.2, б).

В настоящее время в мире и в России наибольшее распространение получили трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения, в состав которых входят следующие основные компоненты: рабочее колесо 1, гондола с редуктором и генератором 2, башня 3 и фундамент 4.

Башня – чаще трубообразная, реже – решетчатая, на ней в гондоле размещается основное энергетическое, механическое и вспомогательное оборудование ВЭУ, в том числе рабочее колесо или ротор с лопастями, преобразующий энергию ветра в энергию вращения вала, редуктор для повышения частоты вращения вала ротора и генератор. Лопастей ротора могут быть жестко закреплены на его втулке или изменять свое положение в зависимости от скорости ветра для повышения полезной мощности ВЭУ.

Чем больше расчетная скорость ветра, тем больше эффективность ВЭУ. Обычно в качестве расчетной скорости применяется среднегодовая скорость ветра, которая относительно мало меняется по годам. В то же время скорость ветра в течение года может существенно меняться во времени (как в течение суток, так и года в целом).

В ветроэнергетических расчетах учитывается также и «роза ветров», т.е. характерные направления скоростей ветра в данной точке в течение года. Особое значение «роза ветров» приобретает в случае строительства ветропарков или

ветроэлектростанций (ВЭС), состоящих из нескольких ВЭУ (десятков – сотен) в данной местности.

Для оценки перспективности ВЭУ в данной местности или регионе необходимо знать его валовые, технические и экономические ветроэнергетические ресурсы. Для России в целом указанные виды ресурсов соответственно равны: 80000, 6218 и 31 ТВт-ч. На сегодняшний день практическое использование указанных ресурсов ветра в России незначительно. Обычно в мировой практике принято считать, что если среднегодовая скорость ветра в данной местности превышает 6 м/с, то использование ВЭУ там весьма перспективно.

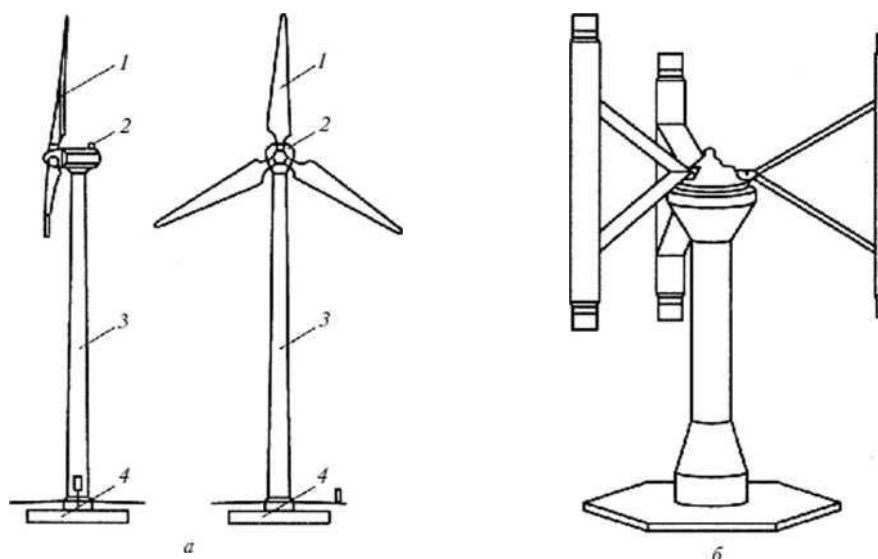


Рисунок 8.1 – Виды ветроэнергетических установок: а – ВЭУ с горизонтальной осью вращения; б – ВЭУ с вертикальной осью вращения; 1 – рабочее колесо; 2 – гондola с редуктором и генератором; 3 – 4 – фундамент установки

Для среднегодовых скоростей ветра от 3 до 6 м/с необходимы детальные технико-экономические расчеты, в том числе и учет условий использования ВЭУ – в объединенной или локальной системе электроснабжения или для питания автономного потребителя, а также конкретные социально-экологические и экономические характеристики рассматриваемого региона.

Весьма перспективным для России представляется совместное использование ВЭУ и дизельных энергоустановок (ДЭУ), которые в настоящее время составляют основы локальных систем электроснабжения обширных северных и приравненных к ним территорий страны.

Использование энергии ветра в России весьма незначительно, хотя в стране имеется хороший производственный потенциал для разработки серийных или массовых ВЭУ любой мощности (от сотен ватт до 1 МВт).

Весьма ощутимы успехи развития ветроэнергетики в мире, где ежегодный прирост мощности в последнее пятилетие составил 30 % и более в разных странах.

8.3 Солнечная энергетика

Лучистая энергия Солнца, поступающая на Землю, представляет собой самый

значительный источник энергии, которым располагает человечество. Поток солнечной энергии на земную поверхность эквивалентен $1,2 \cdot 10^{14}$ т условного топлива. Солнце, как и другие звезды, является раскаленным газом. В его составе 82% водорода, 17 % гелия, остальные элементы составляют около 1 %. Внутри Солнца существует область высокого давления, где температура достигает 15... 20 млн °С. Кислород на Солнце имеется в незначительном количестве, поэтому процессы горения, понимаемые в обычном смысле, не протекают сколько-нибудь заметно. Огромная энергия образуется на Солнце за счет синтеза легких элементов водорода и гелия.

Одна из проблем использования солнечной энергии заключается в том, что наибольшее количество ее поступает летом, а наибольшее потребление энергии происходит зимой.

Солнечная энергетика – отрасль науки и техники, разрабатывающая основы, методы и средства использования солнечного излучения или солнечной радиации для получения электрической, тепловой и других видов энергии и использования их в народном хозяйстве.

Солнечное излучение (СИ) – это процесс переноса энергии при распределении электромагнитных волн в прозрачной среде. По квантовой теории электромагнитные волны – это поток элементарных частиц и фотонов с нулевой массой покоя, движущихся в вакууме со скоростью света.

Земля находится от Солнца на расстоянии примерно 150 млн км. Площадь поверхности Земли, облучаемой Солнцем, составляет около $500 \cdot 10^6$ км². Поток солнечной радиации, достигающей Земли, по разным оценкам составляет $(7,5 \dots 10) \cdot 10^7$ кВт ч/год, что значительно превышает ресурсы всех других возобновляемых источников энергии.

Солнечное излучение на поверхность Земли зависит от многих факторов: широты и долготы местности, ее географических и климатических особенностей, состояния атмосферы, высоты Солнца над горизонтом, размещения приемника СИ на Земле по отношению к Солнцу и т.д.

Поток солнечного излучения на Землю меняется, достигая максимума в 2200 кВт ч/м² в год для северо-запада США, запада Южной Америки, части юга и севера Африки, Саудовской Аравии и Центральной части Австралии. Россия находится в зоне, где поток СИ меняется в пределах от 800 до 1400 кВт ч/м² в год. При этом продолжительность солнечного сияния в России находится в пределах от 1700 до 2000 ч/год. Максимум указанных значений на Земле составляет более 3600 ч/год. За год на всю территорию России поступает солнечной энергии больше, чем энергия от всех российских ресурсов нефти, газа, угля и урана.

В мире сегодня солнечная энергетика весьма интенсивно развивается и занимает важное место в топливно-энергетическом комплексе ряда стран, например в Германии. В этой стране и в некоторых других развитых и развивающихся странах принят ряд законов на государственном уровне, которые дают существенную поддержку развитию нетрадиционных возобновляемых источников энергии и, в частности, солнечной энергетике.

Солнечная энергия на Земле используется с помощью солнечных энергетических установок, которые можно классифицировать по следующим признакам:

- виду преобразования солнечной энергии в другие виды энергии – теплоту или электричество;
- концентрированию энергии – с концентраторами и без концентраторов;
- технической сложности – простые (нагреватели воды, сушилки, нагревательные печи, опреснители и т.п.) и сложные.

Первый вид установок базируется в основном на системе преобразования солнечного излучения в теплоту, которая чаще всего используется в обычных схемах тепловых электростанций. К ним относятся: башенные солнечные электростанции, солнечные пруды, солнечные энергетические установки с параболоцилиндрическими концентраторами.

Второй вид базируется на прямом преобразовании солнечного излучения в электроэнергию с помощью солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ).

Солнечные коллекторы (СК) – это технические устройства, предназначенные для прямого преобразования СИ в тепловую энергию в системах теплоснабжения для нагрева воздуха, воды или других жидкостей. Системы теплоснабжения принято разделять на пассивные и активные. Самыми простыми и дешевыми являются пассивные системы теплоснабжения, которые для сбора и распределения солнечной энергии используют специальным образом сконструированные архитектурные или строительные элементы зданий и сооружений и не требуют дополнительного специального оборудования.

В настоящее время в мире все большее распространение получают активные системы теплоснабжения со специально установленным оборудованием для сбора, хранения и распространения энергии СИ, которые по сравнению с пассивными *позволяют* значительно повысить эффективность использования СИ, обеспечить большие возможности регулирования тепловой нагрузки и расширить область применения солнечных систем теплоснабжения в целом.

Солнечные коллекторы классифицируют по следующим признакам:

- назначению – для горячего водоснабжения, для отопления;
- виду теплоносителя – жидкостные и воздушные;
- продолжительности работы – сезонные и круглогодичные;
- техническому решению – одно-, двух- и многоконтурные.

Сегодня наиболее распространены плоские водонагреватели или СК, позволяющие использовать как прямую, так и диффузную составляющие СИ, которая весьма значительна в условиях России.

Такой СК представляет собой теплоизолированный с тыльной стороны к СИ и боков ящик (рис. 6.3). Внутри него расположены теплопоглощающие каналы, по которым движется теплоноситель. Сверху СК закрыт светопроницающим материалом. Циркуляция теплоносителя (чаще всего воды) в таком подогревателе может осуществляться принудительно с помощью небольшого насоса или естественным путем за счет разности гидростатических давлений в столбах холодной и горячей воды.

Обычный солнечный водоподогреватель для нагрева воды до 60 °С, в котором облучаемая поверхность ориентирована на юг под углом 25...35° к горизонту имеет дневную производительность в среднем 70...80 л воды с 1 м² поверхности нагревателя.

В ряде стран мира солнечные коллекторы систем теплоснабжения стали обычным

атрибутом жизни. Технологии эффективного нагрева воды для бытовых целей с помощью СИ достаточно хорошо отработаны. Например, в США более 60 % находящихся в среднем на широте Крыма частных и общественных бассейнов обогревается за счет СИ. При этом используются простейшие и дешевые системы – бесстекольные, без тепловой изоляции, пластиковые.

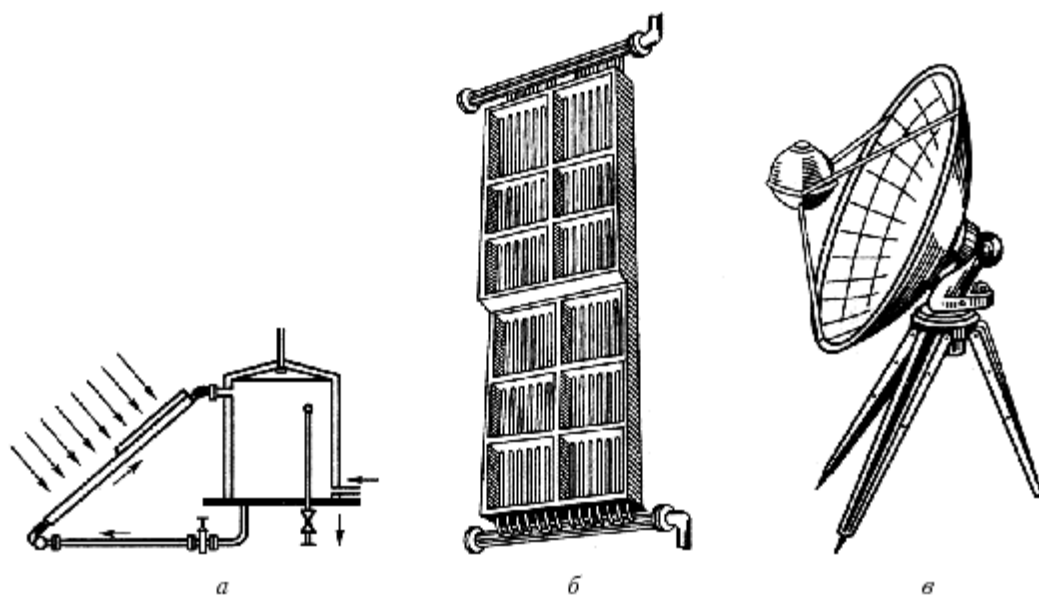


Рисунок 8.2 – Солнечный водонагреватель: а – схема установки; б – секция солнечного водонагревателя; в – параболический концентратор СИ

Солнечные фотоэлектрические установки в настоящее время находят все более широкое распространение и применение как источники энергии для средних и малых автономных потребителей, а иногда и для больших солнечных электростанций, работающих в энергосистемах параллельно с традиционными ТЭС, ГЭС и АЭС. Конструктивно СФЭУ обычно состоит из солнечных батарей в виде плоских прямоугольных поверхностей, работа которых состоит в преобразовании энергии СИ в электрическую энергию. Электрический ток в фотоэлектрическом генераторе возникает в результате процессов, происходящих в фотоэлементах при попадании на них СИ. Наиболее эффективны фотоэлектрические генераторы, основанные на возбуждении электродвижущей силы (ЭДС) на границе между проводником и светочувствительным полупроводником (например, кремний) или между разнородными проводниками.

Фотоэнергетика сделала очень большие шаги в решении двух основных проблем: повышении КПД СФЭУ и снижении стоимости их производства.

Наибольшее распространение получили СФЭУ на основе кремния трех видов.

В последние годы появился весьма перспективный конкурент для кремния в СФЭУ – арсенид галлия. Установки на его основе даже в однослойном исполнении имеют КПД до 30 % при гораздо более слабой зависимости КПД от температуры, поскольку во время работы СФЭУ поверхности их сильно нагреваются, что приводит к снижению энергетических показателей. Для охлаждения таких установок необходимо использовать охлаждающую воду.

В настоящее время СФЭУ с успехом используются в ряде стран мира, особенно в Японии, Германии и США.

По экспертным оценкам, вновь вводимая за год мощность СФЭУ в мире в 2005 г. составит 200 МВт, а в 2010 г. – 700 МВт при среднегодовом приросте около 25 %.

Сегодня в России имеются достаточная научная база для развития фотоэнергетики и мощное промышленное производство, которое способно создавать любые современные СФЭУ.

8.4 Типы солнечных коллекторов

Конструкция плоского типа. Состоит из абсорбера – элемента для поглощения солнечных лучей, прозрачного покрытия, слоя термоизоляции. Солнечные лучи проходят через верхнее защитное стекло и нагревают поглотитель. Тепло сохраняется внутри панели и греет теплообменные трубки, в которых происходит циркуляция теплоносителя. Плоские коллекторы надо размещать под углом 90 градусов к падающим солнечным лучам.

Вакуумный коллектор. Содержит определенное количество коаксиальных или перьевых трубок. Первые по строению напоминают термос. Каждая коаксиальная трубка состоит из двух герметично спаянных между собой колб. Между их стенками вакуум и поглощающий слой. Перьевая трубка – это одна колба с толстыми стенками. Внутри тепловой канал с пластиной из абсорбирующего материала и вакуум. Воздушный. Состоит из двух пластин. Между ними по лабиринту проходит воздух и нагревается. Потом он через отверстие в стене попадает в помещение. устройство может работать с вентилятором, насосом и автономно. Концентратор. Многофункциональное оборудование, состоящее из комплекса устройств.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Опишите назначение ВЭУ и принцип ее работы.
- 2) Укажите три характерные рабочие скорости ветра ВЭУ.
- 3) Как определяется мощность ВЭУ?
- 4) На чем базируется солнечная энергетика?
- 5) Опишите принцип работы солнечной фотоэлектрической установки.

ЛЕКЦИЯ 9. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

План лекции:

- 1. Высокое напряжение, как способ уменьшения потерь.**
- 2. Классификация линий электропередач (ЛЭП).**
- 3. Способы передачи электроэнергии.**
- 4. Структурная схема электроснабжения.**

9.1 Высокое напряжение, как способ уменьшения потерь.

Электричество не относится к накопительным ресурсам. На сегодняшний день нет эффективных технологий, позволяющих аккумулировать энергию, выработанную генераторами, поэтому передача электроэнергии потребителям относится к актуальным задачам. В стоимость ресурса входят затраты на его производство, потери при

транспортировке и расходы на монтаж и обслуживание ЛЭП. При этом от схемы передачи напрямую зависит эффективность системы электроснабжения.

Несмотря на то, что во внутренних сетях большинства потребителей, как правило, 220/380 В, электроэнергия передается к ним по высоковольтным магистралям и понижается на трансформаторных подстанциях. Для такой схемы работы есть веские основания, дело в том, что наибольшая доля потерь приходится на нагрев проводов.

Мощность потерь описывает следующая формула

$$Q = I * R,$$

где I – сила тока, проходящего через магистраль,

R – ее сопротивление.

Исходя из приведенной формулы можно заключить, что снизить затраты можно путем уменьшения сопротивления в ЛЭП или понизив силу тока. В первом случае потребуется увеличивать сечения провода, это недопустимо, поскольку приведет к существенному удорожанию электропередающих магистралей. Выбрав второй вариант, понадобится увеличить напряжение, то есть, внедрение высоковольтных ЛЭП приводит к снижению потерь мощности.

9.2 Классификация линий электропередач (ЛЭП)

Существует несколько классификаций ЛЭП.

Конструктивные особенности линий, осуществляющих передачу электроэнергии. В зависимости от исполнения они могут быть двух видов:

- воздушными: передача электричества осуществляется с использованием проводов, которые подвешиваются на опоры;
- кабельными: такой способ монтажа подразумевает укладку кабельных линий непосредственно в грунт или в специально предназначенные для этой цели инженерные системы.

В зависимости от величины напряжения ЛЭП принято классифицировать на следующие виды:

- низковольтные, к таковым относятся все ЛЭП с напряжением не более 1-го кВ;
- средние – от 1-го до 35-ти кВ;
- высоковольтные – 110,0-220,0 кВ;
- сверхвысоковольтные – 330,0-750,0 кВ;
- ультравысоковольтные – более 750-ти кВ.

По типу тока при передаче электричества, он может быть переменным и постоянным. Первый вариант более распространен, поскольку электростанции, как правило, оборудованы генераторами переменного тока. Но для уменьшения нагрузочных потерь энергии, особенно на большой дальности передачи, более эффективен второй вариант. Как организованы схемы передачи электричества в обоих случаях, а также преимущества каждого из них, будет рассказано ниже.

В зависимости от своего назначения ЛЭП делятся на следующие категории:

- линии от 500,0 кВ для сверхдальних расстояний; такие ЛЭП связывают между собой отдельные энергетические системы;

– ЛЭП магистрального назначения (220,0-330,0 кВ); при помощи таких линий осуществляется передача электричества, вырабатываемого на мощных ГЭС, тепловых и атомных электростанциях, а также их объединения в единую энергосистему;

– ЛЭП 35-150 кВ относятся к распределительным; они служат для снабжения электроэнергией крупных промышленных площадок, подключения районных распределительных пунктов и т.д.;

– ЛЭП с напряжением до 20,0 кВ, служат для подключения групп потребителей к электрической сети.

9.3 Способы передачи электроэнергии

Осуществить передачу электроэнергии можно двумя способами:

- методом прямой передачи;
- преобразуя электричество в другой вид энергии.

В первом случае электроэнергия передается по проводникам, в качестве которых выступает провод или токопроводящая среда. В воздушных и кабельных ЛЭП применяется именно этот метод передачи. Преобразование электричества в другой вид энергии открывает перспективы беспроводного снабжения потребителей. Это позволит отказаться от линий электропередач и, соответственно, от расходов, связанных с их монтажом и обслуживанием.

Ниже на рисунке представлены типовые схемы, из которых первые две (1, 2) относятся к разомкнутому виду, остальные – к замкнутому. Разница между ними заключается в том, что разомкнутые конфигурации не являются резервированными, то есть, не имеют резервных линий, которые можно задействовать при критическом увеличении электрической нагрузки.

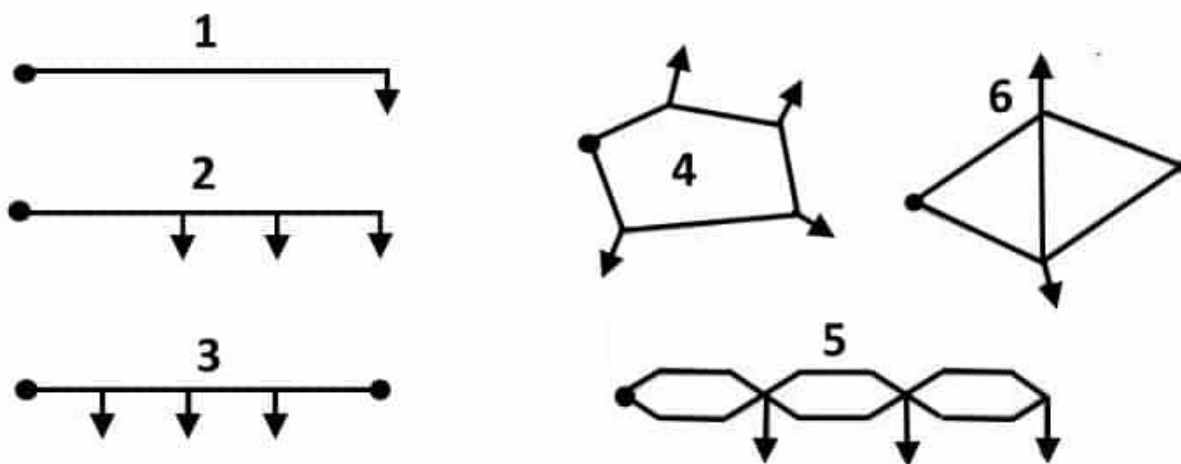


Рисунок 9.1 – Схема передачи электроэнергии от электростанции до потребителя: 1 – радиальная схема, на одном конце линии находится электростанция производящая энергию, на втором – потребитель или распределительное устройство; 2 – магистральный вариант радиальной схемы, отличие от предыдущего варианта заключается в наличии отводов между начальным и конечным пунктами передачи; 3 – магистральная схема с питанием на обоих концах ЛЭП; 4 – кольцевой тип конфигурации; 5 – магистраль с резервной линией (двойная магистраль); 6 – сложнозамкнутый вариант конфигурации (подобные схемы применяются при подключении ответственных потребителей)

Теперь рассмотрим более подробно радиальную схему для передачи вырабатываемой электроэнергии по ЛЭП переменного и постоянного тока.

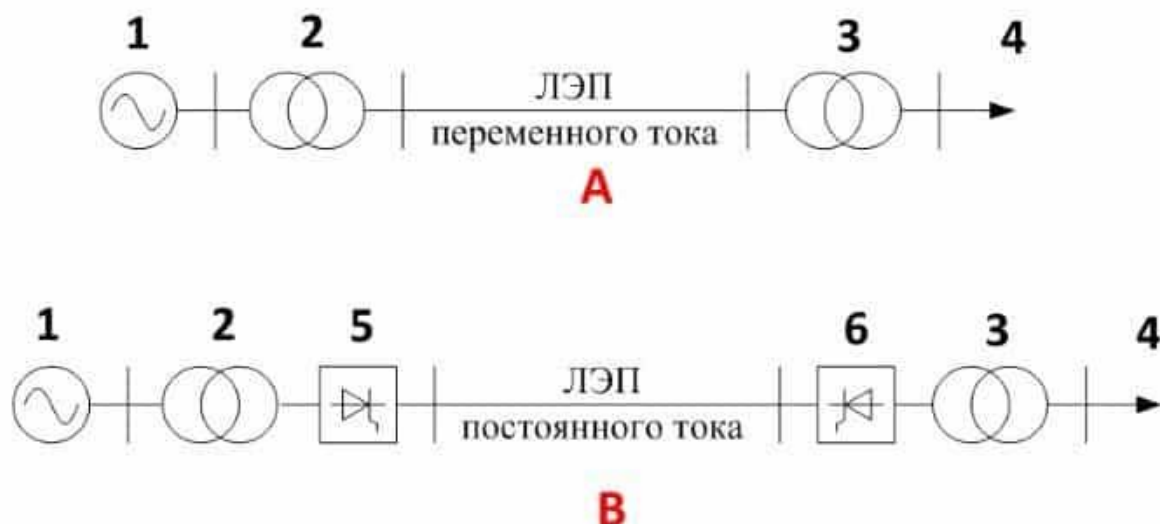


Рисунок 9.2 – Схемы передачи электроэнергии к потребителям при использовании ЛЭП с переменным (А) и постоянным (В) током: 1 – генератор, где вырабатывается я электроэнергия с синусоидальной характеристикой; 2 – подстанция с повышающим трехфазным трансформатором; 3 – подстанция с трансформатором, понижающим напряжение трехфазного переменного тока; 4 – отвод для передачи электроэнергии распределительному устройству; 5 – выпрямитель, то есть устройство преобразующее трехфазный переменный ток в постоянный; 6 – инверторный блок, его задача сформировать из постоянного напряжение синусоидальное.

Как видно из схемы (А), с источника энергии электричество подается на повышающий трансформатор, затем при помощи воздушных линий электропередач производится транспортировка электроэнергии на значительные расстояния. В конечной точке линия подключается к понижающему трансформатору и от него идет к распределителю.

Метод передачи электроэнергии в виде постоянного тока (рисунок 9.2, В) от предыдущей схемы отличается наличием двух преобразовательных блоков (5 и 6).

9.4 Структурная схема электроснабжения

Передача электроэнергии на дальние расстояния. Основная проблема, связанная с такой задачей – рост потерь с увеличением протяженности ЛЭП. Как уже упоминалось выше, для снижения энергозатрат на передачу электричества уменьшают силу тока путем увеличения напряжения. К сожалению, такой вариант решения порождает новые проблемы, одна из которых коронные разряды.

С точки зрения экономической целесообразности потери в ВЛ не должны превышать 10%. Ниже представлена таблица, в которой приводится максимальная протяженность линий, отвечающих условиям рентабельности.

В качестве альтернативы электропередачи переменного тока на большое расстояние можно рассматривать ЛЭП с постоянным напряжением. Такие ЛЭП обладают следующими преимуществами: протяженность ВЛ не влияет на мощность, при этом ее

максимальное значение существенно выше, чем у ЛЭП с переменным напряжением, то есть при увеличении потребления электроэнергии (до определенного предела) можно обойтись без модернизации. Статическую устойчивость можно не принимать во внимание. Нет необходимости синхронизировать по частоте связанные энергосистемы. Можно организовать передачу электроэнергии по двухпроводной или однопроводной линии, что существенно упрощает конструкцию. Меньшее влияние электромагнитных волн на средства связи. Практически отсутствует генерация реактивной мощности.

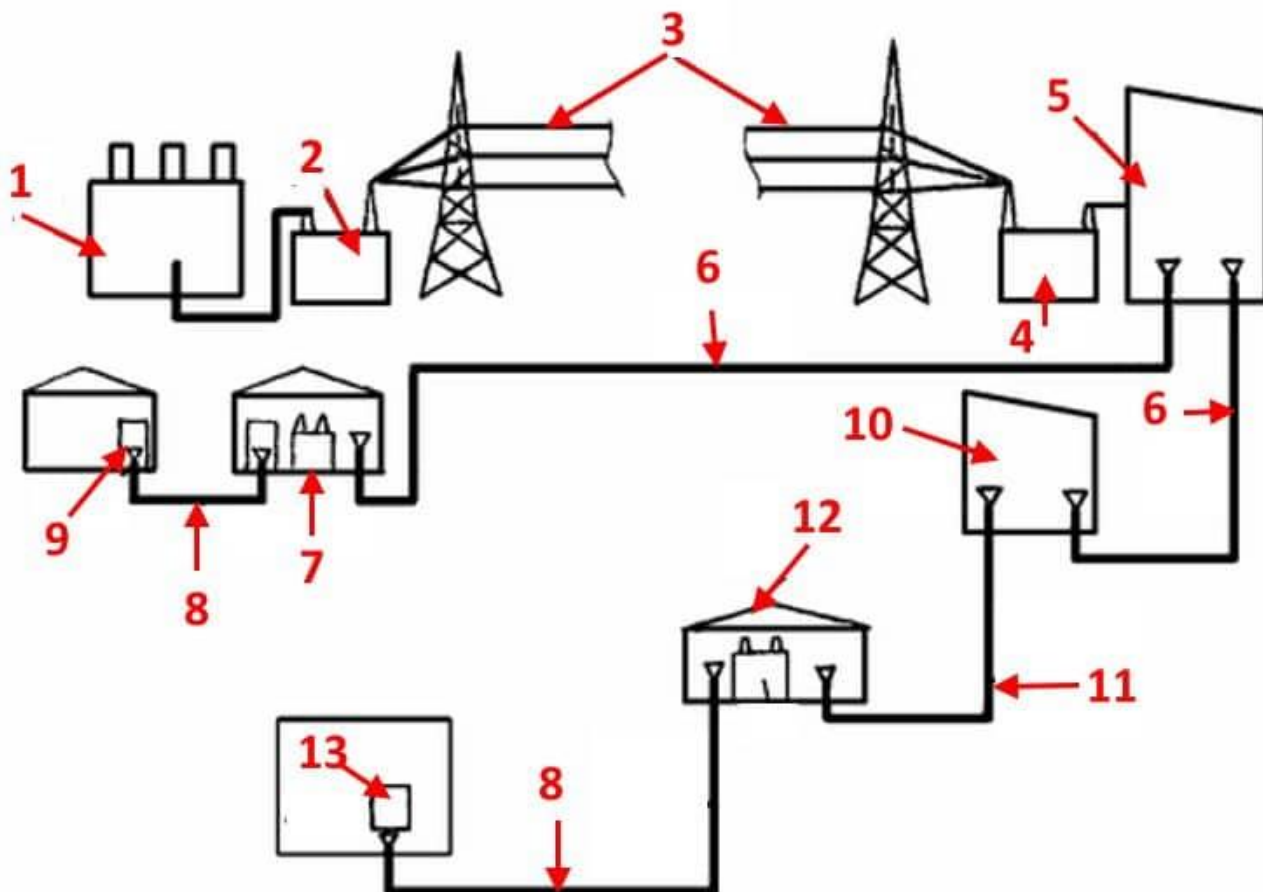


Рисунок 9.3 – Пример структурной схемы электроснабжения: 1 – электростанция, где электроэнергия производится; 2 – подстанция, повышающая напряжение, чтобы обеспечить высокую эффективность передачи электроэнергии на значительные расстояния; 3 – ЛЭП с высоким напряжением (35,0-750,0 кВ); 4 – подстанция с понижающими функциями (на выходе 6,0-10,0 кВ); 5 – пункт распределения электроэнергии; 6 – питающие кабельные линии; 7 – центральная подстанция на промышленном объекте, служит для понижения напряжения до 0,40 кВ; 8 – радиальные или магистральные кабельные линии; 9 – вводный щит в цеховом помещении; 10 – районная распределительная подстанция; 11 – кабельная радиальная или магистральная линия; 12 – подстанция, понижающая напряжение до 0,40 кВ; 13 – вводный щит жилого дома, для подключения внутренней электрической сети

Несмотря на перечисленные способности ЛЭП постоянного тока, такие линии не получили широкого распространения. В первую очередь это связано с высокой стоимостью оборудования, необходимого для преобразования синусоидального напряжения в постоянное. Генераторы постоянного тока практически не применяются, за исключением электростанций на солнечных батареях.

С инверсией (процесс полностью противоположный выпрямлению) также не все просто, необходимо добиться качественных синусоидальных характеристик, что существенно увеличивает стоимость оборудования.

Помимо этого следует учитывать проблемы с организацией отбора мощности и низкую рентабельность при протяженности ВЛ менее 1000-1500 км.

Сопротивление проводов можно существенно снизить, охладив их до сверхнизких температур. Это позволило бы вывести эффективность передачи электроэнергии на качественно новый уровень и увеличить протяженность линий для использования электроэнергии на большом удалении от места ее производства. К сожалению, доступные на сегодняшний день технологии не могут позволить использования сверхпроводимости для этих целей ввиду экономической нецелесообразности.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Каким образом снижают потери при передаче электроэнергии.
- 2) Что такое электрическая сеть?
- 3) Какие типы ЛЭП существуют?
- 4) Перечислите компоненты схемы передачи электроэнергии потребителю.
- 5) Перечислите категории оборудования подстанций.

ЛЕКЦИЯ 10. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

План лекции:

- 1. Основное оборудование котельной установки.**
- 2. Технологическая схема котельной установки.**
- 3. Основные виды котельных агрегатов.**

10.1 Основное оборудование котельной установки

Котельная установка состоит из котла и вспомогательного оборудования. Устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива, или теплоты, подводимой от посторонних источников (обычно с горячими газами), называют котельными агрегатами. Они подразделяются соответственно на котлы паровые и котлы водогрейные. Котельные агрегаты, использующие (т.е. утилизирующие) теплоту отходящих из печей газов или других основных и побочных продуктов различных технологических процессов, называются котлами-утилизаторами.

В состав котла входят: топка, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, каркас, обмуровка, тепловая изоляция, обшивка.

К вспомогательному оборудованию относятся: тягодутьевые машины, устройства очистки поверхностей нагрева, оборудование топливоприготовления и топливоподачи, оборудование шлако- и золоудаления, золоулавливающие и другие газоочистительные устройства, газозовоздухопроводы, трубопроводы воды, пара и топлива, арматура, гарнитура, автоматика, приборы и устройства контроля и защиты, водоподготовительное оборудование и дымовая труба.

К арматуре относятся регулирующие и запорные устройства, предохранительные и водопробные клапаны, манометры, водоуказательные приборы.

В гарнитуру входят лазы, гляделки, люки, шиберы, заслонки.

Здание, в котором располагаются котлы, называют котельной.

Комплекс устройств, включающий в себя котельный агрегат и вспомогательное оборудование, называется котельной установкой. В зависимости от вида сжигаемого топлива и других условий некоторые из указанных элементов вспомогательного оборудования могут отсутствовать.

Котельные установки, снабжающие паром турбины тепловых электрических станций, называются энергетическими. Для снабжения паром производственных потребителей и отопления зданий в ряде случаев создают специальные производственные и отопительные котельные установки.

В качестве источников теплоты для котельных установок используются природное и искусственное топливо (каменный уголь, жидкие и газообразные продукты нефтехимической переработки, природный и доменный газы и др.), отходящие газы промышленных печей и других устройств.

10.2 Технологическая схема котельной установки

Технологическая схема котельной установки с барабанным паровым котлом, работающим на пылевидном угле, приведена на рисунке 10.1.

Топливо с угольного склада после дробления подается конвейером в бункер топлива 3, из которого направляется в систему пылеприготовления, имеющую углеразмольную мельницу 1.

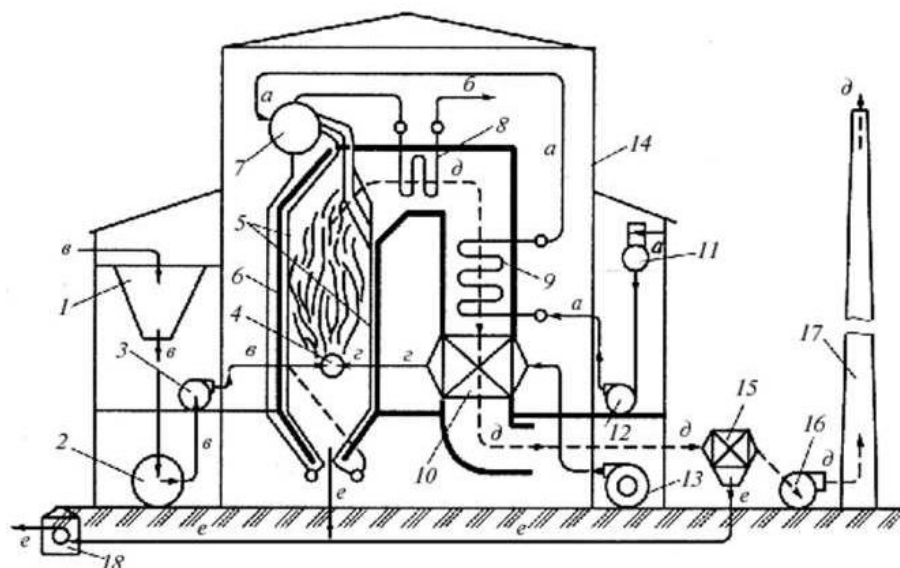


Рисунок 10.1 – Технологическая схема котельной установки: 1 – углеразмольная мельница; 2 – мельничный вентилятор; 3 – бункер топлива; 4 – горелка; 5 – контур топки и газоходов котельного агрегата; 6 – трубная система – экраны топки; 7 – барабан; 8 – пароперегреватель; 9 – водяной экономайзер; 10 – контур здания котельной (помещения котельного отделения); 11 – бак запаса воды с деаэрационным устройством; 12 – дымовая труба; 13 – Дымосос; 14 – золоулавливающее устройство; 15 – вентилятор; 16 – питательный насос; 17 – воздухоподогреватель; 18 – насос для откачки золошлаковой пульпы; а – водяной тракт; б – перегретый пар; в – топливный тракт; г – путь движения воздуха; д – тракт продуктов сгорания; е – путь шлака.

Пылевидное топливо с помощью специального вентилятора 2 транспортируется по трубам в воздушном потоке к горелкам топки котла 5, находящегося в котельной 10. К горелкам подводится также вторичный воздух дутьевым вентилятором 15 (обычно через воздухоподогреватель 17 котла). Вода для питания котла подается в его барабан 7 питательным насосом 16 из бака питательной воды 11, имеющего деаэрационное устройство. Перед подачей воды в барабан она подогревается в водяном экономайзере 9 котла. Испарение воды происходит в трубной системе 6. Сухой насыщенный пар из барабана поступает в пароперегреватель 8, затем направляется к потребителю.

Топливо-воздушная смесь, подаваемая горелками в топку и камеру (топку) парового котла, сгорает, образуя высокотемпературный (1500°C) факел, излучающий тепло на трубы 6, расположенные на внутренней поверхности стен топки. Это – испарительные поверхности нагрева, называемые экранами. Отдав часть теплоты экранам, топочные газы с температурой около 1000°C проходят через верхнюю часть заднего экрана, трубы которого здесь расположены с большими промежутками (эта часть носит название фестона), и омывают пароперегреватель. Затем продукты сгорания движутся через водяной экономайзер, воздухоподогреватель и покидают котел с температурой, несколько превышающей 100°C . Уходящие из котла газы очищаются от золы в золоулавливающем устройстве 14 и дымососом 13 выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу 12. Уловленная из дымовых газов пылевидная зола и выпавший в нижнюю часть топки шлаки удаляются, как правило, в потоке воды по каналам, а затем образующаяся пульпа откачивается специальными багерными насосами и удаляется по трубопроводам.

Барабанный котельный агрегат состоит из топочной камеры и газоходов; барабана; поверхностей нагрева, находящихся под давлением рабочей среды (воды, пароводяной смеси, пара); воздухоподогревателя; соединительных трубопроводов и воздухопроводов. Поверхности нагрева, находящиеся под давлением, включают в себя водяной экономайзер, испарительные элементы, образованные в основном экранами топки и фестонами, и пароперегреватель. Все поверхности нагрева котла, в том числе и воздухоподогреватель, как правило, трубчатые. Лишь некоторые мощные паровые котлы имеют воздухоподогреватели иной конструкции. Испарительные поверхности подключены к барабану и вместе с опускными трубами, соединяющими барабан с нижними коллекторами экранов, образуют циркуляционный контур. В барабане происходит разделение пара и воды, кроме того, большой запас воды в нем повышает надежность работы котла.

Нижнюю трапециевидную часть топки котельного агрегата (рисунке 10.1) называют холодной воронкой – в ней охлаждается выпадающий из факела частично спекшийся зольный остаток, который в виде шлака проваливается в специальное приемное устройство. Газомазутные котлы не имеют холодной воронки. Газоход, в котором расположены водяной экономайзер и воздухоподогреватель, называют конвективным (конвективная шахта), в нем теплота передается воде и воздуху в основном конвекцией. Поверхности нагрева, встроенные в этот газоход и называемые хвостовыми, позволяют снизить температуру продуктов сгорания от $500...700^{\circ}\text{C}$ после

пароперегревателя почти до 100°C , т.е. полнее использовать теплоту сжигаемого топлива.

Вся трубная система и барабан котла поддерживаются каркасом, состоящим из колонн и поперечных балок. Топка и газоходы защищены от наружных теплопотерь обмуровкой – слоем огнеупорных и изоляционных материалов. С наружной стороны обмуровки стенки котла имеют газоплотную обшивку стальным листом в целях предотвращения присосов в топку избыточного воздуха и выбивания наружу запыленных горячих продуктов сгорания, содержащих токсичные компоненты.

10.3 Назначение и классификация котельных агрегатов

Все котлоагрегаты можно подразделить на два основных класса: паровые и водогрейные.

По характеру движения воды, пароводяной смеси и пара паровые котлы подразделяются следующим образом:

барабанные с естественной циркуляцией (рисунок 10.2, а);

барабанные с многократной принудительной циркуляцией (рисунок 10.2, б);

прямоточные (рисунок 10.2, в).

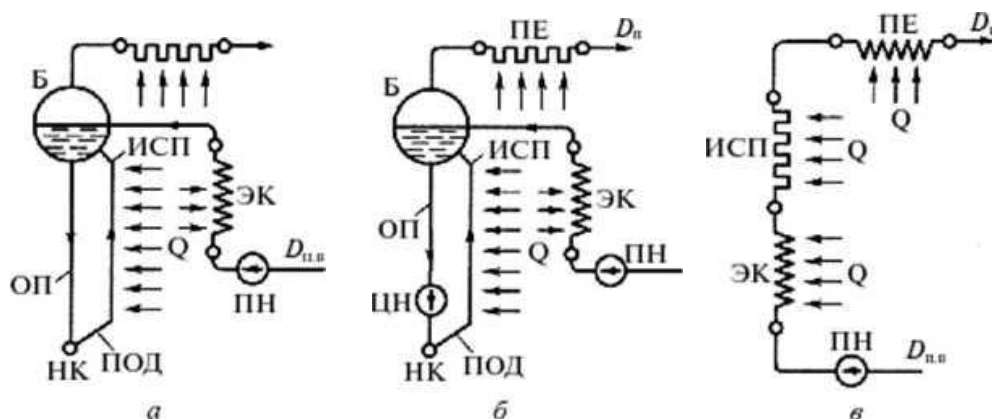


Рисунок 10.2 – Схемы генерации пара в паровых котлах: а – естественная циркуляция; б – многократная принудительная циркуляция; в – прямоточная схема; Б – барабан; ИСП – испарительные поверхности; ПЕ – пароперегреватель; ЭК – водяной экономайзер; ПН – питательный насос; ЦН – циркуляционный насос; НК – нижний коллектор; Q – подвод тепла; ОП – опускные трубы; ПОД – подъемные трубы; $D_{\text{п}}$ – расход пара; $D_{\text{п.в}}$ – расход питательной воды

В барабанных котлах с естественной циркуляцией (рисунок 10.3) вследствие разности плотностей пароводяной смеси в левых трубах 2 и жидкости в правых трубах 4 будет происходить движение пароводяной смеси в левом ряду – вверх, а воды в правом ряду – вниз. Трубы правого ряда называются опускными, а левого – подъемными (экранными).

В котлах с принудительной циркуляцией движение воды и пароводяной смеси (рисунок 10.3, б) осуществляется принудительно с помощью циркуляционного насоса ЦН, движущий напор которого рассчитан на преодоление сопротивления всей системы.

В прямоточных котлах (рисунок 10.3, в) нет циркуляционного контура, нет многократной циркуляции воды, отсутствует барабан, вода прокачивается питательным

насосом ПН через экономайзер ЭК, испарительные поверхности ИСП и пароперереватель ПЕ, включенные последовательно. Прямоточные котлы используют воду более высокого качества, вся вода, поступающая в испарительный тракт на выходе из него полностью превращается в пар, т.е. в этом случае кратность циркуляции.

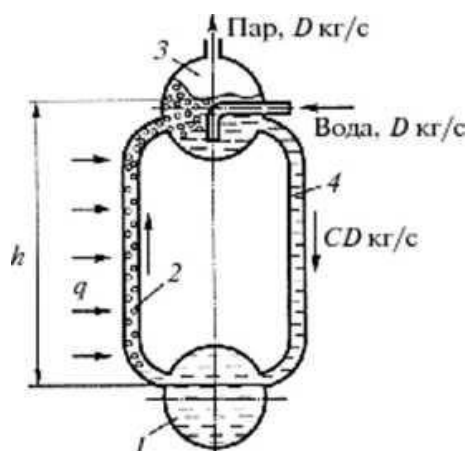


Рисунок 10.3 – Естественная циркуляция воды в котле: 1 – нижний коллектор; 2 – левая труба; 3 – барабан котла; 4 – правая труба.

Паровой котельный агрегат (парогенератор) характеризуется паропроизводительностью (т/ч ил и кг/с), давлением (МПа или кПа), температурой производимого пара и температурой питательной воды.

По паропроизводительности различают котлы малой паропроизводительности (до 25 т/ч), средней паропроизводительности (от 35 до 220 т/ч) и большой паропроизводительности (от 220 т/ч и более).

По давлению производимого пара различают котлы: низкого давления (до 1,37 МПа), среднего давления (2,35 и 3,92 МПа), высокого давления (9,81 и 13,7 МПа) и закритического давления (25,1 МПа). Граница, отделяющая котлы низкого давления от котлов среднего давления, условна.

В котельных агрегатах производят либо насыщенный пар, либо пар, перегретый до различной температуры, величина которой зависит от его давления. В настоящее время в котлах высокого давления температура пара не превышает 570 °С. Температура питательной воды в зависимости от давления пара в котле колеблется от 50 до 260 °С.

Водогрейные котлы характеризуют по их теплопроизводительности (кВт или МВт, в системе МК.ГСС – Гкал/ч), температуре и давлению подогретой воды, а также по роду металла, из которого изготовлен котел.

Основные виды котельных агрегатов. Энергетические котельные агрегаты. Котельные агрегаты паропроизводительностью от 50 до 220 т/ч на давление 3,92... 13,7 МПа выполняют только в виде барабанных, работающих с естественной циркуляцией воды. Агрегаты паропроизводительностью от 250 до 640 т/ч на давление 13,7 МПа выполняют и в виде барабанных и прямоточных, а котельные агрегаты паропроизводительностью от 950 т/ч и более на давление 25 МПа – только в виде прямоточных, так как при сверхкритическом давлении естественную циркуляцию осуществить нельзя.

Типичный котельный агрегат паропроизводительностью 50...220 т/ч на давление пара 3,97... 13,7 МПа при температуре перегрева 440... 570 °С характеризуется компоновкой его элементов в виде буквы П, в результате чего образуются два хода дымовых газов.

Котельные агрегаты паропроизводительностью 950, 1600 и 2500 т/ч на давление пара 25 МПа предназначены для работы в блоке с турбинами мощностью 300, 500 и 800 МВт. Компоновка котельных агрегатов названной паропроизводительности П-образная с воздухоподогревателем, вынесенным за пределы основной части агрегата. Перегрев пара двойной. Давление его после первичного пароперегревателя составляет 25 МПа, температура 565 °С, после вторичного – 4 МПа и 570 °С соответственно.

Промышленные котельные, снабжающие промышленные предприятия паром низкого давления (до 1,4 МПа), оборудуются изготавливаемыми отечественной промышленностью паровыми котлами, производительностью до 50 т/ч. Котлы выпускаются для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива.

На ряде промышленных предприятий при технологической необходимости применяют котлы среднего давления.

Основным типом паровых котлов малой производительности, широко распространенных в различных отраслях промышленности, на транспорте, в коммунальном и сельском хозяйстве (пар используется для технологических и отопительно-вентиляционных нужд), а также на электростанциях малой мощности, являются вертикально-водотрубные котлы ДКВР. Основные характеристики котлов ДКВР приведены в табл. 7.2.

Водогрейные котлы предназначены для получения горячей воды заданных параметров, главным образом для отопления. Они работают по прямоточной схеме с постоянным расходом воды. Конечная температура нагрева определяется условиями поддержания стабильной температуры в жилых и рабочих помещениях, обогреваемых отопительными приборами, через которые и циркулирует вода, нагретая в водогрейном котле. Поэтому при постоянной поверхности отопительных приборов температуру воды, подаваемой в них, повышают при снижении температуры окружающей среды. Обычно воду тепловой сети в котлах подогревают от 70... 104 до 150... 170 °С. В последнее время имеется тенденция к повышению температуры подогрева воды до 180...200 °С.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Как классифицируются котельные агрегаты ?
- 2) Определите основное и вспомогательное оборудование котельной установки
- 3) Каково назначение котлоагрегата в системе тепловой электростанции?
- 4) Назовите основные виды котельных агрегатов?

ЛЕКЦИЯ 11. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

План лекции:

- 1. Основные технологические элементы котельного агрегата.**
- 2. Тепловой баланс котельного агрегата.**

10.1 Основные элементы котельного агрегата

Основными элементами котла являются: испарительные поверхности нагрева (экранные трубы и котельный пучок), пароперегреватель с регулятором перегрева пара, водяной экономайзер, воздухоподогреватель и тягодутьевые устройства.

Испарительные поверхности котла. Парогенерирующие (испарительные) поверхности нагрева отличаются друг от друга в котлах различных систем, но, как правило, располагаются в основном в топочной камере и воспринимают теплоту излучением – радиацией. Это – экранные трубы, а также устанавливаемый на выходе из топки небольших котлов конвективный (котельный) пучок (рисунок 10.4, а). В парогенераторах большой мощности, кроме настенных, устанавливаются дополнительные экраны, делящие топку на отдельные отсеки. Эти экраны освещаются факелами с двух сторон и называются двусветными. Они воспринимают вдвое больше теплоты, чем настенные. Двусветные экраны, увеличивая общее тепловосприятие в топке, позволяют уменьшить ее размеры.

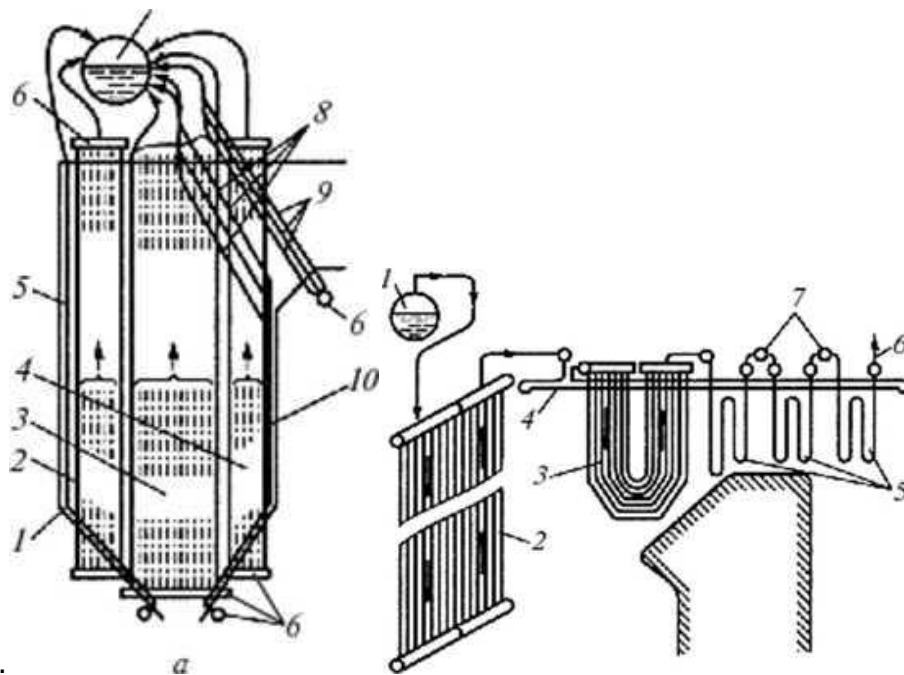


Рисунок 10.4 – Схемы расположения испарительных (а) и пароперегревательных (б) поверхностей барабанного котельного агрегата: 1 – контур обмуровки топки; 2, 3, 4 – панели бокового экрана; 5 – фронтальный экран; 6, 10, 12 – коллекторы экранов и конвективного пучка; 7 – барабан; 8 – фестон; 9 – котельный пучок; 11 – задний экран; 13 – настенный радиационный перегреватель; 14 – ширмовый полурadiационный перегреватель; 15 – потолочный радиационный перегреватель; 16 – регулятор перегрева; 17 – отвод перегретого пара; 18 – конвективный перегреватель.

Пароперегреватели. Пароперегреватель предназначен для повышения температуры пара, поступающего из испарительной системы котла. Он является одним из наиболее ответственных элементов котельного агрегата. С увеличением параметров пара тепловосприятие пароперегревателей возрастает до 60 % всего тепловосприятия

котлоагрегата. Стремление получить высокий перегрев пара вынуждает располагать часть пароперегревателя в зоне высоких температур продуктов сгорания, что, естественно, снижает прочность металла труб. В зависимости от определяющего способа передачи теплоты от газов пароперегреватели или отдельные их ступени (рисунок 10.4, б) разделяются на конвективные, радиационные и полурadiационные.

Радиационные пароперегреватели выполняются обычно из труб диаметром 22...54 мм. При высоких параметрах пара их размещают в топочной камере, и большую часть теплоты они получают излучением от факела.

Конвективные пароперегреватели располагаются в горизонтальном газоходе или в начале конвективной шахты в виде плотных пакетов, образованных змеевиками с шагом по ширине газохода, равным 2,5...3 диаметрам трубы.

Конвективные пароперегреватели в зависимости от направления движения пара в змеевиках и потока дымовых газов могут быть противоточными, прямоточными и со смешанным направлением потоков.

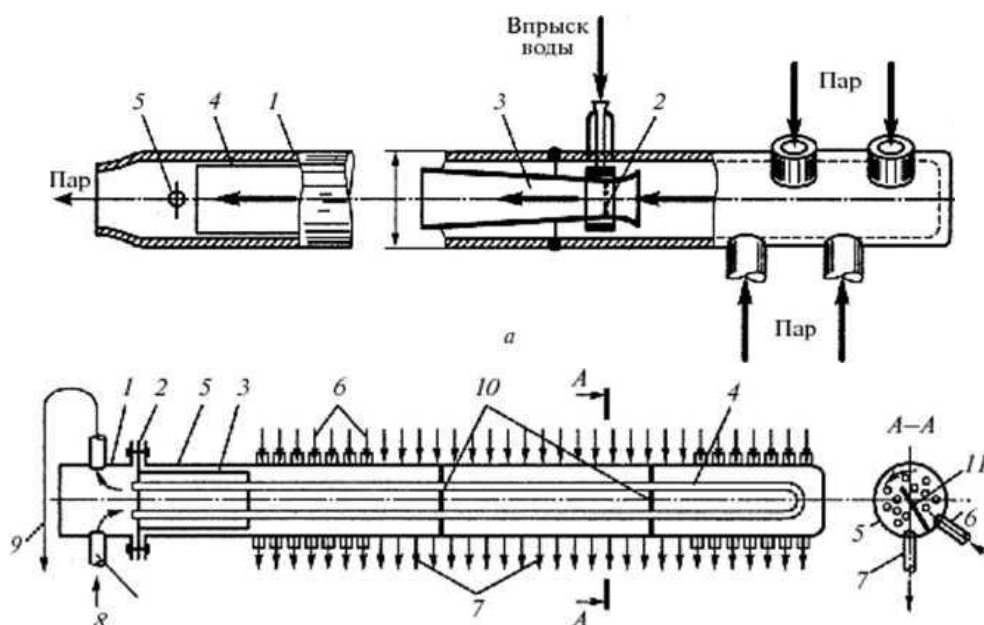


Рисунок 10.5 – Пароохладители: а – впрыскивающий; б – поверхностный с охлаждением пара питательной водой; 1 – лючок для измерительных приборов; 2 – цилиндрическая часть рубашки; 3 – корпус пароохладителя; 4 – диффузор; 5 – отверстия для распыления воды в пар; 6 – головка пароохладителя; 7 – трубная доска; 8 – коллектор; 9 – рубашка, препятствующая омыванию паром трубной доски; 10, 14 – трубы, подводящие и отводящие пар из пароохладителя; 11 – дистанционные перегородки; 12 – водяной змеевик; 13 – продольная перегородка, улучшающая омывание змеевиков; 15, 16 – трубы, подводящие и отводящие питательную воду

Температура перегретого пара должна поддерживаться постоянной всегда, независимо от режима работы и нагрузки котлоагрегата, поскольку при ее понижении повышается влажность пара в последних ступенях турбины, а при повышении температуры сверх расчетной появляется опасность чрезмерных термических деформаций и снижения прочности отдельных элементов турбины. Поддерживают температуру пара на постоянном уровне с помощью регулирующих устройств – пароохладителей. Наиболее широко распространены пароохладители впрыскивающего

типа, в которых регулирование производится путем впрыскивания обессоленной воды (конденсата) в поток пара. Вода при испарении отнимает часть теплоты у пара и снижает его температуру (рисункм10.5, а).

Водяные экономайзеры. Эти устройства предназначены для подогрева питательной воды перед ее поступлением в испарительную часть котлоагрегата за счет использования теплоты уходящих газов. Они расположены в конвективном газоходе и работают при относительно невысоких температурах продуктов сгорания (дымовых газов).

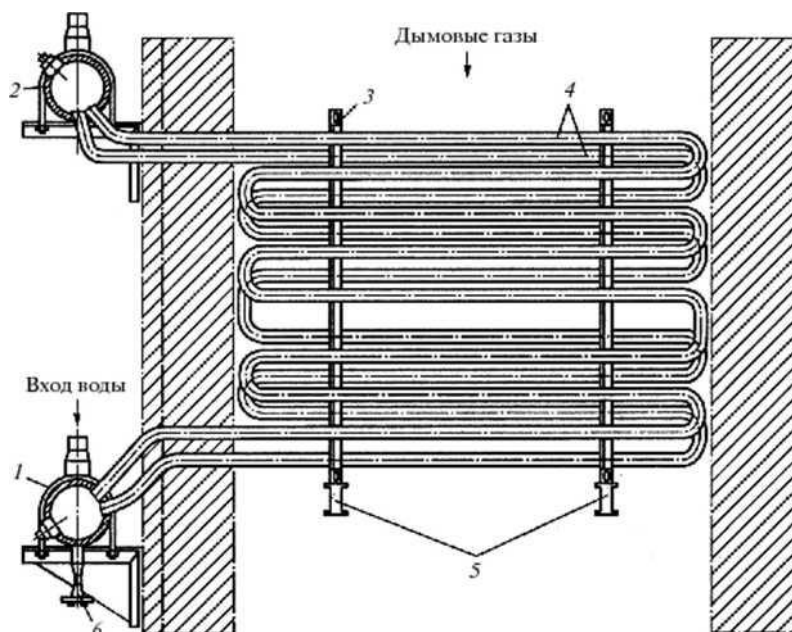


Рисунок 10.6 – Стальной змеевиковый экономайзер: 1 – нижний коллектор (вход воды); 2 – верхний коллектор (выход воды); 3 – опорная стойка; 4 – змеевики; 5 – опорные балки (охлаждаемые); 6 – спуск воды

Наиболее часто экономайзеры (рисунок 10.6) выполняют из стальных труб диаметром 28...38 мм, согнутых в горизонтальные змеевики и скомпонованных в пакеты. Трубы в пакетах располагаются в шахматном порядке довольно плотно: расстояние между осями соседних труб поперек потока дымовых газов составляет 2,0... 2,5 диаметра трубы, вдоль потока – 1,0... 1,5. Крепление труб змеевиков и их дистанционирование осуществляются опорными стойками, закрепленными в большинстве случаев на полых (для воздушного охлаждения), изолированных со стороны горячих газов балках каркаса.

В зависимости от степени подогрева воды экономайзеры делят на некипящие и кипящие.

В кипящем экономайзере до 20 % воды может превращаться в пар.

Воздухоподогреватели. Они устанавливаются для подогрева направляемого в топку воздуха в целях повышения эффективности горения топлива, а также в углеразмольные устройства.

Оптимальная величина подогрева воздуха в воздухоподогревателе зависит от рода сжигаемого топлива, его влажности, типа топочного устройства и составляет 200 °С для каменных углей, сжигаемых на цепной решетке (во избежание перегрева колосни-

ков), 250 °С для торфа, сжигаемого на тех же решетках, 350...450 °С для жидкого или пылевидного топлива, сжигаемого в камерных топках.

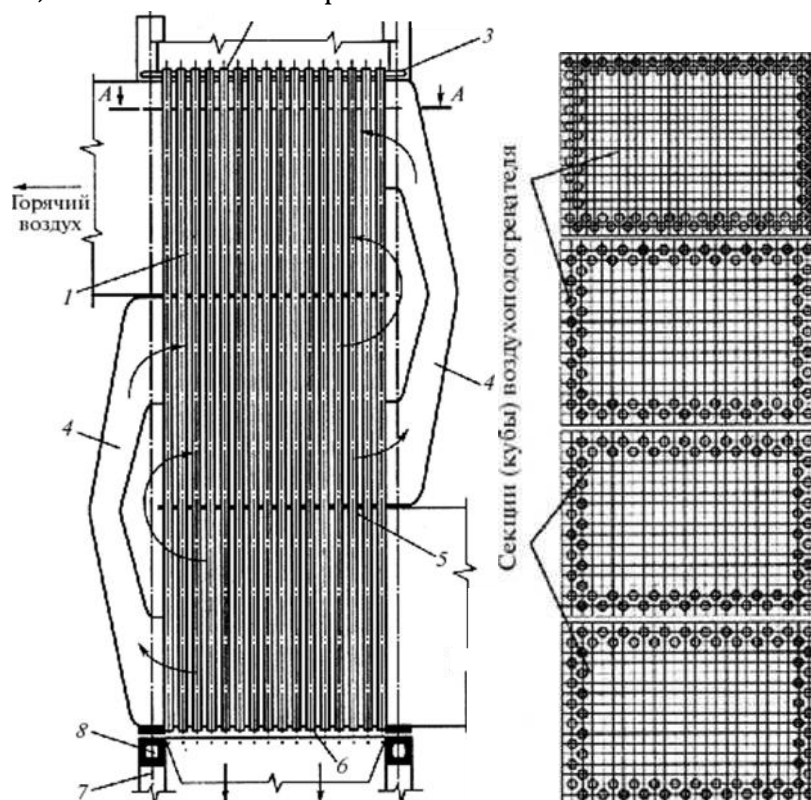


Рисунок 10.7 – Трубчатый воздухоподогреватель: 1 – стальные трубы 40х 1,5 мм; 2,6 – верхняя и нижняя трубные доски толщиной 20...25 мм; 3 – компенсатор тепловых расширений; 4 – воздухоперепускной короб; 5 – промежуточная трубная доска; 7,8 – опорные рама и колонны

Для получения высокой температуры подогрева воздуха применяется двухступенчатый подогрев. Для этого воздухонагреватель делится на две части, между которыми («в рассечку») устанавливается часть водяного экономайзера.

Температура воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, должна быть на 10...15 °С выше точки росы дымовых газов во избежание коррозии холодного конца воздухоподогревателя в результате конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах (при их соприкосновении с относительно холодными стенками воздухоподогревателя), а также забивания при этом проходных каналов для газов налипающей на влажные стенки золой. Эти условия можно соблюсти двумя путями: либо повышением температуры уходящих газов и потерей тепла, что экономически невыгодно, либо установкой специальных устройств для подогрева воздуха перед его поступлением в воздухоподогреватель. Для этого применяются специальные калориферы, в которых воздух подогревается отборным паром от турбин. В некоторых случаях подогрев воздуха осуществляется путем рециркуляции, т.е. часть нагретого в воздухоподогревателе воздуха возвращается через всасывающий патрубок к дутьевому вентилятору и смешивается с холодным воздухом.

Тяго-дутьевые устройства котельного агрегата. Для того чтобы в топке котельного агрегата могло происходить горение топлива, в нее необходимо подавать воздух. Для удаления же из топки газообразных продуктов сгорания и обеспечения их прохождения через всю систему поверхностей нагрева котельного агрегата должна быть создана тяга.

В настоящее время различают четыре схемы подачи воздуха и отвода продуктов сгорания в котельных установках, а именно:

а) схему с естественной тягой, создаваемой дымовой трубой, и естественным засасыванием воздуха в топку в результате разрежения в ней, создаваемого тягой трубы;

б) схему с искусственной тягой, создаваемой дымососом, и засасыванием воздуха в топку, в результате разрежения, создаваемого дымососом;

в) схему с искусственной тягой, создаваемой дымососом, и принудительной подачей воздуха в топку дутьевым вентилятором;

г) схему с наддувом, при котором вся котельная установка герметизируется и ставится под некоторое, создаваемое дутьевым вентилятором, избыточное давление, которого хватает на преодоление всех сопротивлений воздушного и газового трактов, что снимает необходимость установки дымососа.

В котельных установках большой паропроизводительности повсеместно применяется искусственная тяга с искусственным дутьем.

Дымовые трубы бывают кирпичными, железобетонными и железными. Из кирпича обычно сооружают трубы высотой до 80 м. Более высокие трубы выполняют железобетонными. Железные трубы устанавливают только на вертикально-цилиндрических котлах, а также на мощных стальных водогрейных котлах башенного типа. Для уменьшения затрат обычно сооружают одну общую дымовую трубу для всей котельной или для группы котельных установок.

10.2 Тепловой баланс котельного агрегата.

Тепловой баланс котельного агрегата составляют относительно некоторого температурного уровня или, другими словами, относительно некоторой отправной температуры.

Эффективность использования топлива определяется в основном полнотой сгорания топлива и глубиной охлаждения продуктов сгорания в паровом котле.

Потери теплоты с уходящими газами являются наибольшими.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания обычно зависят от качества смесеобразования и локальных недостаточных количеств кислорода для полного сгорания.

Химическая неполнота сгорания сопровождается всегда сажеобразованием, недопустимым в работе котла.

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива – это теплота топлива, которая при камерном сжигании уносится вместе с продуктами сгорания (унос) в газоходы котла или остается в шлаке, а при слоевом сжигании – и в продуктах, проваливающихся через колосниковую решетку (провал).

Потери теплоты в окружающую среду зависят от площади наружной поверхности агрегата и разности температур поверхности и окружающего воздуха (0,5... 1,5 %).

Потери теплоты со шлаком происходят в результате удаления из топки шлака, температура которого может быть достаточно высокой. В пылеугольных топках с твердым шлакоудалением температура шлака 600...700°C, а с жидким – 1500... 1600°C.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Опишите испарительные поверхности котла, виды пароперегревателей и способы регулирования температуры перегретого пара.
- 2) Какие виды водяных экономайзеров и воздухоподогревателей используются в котлах? Опишите принципы их устройства.
- 3) Как осуществляется подача воздуха и удаление дымовых газов в котельных агрегатах?
- 4) Опишите назначение дымовой трубы, определение ее самотяги; укажите виды дымососов, применяемых в котельных установках.
- 5) Что такое тепловой баланс котельного агрегата? Перечислите потери тепла в котле и укажите их причины.
- 6) Укажите, как определяется КПД котельного агрегата, и порядок его величины.

ЛЕКЦИЯ 12. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

План лекции:

1. ***Основные сведения о паровых турбинах.***
2. ***Классификация и основные паровых турбин.***
3. ***Потери энергии и КПД турбины.***
4. ***Конденсационные установки паровых турбин.***

12.1 Основные сведения о паровых турбинах

Паровые турбины представляют собой основной тип тепловых машин (двигателей), служащих для привода электрических генераторов современных тепловых электростанций.

По сравнению с другими типами тепловых двигателей (паровыми машинами, двигателями внутреннего сгорания и газовыми турбинами) паровые турбины имеют ряд существенных преимуществ: постоянная частота вращения вала, возможность получения частоты вращения, одинаковой с частотой вращения электрогенератора, экономичность работы и большая концентрация единичных мощностей в одном агрегате. Кроме того, паровые турбины относительно просты в обслуживании и обладают способностью изменения рабочей мощности в широком диапазоне электрической нагрузки.

Принцип действия паровой турбины заключается в преобразовании тепловой энергии пара, поступающего из парогенератора, в кинетическую энергию потока пара, который, воздействуя на рабочее колесо турбины, приводит его во вращение, отдавая при этом часть своей энергии.

По направлению потока пара различают осевые (аксиальные), турбины, в которых поток направлен вдоль оси ротора, и радиальные, в которых поток направлен от центра к периферии ротора.

В конструкции турбины выделяют два основных элемента: сопловые каналы (сопловые решетки) и рабочие колеса с лопатками, образующие рабочие решетки. Сопловый аппарат вместе с соответствующими рабочими лопатками образуют *ступень давления*. Поэтому рассмотренную простейшую турбину (рисунок 12.1, а) называют *одноступенчатой*. При работе современных ТЭС перепады теплоты в турбинах (высоких начальных и низких конечных параметров пара) могут достигать больших значений 1200... 1500 кДж/кг. Поэтому для создания мощных и эффективных турбин применяют *многоступенчатые* турбины. В качестве примера на рисунок 12.2 показана схема активной турбины с тремя ступенями давления (дискового типа).

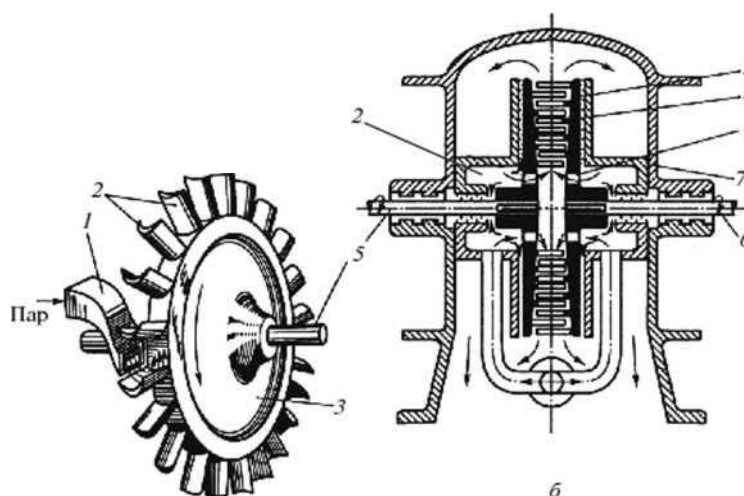


Рисунок 12.1 – Схемы работы пара в турбине: а – аксиальная турбина; б – турбина радиального типа: 1,6, 9 – сопла; 2, 7,8 – лопатки; 3, 5,11 – валы; 4 – диск; 10 – корпус; 12 – трубопровод подвода пара.

Если преобразование потенциальной энергии пара в кинетическую происходит только в сопловых решетках, то такой принцип работы пара в турбине называют *активным*, а соответствующие ступени турбин – *активными ступенями*. Если же преобразование потенциальной энергии пара происходит не только в сопловых (неподвижных), но и во вращающихся рабочих решетках, то такой принцип действия пара называют *реактивным*, а соответствующие ступени – *реактивными*.

Преобразование энергии в соплах. Сопло паровой турбины представляет собой канал с сечением, близким к прямоугольному. В паровых турбинах применяют как расширяющиеся, так и суживающиеся сопла в зависимости от перепада давлений. При большом перепаде давлений, когда давление за соплом меньше критического, сопло должно быть расширяющимся. Если же перепад давлений небольшой и давление за соплом равно или больше критического, сопло должно быть суживающимся.

В паровых турбинах суживающиеся сопла встречаются чаще расширяющихся. Объясняется это тем, что на практике наибольшее распространение получили

многоступенчатые турбины, у которых в каждой ступени используется сравнительно небольшой теплоресурсы. Кроме того, расширяющиеся сопла сложны в изготовлении.

Преобразование энергии на рабочих лопатках. Давление пара равно p_0 . В соплах давление пара падает. С таким давлением пар поступает в каналы рабочих лопаток. Может быть три случая и зависит от формы лопаточного канала.

В первом случае лопаточный канал должен быть расширяющимся (вращающийся диффузор). Очевидно, что этот случай не может иметь практического значения, так как бесполезно хотя бы частично преобразовать кинетическую энергию струи в первоначальную потенциальную энергию пара. Что же касается двух остальных случаев, то они широко применяются на практике.

Во втором случае для сохранения давления пара неизменным лопаточный канал (при отсутствии потерь в нем) должен иметь постоянное сечение. В решетке рабочих лопаток происходит лишь поворот струи, и изменение количества движения потока пара преобразуется в силу, действующую на лопатки. Производимую этой силой работу называют активной, а саму ступень турбины – активной ступенью (ступенью равного давления).

В третьем случае лопаточный канал должен быть сужающимся (вращающееся сопло). Падение давления сопровождается ускорением пара по отношению к рабочим лопаткам и возникновением силы отталкивания (подобной отдаче при выстреле из орудия), называемой реактивным давлением. Реактивное давление направлено против скорости вытекающей струи и способствует вращению ротора. Работу, производимую реактивным давлением, называют реактивной, а саму ступень турбины – реактивной ступенью (ступенью избыточного давления). На рабочей лопатке реактивной турбины наряду с реактивной работой (падением давления) имеет место и активная работа (поворот струи).

12.2 Классификация и основные конструкции паровых турбин

По назначению турбины подразделяются на:

- чисто конденсационные с противодавлением (отработавший пар используют для каких-либо производственных или бытовых целей, если отработавший пар используют в других турбинах, то такую турбину с противодавлением называют предвключенной);

- конденсационные с отбором пара;

- конденсационные с отбором и противодавлением «мятого пара» (турбина использует, кроме свежего пара, отработавший на производстве пар, который подводится в одну из промежуточных ступеней турбины) и др.

Каждая турбина обозначается шифром, состоящим из трех частей: первая из них – буквенная, остальные – цифровые. Буквенная часть шифра характеризует тип турбины: К – конденсационная без регулируемых отборов; Т – с теплофикационным регулируемым отбором пара ($p = 0,7...2,5$ МПа); П – с производственным регулируемым отбором пара ($p > 0,3$ МПа); Р – с противодавлением.

Вторая (цифровая) часть шифра указывает номинальную мощность турбины (тыс. кВт). Третья часть шифра обозначает давление свежего пара. У турбин типов П и Р третья часть шифра представляет собой дробь, числитель которой указывает давление свежего пара, а знаменатель – давление отборного или противодавленческого пара.

Так, например, конденсационная турбина мощностью 50 000 кВт с начальным давлением 12,75 МПа (130 ат) обозначается К-50-130. Та же турбина, но с двумя регулируемыми отборами пара – производственным давлением 0,69 МПа (7 ат) и теплофикационным – обозначается ПТ-50-130/7.

В качестве характерного примера конструкции паровой турбины мощностью 50 тыс. кВт и частотой вращения 3000 об/мин.

Пар с начальными параметрами 9 МПа и 535 °С подводится по паровпускной трубе к расположенной на корпусе турбины паровой коробке 3, в которой размещены регулирующие клапаны 4. Из клапанной коробки пар через одновенечную регулируемую ступень подводится к проточной части турбины, состоящей из 21 ступени. Первые 18 ступеней имеют рабочие диски (колеса), выполненные за одно целое с валом турбины. Последующие три ступени 12 имеют диски, посаженные с натягом на вал. На ободах каждого диска укреплены рабочие лопатки.

Сопловые решетки первой регулирующей ступени закреплены в паровой коробке, приваренной к корпусу 6 турбины. Диски остальных ступеней разделены неподвижными промежуточными диафрагмами 5, 7. В каждой диафрагме размещены неподвижные сопловые решетки. Часть корпуса 6, охватывающая первые 14 ступеней высокого давления, выполнена в виде стальной отливки. Остальные ступени размещены в сварной части корпуса. Выхлопной патрубок турбины сварен из листовой стали. В корпусе турбины предусмотрены пять патрубков для отбора пара из промежуточных ступеней турбины. Эти нерегулируемые отборы предназначены для подогрева питательной воды.

Вал ротора турбины опирается на два подшипника. Передний подшипник 1 имеет несколько более сложную конструкцию, чем задний 10, так как он, помимо веса ротора, воспринимает также осевые усилия, возникающие при протекании пара через лопатки ротора. Конструкция переднего подшипника дает возможность фиксировать осевое положение ротора по отношению к корпусу турбины. Такой подшипник носит название опорно-упорного.

Там, где вал турбины проходит через ее корпус, расположены Два концевых уплотнения 2 и 9. Переднее концевое уплотнение 2, работающее в области избыточных давлений пара, служит для предотвращения утечки пара из корпуса турбины в окружающую среду. Заднее концевое уплотнение 9, работающее в области вакуума, защищает выходную часть турбины от подсоса воздуха из окружающей среды, при котором ухудшается экономичность работы турбины и снижается развиваемая ею мощность.

В местах, где вал проходит через расположенные между рабочими дисками перегородки-диафрагмы, установлены промежуточные уплотнения, препятствующие протечкам пара из одной ступени в другую в обход сопловых решеток. Диски рабочих колес имеют разгрузочные отверстия для выравнивания давления по обе стороны диска.

На переднем конце вала турбины расположен предельный скоростной регулятор, который служит для предотвращения повышения частоты вращения вала турбины более чем на 10... 12% сверх номинальной. Масляный насос предназначен для подачи масла в систему смазки подшипников турбоагрегата, привода механизма системы

автоматического регулирования турбины и управления им. Масляный насос и опорно-упорный подшипник опираются на станину 13.

На рисунке 12.2 показан продольный разрез реактивной турбины.

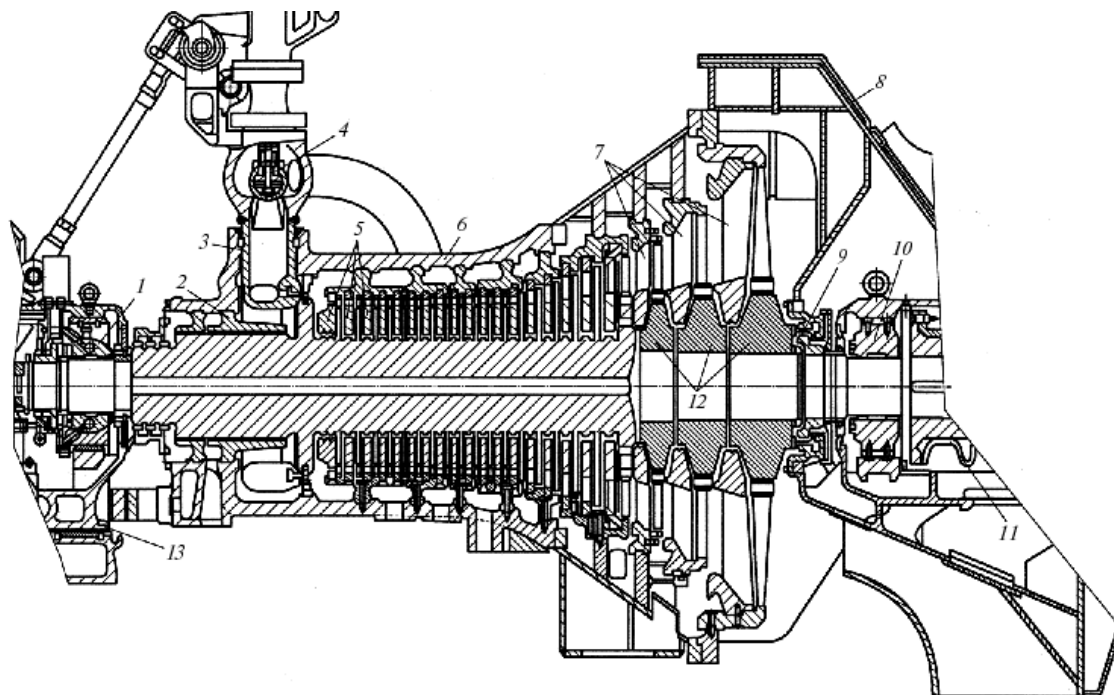


Рисунок 12.2 – Продольный разрез турбины мощностью 50 тыс. кВт: 1 – передний подшипник; 2 – переднее концевое уплотнение; 3 – паровая коробка; 4 – регулирующий клапан; 5, 7 – промежуточные диафрагмы; 6 – корпус; 8 – выхлопной патрубок; 9 – заднее концевое уплотнение; 10 – задний подшипник; 11 – муфта; 12 – ступени; 13 – станина каких-либо специальных перегородок-диафрагм.

На противоположном конце вала размещена муфта 11, служащая для передачи вращающего момента валу генератора. Рядом с муфтой установлено валоповоротное устройство, состоящее из электродвигателя и червячно-зубчатой передачи. Валоповоротное устройство служит для медленного вращения вала неработающей турбины перед пуском и после остановки агрегата для обеспечения равномерного прогрева или остывания ротора турбины и равномерности распределения возникающих при этом термических деформаций. С передним концом вала связан указатель частоты вращения – тахометр.

Корпус турбины, а также корпуса подшипников имеют горизонтальный разъем на уровне вала турбины. Это дает возможность разборки и сборки турбины путем съема верхней части ее корпуса.

Для предотвращения протекания пара внутри ступеней в обход сопловых и рабочих решеток лопатки реактивных ступеней снабжены внутренними уплотнениями, выполненными в виде гребенок и закрепленных в роторе (для сопловых) и в корпусе (для рабочих лопаток).

12.4 Потери энергии и КПД турбины

Внутренние потери. Все потери энергии паровой турбины подразделяются на две группы: внутренние и внешние. Внутренние потери возникают внутри корпуса турбины и приводят к уменьшению используемого теплоперепада. Они представляют собой потерю энергии пара на трение, вихри, удар и пр. Потерянная энергия превращается в теплоту, повышая конечную энтальпию пара.

- *Потери на трение и вентиляцию.* Потеря на трение диска о пар вызвана тем, что вращающийся диск увлекает за собой окружающие его частицы пара. На преодоление трения и сообщения частицам пара ускорения затрачивается некоторая энергия.

- *Потеря на вентиляцию* возникает в первых ступенях активных турбин, имеющих парциальный подвод пара, когда рабочие лопатки, проходя промежутки между соплами, действуют как вентилятор, подсасывая пар из зазора и прокачивая его с одной стороны диска на другую. Кроме того, при подходе лопатки к соплу струя рабочего пара «выколачивает» нерабочий пар, заполняющий канал лопатки. На все это тратится часть энергии струи рабочего пара.

- *Потеря от влажности пара.* Эта потеря возникает в последних ступенях конденсационных турбин, работающих в области влажного пара. Частицы влаги в паре движутся медленнее сухого пара, а потому их относительная скорость направлена не по касательной к входной кромке лопаток. Ударяясь о спинки лопаток, частицы влаги производят тормозящее действие на ротор, снижая работу, передаваемую на лопатки. Одновременно капельки воды разрушающе действуют на входные кромки рабочих лопаток. Поэтому минимально допустимым значением сухости пара в последних ступенях турбины можно считать $\text{js} = 0,88... 0,90$.

Внешние потери турбины. К внешним потерям турбины относятся потери от утечки пара через концевые уплотнения и механические потери.

Потеря от утечки пара через концевые уплотнения увеличивает расход пара на турбину. Она не влияет на энтальпию пара, а потому ее относят к внешним, а не внутренним потерям.

Механические потери определяются затратой части энергии на преодоление трения в опорных и упорных подшипниках турбины (включая опорные подшипники электрического генератора или другой машины, соединенной с валом турбины), на привод системы регулирования и главного масляного насоса. Потери на трение превращаются в теплоту, поглощаемую смазочным маслом.

Мощности, КПД и расход пара. Внутренней мощностью называют мощность, развиваемую внутри корпуса турбины. Внутренняя мощность меньше мощности, развиваемой идеальным двигателем, на величину внутренних потерь.

Эффективной мощностью называют мощность, снимаемую с вала или соединительной муфты турбины. Она меньше внутренней мощности на величину мощности механических потерь.

Электрической мощностью называют мощность, снимаемую с зажимов генератора. Электрическая мощность меньше эффективной на величину электрических потерь.

Коэффициенты полезного действия характеризуют степень совершенства двигателя и служат для сравнения двигателей и анализа их работы.

Механический КПД зависит от типа двигателя и его мощности. У турбин механический КПД выше, чем у поршневых двигателей, у которых есть возвратно-поступательно движущиеся части, обуславливающие большие потери на трение. Чем выше мощность двигателя, тем больше его механический КПД. Механический КПД турбин достаточно высок и для турбин мощностью от 500 до 5000 кВт составляет 96...99%, а для турбин мощностью более 5000 кВт – 99...99,5 %.

Коэффициент полезного действия электрического генератора называют отношением электрической мощности к эффективной

Для электрических генераторов мощностью от 500 до 5000 кВт $\eta_{\text{г}} = 92,5...96\%$, а для генераторов мощностью более 5000 кВт – $\eta_{\text{г}} = 96...99\%$.

Помимо рассмотренных выше КПД применяют еще группу относительных и абсолютных КПД. Относительные КПД получают путем сравнения той или иной мощности действительного двигателя с мощностью идеального двигателя.

Характеристикой экономичности паровой турбины наряду с КПД является удельный расход пара, т.е. расход пара в единицу времени на единицу вырабатываемой мощности.

12.5 Конденсационные установки паровых турбин

Для конденсации покидающего турбину пара к выхлопному патрубку турбины присоединяется специальный теплообменник – конденсатор. Вакуум в конденсаторе создается при конденсации пара с помощью охлаждающей воды и отсоса воздуха эжекторами, вакуум-насосами и др. Конденсация пара может производиться либо непосредственным смешением его с охлаждающей водой (смешивающие конденсаторы), либо при охлаждении его в поверхностных теплообменниках (поверхностные конденсаторы).

В турбинных установках электростанций применяются исключительно поверхностные конденсаторы, поскольку они обеспечивают как сохранение количества конденсата, так и требуемое его качество по солесодержанию, что весьма важно для питания котлоагрегатов с высокими параметрами пара и большой мощностью. Схема поверхностного конденсатора показана на рис. 4.2.5.

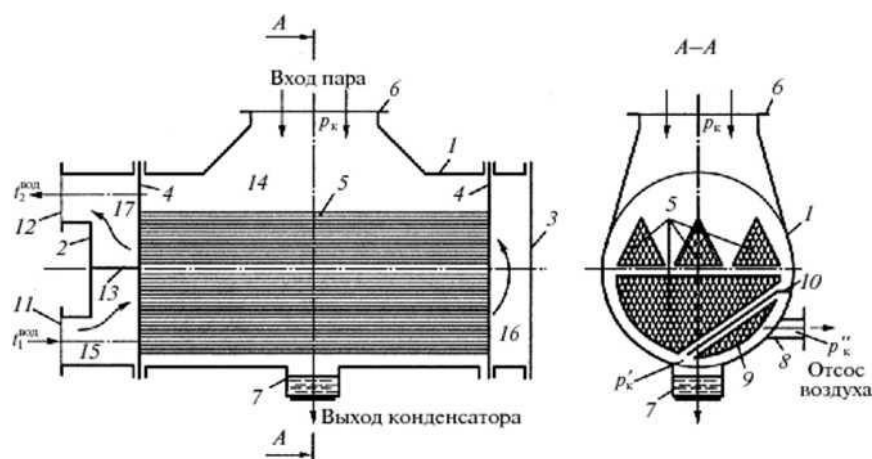


Рисунок 12.3 – Схема поверхностного конденсатора: 1 – подводящая труба; 2, 13 – перегородки; 3, 11 – крышки корпуса; 4 – отводящая труба; 5, 10 – трубные доски; 6 – горловина; 7 – охлаждающие трубы: 8 – фланец; 9 – корпус; 12 – нижняя часть конденсатора; 14 – патрубок; 15 – часть трубной поверхности, отделенная перегородкой: А – входная камера; В – выходная камера; В – поворотная камера

Пар из турбины поступает в корпус 9 конденсатора через горловину 6, имеющую фланец 8 для присоединения к турбине. В цилиндрической части конденсатора расположена система прямых охлаждающих труб 7, закрепленных с обеих сторон в трубных досках 5, 10. Трубная система располагается в корпусе так, что по обе стороны ее образуются камеры А и В между трубными досками и крышками 3 и 11 корпуса. Охлаждающая вода по подводящей трубе 1 поступает в нижнюю часть камеры А (входная камера), проходит по нижнему пучку труб и поступает в другую поворотную камеру В. Из поворотной камеры вода проходит по верхнему пучку труб в направлении, обратном первоначальному, после чего удаляется из верхней части выходной камеры Б, отделенной перегородкой 2 от входной камеры, по отводящей трубе 4.

Конденсаторы с такой схемой движения воды (в двух направлениях) называют двухходовыми. По аналогии с двухходовыми, могут быть выполнены одноходовые, а также трех- и четырехходовые конденсаторы.

Пар, омывая холодные наружные поверхности охлаждающих труб, конденсируется на них, отдавая теплоту парообразования, и образовавшийся конденсат стекает в нижнюю часть 12 конденсатора, а оттуда откачивается специальным насосом через патрубок. Этот насос называют конденсатным, а насос, прокачивающий охлаждающую воду через трубную систему конденсатора, – циркуляционным.

Конденсатор должен быть герметичным. Наличие даже небольших неплотностей приводит к подсосу воздуха из окружающей среды, что снижает вакуум и может резко ухудшить процесс теплоотдачи.

Для поддержания в паровом пространстве конденсатора требуемого глубокого вакуума через патрубок 14 осуществляется непрерывный отсос воздуха. Так как вместе с воздухом может быть удалено и некоторое количество несконденсировавшегося пара (паровоздушная смесь), то в месте отсоса воздуха часть трубной поверхности 7 отделяют перегородками 13, образуя воздухоохладитель. В этой части трубной поверхности должна происходить более интенсивная конденсация, чтобы количество пара в удаляемой паровоздушной смеси было минимальным.

Образовавшийся в конденсаторе конденсат используется для питания котлоагрегатов и поэтому представляет большую ценность, особенно в установках с высокими параметрами пара, требующих применения питательной воды особо высокого качества. По этой причине конденсаторы должны обладать высокой плотностью не только по воздуху, но и по охлаждающей воде.

Вода, поступающая для охлаждения конденсатора (циркуляционная вода), забирается циркуляционным насосом либо из расположенных вблизи станции естественных источников водоснабжения (река, озеро, море), либо из искусственных водоемов (пруды, бассейны). Водоснабжение от естественных источников воды называется прямоточным.

При прямоточной системе вода, забираемая из реки после конденсаторов и других охладительных устройств, сбрасывается в реку ниже по течению на расстоянии, исключающем возможность подмешивания подогретой воды к воде, забираемой из реки.

Для крупных КЭС абсолютный расход охлаждающей воды настолько значителен, что он становится одним из факторов, определяющих выбор места расположения электростанции и ее системы технического водоснабжения.

Расход воды на удаление золы и шлака зависит от зольности и количества сжигаемого топлива, а также от принятой системы гидрозолоудаления. Для высоконапорной системы гидрозолоудаления с гидроаппаратами системы Москальцова средний удельный расход воды составляет 14... 15 м³ на тонну золы и шлака. Как правило, в системе гидрозолоудаления используется сливная вода из конденсаторов турбин.

При использовании искусственных источников водоснабжения вода, нагревшаяся при конденсации пара в конденсаторе, направляется в специальные устройства: пруды-охладители, брызгательные бассейны, башенные охладители (градирни). После охлаждения в этих устройствах вода вновь подается в конденсаторы. Такая система охлаждения называется оборотной.

Для охлаждения циркуляционной воды пользуются охлаждающими прудами, бассейнами и градирнями различных типов.

Для крупных теплосиловых установок применяются закрытые градирни, называемые также башенными охладителями. Они строятся с естественной и принудительной циркуляцией воздуха.

Схема градирни с естественной циркуляцией воздуха представлена на рисунке 12.4. Охлаждающая вода, прошедшая конденсатор, стекает на оросительное устройство 2, представляющее собой (при капельной конструкции) систему горизонтальных брусков с малыми зазорами между ними. Проходя оросительное устройство, вода разбрызгивается на мелкие капли, охлаждаемые движущимся навстречу воздухом, поступающим через жалюзи в нижней части градирни. При пленочной конструкции оросительного устройства вода стекает в виде пленки по вертикальным щиткам оросителя. Охлажденная вода собирается в бассейне 4, расположенном внизу градирни, и отсюда циркуляционным насосом 5 подается в конденсатор 6. Движение воздуха вверх обеспечивается высокой башней 1, действующей по принципу дымовой трубы. Для восполнения потерь в бассейн насосом 3 подается вода из близлежащего источника.

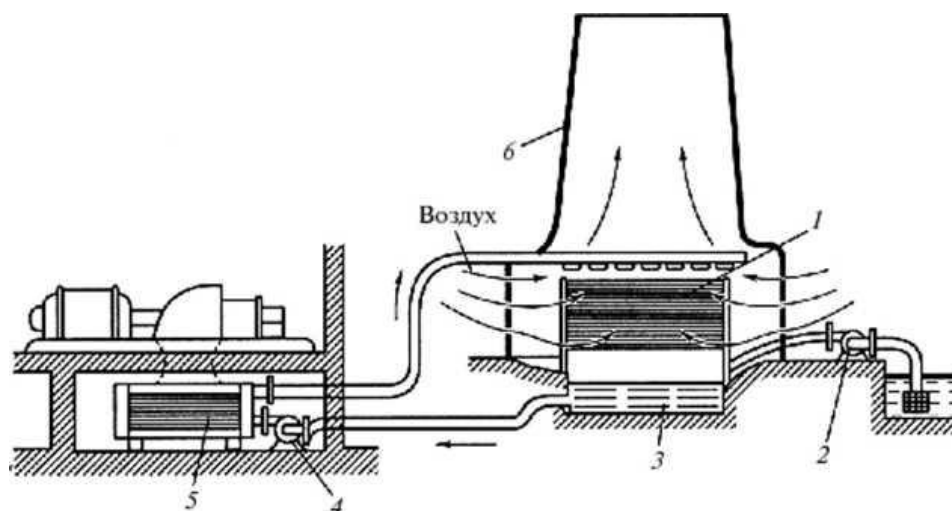


Рисунок 12.4 – Схема градирни с естественной циркуляцией воздуха: 1 – башня; 2 – оросительное устройство; 3 – дополнительный насос для подачи охлаждающей воды; 4 – бассейн с охлажденной водой; 5 – циркуляционный насос; 6 – конденсатор турбины

В градирнях с принудительной циркуляцией воздух подается вентилятором через специальные отверстия в нижней части градирни. В остальном эти градирни подобны предыдущим. Расход энергии на вентилятор составляет 1...2% от энергии, вырабатываемой на станции. Поэтому такие градирни применяются в тех случаях, когда атмосферные условия делают работу градирен с естественной циркуляцией ненадежной.

Иногда строятся градирни, в которых к естественной циркуляции добавляется принудительная (включение вентилятора), когда естественная тяга оказывается недостаточной.

Конструкция конденсаторов должна обеспечивать хорошую организацию процессов теплообмена между паром и охлаждающей водой и гарантировать глубокий вакуум (путем уменьшения сопротивления конденсаторов по паровой стороне и организации отсоса воздуха).

Корпуса конденсаторов (обычно сварной конструкции) устанавливаются на пружинных опорах, что облегчает компенсацию температурных деформаций. Трубки конденсаторов делаются из латуни (для морской воды применяется медно-никелевый сплав) и закрепляются в трубных досках вальцовкой. Применение латуни предотвращает коррозию трубок. Наиболее употребительные размеры трубок конденсатора 25 мм при толщине стенок 1 мм.

Водяные камеры конденсаторов часто бывают разделены вертикальной перегородкой на две половины. Это позволяет производить чистку внутренних поверхностей охлаждающих трубок одной половины конденсатора во время работы другой половины (чистка на ходу). При чистке конденсаторов на ходу нагрузку турбины приходится несколько снижать.

Для поддержания требуемого вакуума из конденсатора необходимо непрерывно удалять воздух. Для этого применяют специальные воздухоотсасывающие устройства. Наиболее распространенными из них являются пароструйные и водоструйные эжекторы.

Эжекторы (воздушные насосы) бывают паровыми, водяными и центробежными. В настоящее время наибольшее распространение получили паровые эжекторы. Одноступенчатый эжектор может создать разрежение до 650 мм рт. ст. Для получения более глубокого разрежения при хорошей экономичности эжектора применяют двух- и даже трехступенчатые эжекторы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Опишите принцип работы паровых активных и реактивных турбин.
- 2) Что такое относительный внутренний КПД ступени и от чего он зависит?
- 3) Чем определяются внутренние и внешние потери энергии в турбине?
- 4) Что такое относительный электрический КПД турбины и удельный расход пара?
- 5) Опишите назначение и устройство конденсационной установки паровых турбин.
- 6) Для чего применяют градирни на ТЭС?

ЛЕКЦИЯ 13. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

План лекции:

1. ***Классификация систем теплоснабжения.***
2. ***Системы источников тепла.***
3. ***Районные и промышленные отопительные котельные.***
4. ***Центральные тепловые пункты.***

13.1 Классификация систем теплоснабжения

Основное назначение любой системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты заданных параметров.

В зависимости от размещения источника теплоты по отношению к потребителям системы теплоснабжения подразделяются на *децентрализованные* и *централизованные*.

В децентрализованных системах источник теплоты и теплоприемники потребителей совмещены в одном агрегате или размещены столь близко, что передача теплоты от источника до тепло- приемников может производиться без промежуточного звена – тепловой сети.

В системах централизованного теплоснабжения источник теплоты и теплоприемники потребителей размещены раздельно, часто на значительном расстоянии, поэтому передача теплоты от источника до потребителей производится по тепловым сетям.

Процесс централизованного теплоснабжения состоит из трех последовательных операций: подготовки теплоносителя, передачи теплоносителя и использования теплоносителя.

Подготовка теплоносителя производится в специальных, так называемых теплоподготовительных установках на ТЭЦ, а также в городских, районных, групповых

(квартирных) или промышленных котельных.

Транспортируется теплоноситель по тепловым сетям и используется в теплоприемниках потребителей. Комплекс установок, предназначенных для подготовки, передачи и использования теплоносителя, составляет *систему централизованного теплоснабжения*.

Для передачи теплоты на большие расстояния применяются два теплоносителя: вода и водяной пар. Как правило, для удовлетворения сезонной нагрузки и нагрузки горячего водоснабжения в качестве теплоносителя используется вода, для промышленной технологической нагрузки – пар.

Если сравнить по основным показателям воду и пар, можно отметить следующие преимущества их друг перед другом.

Преимущества воды: сравнительно низкая температура воды, следовательно, температура поверхности нагревательных приборов; возможность транспортирования воды на большие расстояния без уменьшения ее теплового потенциала; возможность центрального регулирования тепловой отдачи систем теплоснабжения; возможность ступенчатого подогрева воды на ТЭЦ с использованием низких давлений пара и увеличения таким образом выработки электрической энергии на тепловом потреблении; простота присоединений водяных систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения к тепловым сетям; сохранение конденсата греющего пара на ТЭЦ или в районных котельных; большой срок службы систем отопления и вентиляции.

Преимущества пара: возможность применения пара не только для тепловых потребителей, но также для силовых и технологических нужд; быстрый прогрев и быстрое остывание систем парового отопления, что представляет собой ценность для помещений с периодическим обогревом; пар низкого давления (обычно применяемый в системах отопления зданий) имеет малую объемную массу (примерно в 1650 раз меньше объемной массы воды); это обстоятельство в паровых системах отопления позволяет не учитывать гидростатическое давление и создает возможность применять пар в качестве теплоносителя в многоэтажных зданиях, паровые системы теплоснабжения по тем же соображениям могут применяться при самом неблагоприятном рельефе местности теплоснабжаемого района; более низкая первоначальная стоимость паровых систем ввиду меньшей поверхности нагревательных приборов и меньших диаметров трубопроводов; простота начальной регулировки вследствие самораспределения пара; отсутствие расхода энергии на транспортирование пара.

К недостаткам пара можно отнести: повышенные потери теплоты паропроводами из-за более высокой температуры пара; срок службы паровых систем отопления значительно меньше, чем водяных, из-за интенсивной коррозии внутренней поверхности конденсаторов.

Принимая во внимание сказанное, несмотря на некоторые преимущества пара как теплоносителя последний применяется в системах теплоснабжения значительно реже воды и то лишь для тех помещений, где нет длительного пребывания людей. Строительными нормами и правилами паровое отопление разрешается применять в торговых помещениях, банях, прачечных, кинотеатрах, в промышленных зданиях. В жилых зданиях паровые системы не применяются.

В системах воздушного отопления и вентиляции любых зданий разрешается

применение пара в качестве первичного (нагревающего воздух) теплоносителя. Применять его также можно для нагревания водопроводной воды в системах горячего водоснабжения.

Параметрами теплоносителей называют температуру и давление. Вместо давления в практике эксплуатации широко пользуются другой единицей – напором.

Вода как теплоноситель характеризуется различными температурами до системы теплоснабжения (нагревательного прибора) и после системы теплоснабжения.

Температура воды в системах теплоснабжения должна соответствовать давлению, при котором не будет вскипания (например, вода при температуре 150°C должна иметь давление не менее 0,4 МПа).

Повышение температуры воды в источнике теплоснабжения (у генератора теплоты) ведет к снижению количества перекачиваемой воды, уменьшению диаметров труб и расходов энергии на перекачку.

В системах парового теплоснабжения применяется пар различных давлений.

В системах парового отопления низкого давления 0,005–0,07 МПа.

В системах парового отопления высокого давления более 0,07 МПа.

Для промышленной технологической нагрузки применяется пар с более высокими давлениями.

13.2 Системы источников тепла

Большая часть тепловой нагрузки при теплофикации покрывается отработавшей теплотой, получаемой от установленных на ТЭЦ теплофикационных турбин, в которых электрическая энергия вырабатывается комбинированным методом.

В России на современных ТЭЦ, работающих на органическом топливе, устанавливаются, как правило, теплофикационные турбины большой единичной мощности 50...250 МВт на высокие и критические начальные параметры (13 и 24 МПа) двух основных типов: конденсационные с отбором пара (Т и ПТ), с противодавлением (Р).

В теплоподготовительных установках на современных ТЭЦ с крупными теплофикационными турбинами предусматривается многоступенчатый подогрев сетевой воды. Для этого используют пар из отборов турбины, водогрейные котельные агрегаты, а в некоторых схемах отработавший пар турбины (встроенные теплофикационные пучки в конденсатор турбины).

13.3 Районные и промышленные отопительные котельные

При районном теплоснабжении источник теплоты – районная котельная может быть паровой или водогрейной с установкой в ней паровых или водогрейных котельных агрегатов. В том и другом случае, это надо особо подчеркнуть, в котельной вырабатывается только один вид энергии – тепловая энергия, для выработки которой и сжигается топливо в топках котельных агрегатов. Тепловая энергия отпускается потребителям в виде пара или горячей воды.

На рис. 9.1 приведена схема централизованного теплоснабжения от водогрейной котельной. В котельном агрегате В К происходит нагрев воды путем сжигания топлива; нагретая вода по теплопроводам (подающему П и обратному О) тепловой сети циркулирует с помощью сетевых насосов СН: по подающему – к потребителям теплоты (/), П и

III), а по обратному – от потребителей теплоты к насосам и снова в котельный агрегат. В системах потребителей вода охлаждается, передавая часть своего теплового потенциала или воздуху помещений, или водопроводной воде, или воздуху в системах вентиляции. Перед котельным агрегатом вода проходит грязевик Гр, где из воды удаляются взвешенные механические примеси (окалина, песок, коррозионные отложения и другие частицы, как-либо попавшие в трубопроводы при монтаже или ремонтах).

Потребитель I представляет собой систему горячего водоснабжения, потребители II и III – системы отопления зданий.

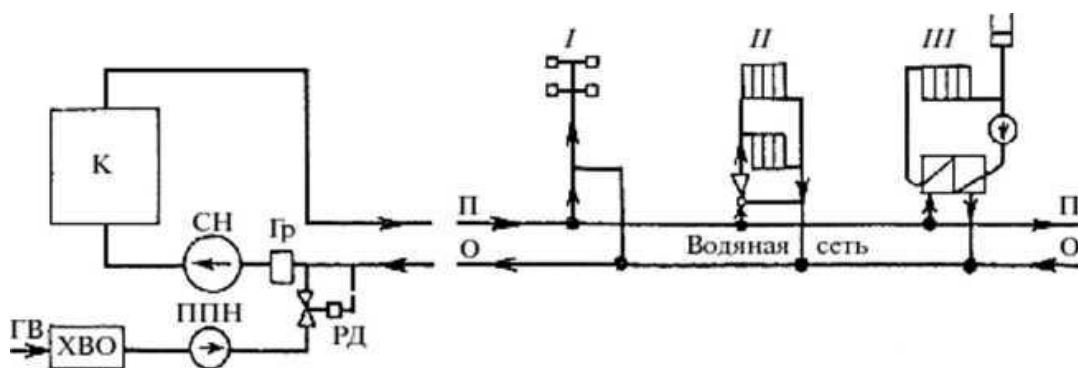


Рисунок 13.1 – Схема теплоснабжения от районной водогрейной котельной: ВК – водогрейный котел; ГВ– городской водопровод; Гр – грязевик; О – отвод горячей воды; П – подвод горячей воды; ППН – питательный подпиточный насос; РД – регулятор давления; СН – сетевой насос; ХВО – химводоочистка; I – водоразбор сетевой воды; II – система отопления (зависимое присоединение); III – система отопления (независимое присоединение)

В котельной предусмотрена химводоочистительная (ХВО) установка по подготовке воды. В ней подготавливается вода перед заполнением сети в начале эксплуатации и во время эксплуатации; подача воды осуществляется питательным подпиточным насосом ППН автоматически с помощью регулировочного клапана РД. В ХВО вода может умягчаться, освобождаться от растворенных кислорода и углекислоты, а также от нерастворенных механических примесей.

Умягчение воды устраняет интенсивное образование накипи, а удаление из воды кислорода, углекислоты и нерастворимых примесей предотвращает возникновение коррозии и загрязнение элементов систем теплоснабжения.

Подпиткой тепловых сетей называется процесс восполнения потерь или разбора воды из теплопроводов или систем потребителей теплоты.

Подпиточная вода должна удовлетворять требованиям норм, приведенным в СНиП 11-36-73.

Умягчение воды осуществляется в основном способами, применяемыми на электрических станциях. Имеется тенденция применения безреагентной обработки, не требующей химических веществ. Чаще всего для снижения временной жесткости применяют пропуск подпиточной воды через катионитовые фильтры, заполненные сульфогуглем или другими катионитовыми материалами.

Известны и применяются также другие методы умягчения воды: подкисления

серной или соляной кислотой, микрофосфатирование, присадка сернокислого алюминия.

В последнее время в некоторых случаях применяется магнитная обработка воды с целью снижения накипеобразующей способности при которой поток воды пропускается через поле постоянного магнита или электромагнита.

Деаэрация воды (удаление из нее кислорода и углекислоты) осуществляется в термических деаэраторах атмосферного или вакуумного типа в зависимости от давления греющего пара. При отсутствии пара разработаны способы получения пара из сетевой воды с применением деаэрации под глубоким вакуумом. Могут применяться также методы химической деаэрации, при которых кислород в воде связывается химическим реагентом (сульфитирование). Известны методы стабилизации воды магномассой; при этом на трубах образуется защитная окислокарбонатная пленка, изолирующая металл труб от воды и защищающая от коррозии.

Схема централизованного теплоснабжения от паровой котельной представлена на рисунке 13.2. В этом случае в котельной подготавливаются два теплоносителя – вода и пар – и имеются два вида тепловых сетей – паровые и водяные. Пар вырабатывается в паровых котельных агрегатах (К) и подается к потребителям теплоты по паровым сетям и к водоподогревателям (В), откуда горячая вода направляется к потребителям горячей воды по водяным сетям.

Циркуляция воды осуществляется сетевыми насосами (СН). Потребители теплоты в виде воды те же, что и на рисунке 13.1. От потребителей пара конденсат поступает по конденсатопроводам в котельную и сливается в конденсатный бак (Б); туда же сливается и конденсат после водоподогревателей. Из бака конденсат питательными насосами (ПН) подается в котельный агрегат для повторного парообразования.

Потребителями пара могут быть технологические аппараты промышленных предприятий *I* и системы отопления зданий *II* и *III*.

Водогрейные районные котельные сооружаются в жилых районах, а паровые котельные – на территории промышленных комплексов, и поэтому последние часто называются промышленными котельными.

В крупных районных водогрейных котельных чаще всего используются газомазутные котлоагрегаты

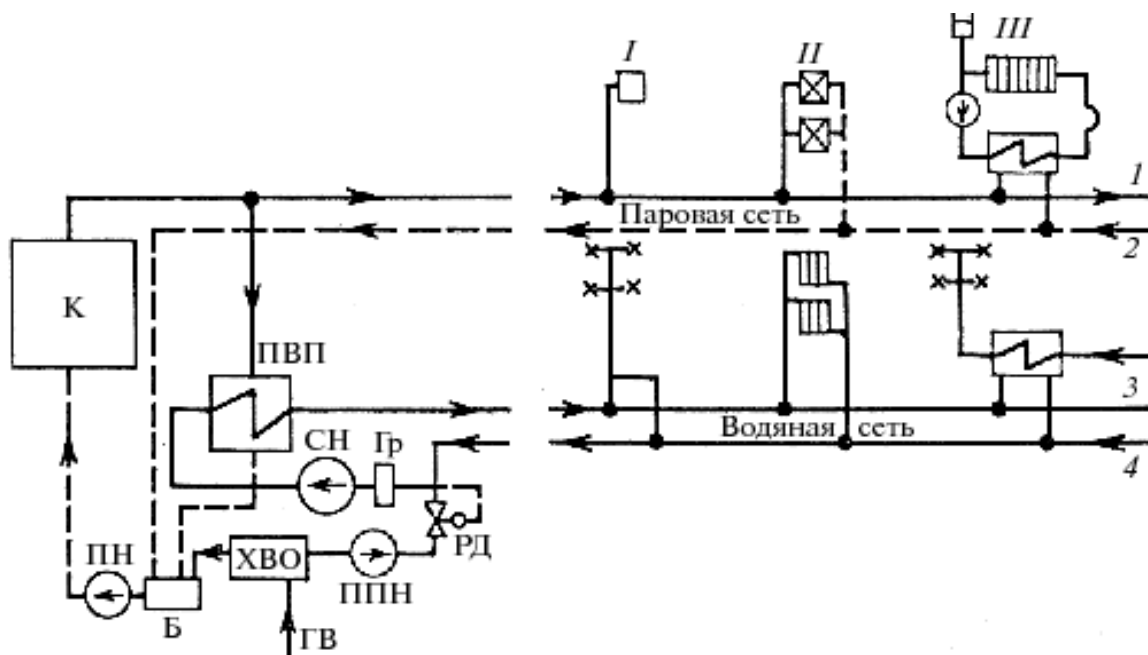


Рисунок 13.2 – Схема теплоснабжения от паровой промышленной котельной: 1 – пар; 2 – конденсат; 3 – горячий трубопровод; 4 – обратный трубопровод; ПН – питательный насос; Б – конденсационный бак; ПВП – пароводяной подогреватель

13.3 Центральные тепловые пункты (ЦТП)

Как указывалось ранее, если вода циркулирующая в теплосети (ее называют *сетевой водой*) частично отбирается для горячего водоснабжения, то систему теплоснабжения называют *открытой* (разомкнутой). Если же вода, циркулирующая в теплосети, не отбирается абонентами, а только отдает им теплоту, то систему теплоснабжения называют *закрытой* (замкнутой). Абонентскими установками называют собственно теплопотребляющие установки, например отопительный прибор, водоразборный кран.

Схемы присоединения абонентских установок к теплосетям (абонентские вводы) в этих случаях отличаются. Различны схемы присоединения абонентских установок в одно-, двух- и трехтрубных (многотрубных) системах теплоснабжения.

Водяные системы теплоснабжения чаще всего выполняют двухтрубными: одна труба служит в качестве подающей для горячей воды, а другая – в качестве обратной для охлажденной у абонента воды.

Большинство зданий – как жилых, общественных, так и промышленных – имеют системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Указанные системы присоединены к одному тепловому пункту. Подача теплоносителя от тепловых сетей к тепловому пункту и отвод использованного теплоносителя осуществляется по общим теплопроводам. Таким образом, тепловой пункт является связующим звеном между тепловой сетью и системами потребителей теплоты.

Основным назначением теплового пункта является прием, подготовка теплоносителя и подача его в системы теплопотребления, а также возврат использованного (отдавшего теплоту) теплоносителя в тепловую сеть. Если тепловой пункт предназначен для одного здания, он называется индивидуальным тепловым

пунктом (ИТП), а если от него подается теплоноситель для группы зданий, он называется центральным тепловым пунктом (ЦТП).

Центральные тепловые пункты широко применяются на промышленных предприятиях, а также в городских жилых районах.

Тепловые пункты – как ИТП, так и ЦТП – оснащаются подогревателями горячего водоснабжения, приборами авторегулирования для поддержания заданных параметров теплоносителя, приборами контроля и учета теплоты, насосами горячего водоснабжения, установками по подготовке воды, а также устройствами для регулирования отпуска теплоты.

В качестве примера на рисунке 13.3 изображена схема присоединения абонентских установок к тепловым сетям через ЦТП.

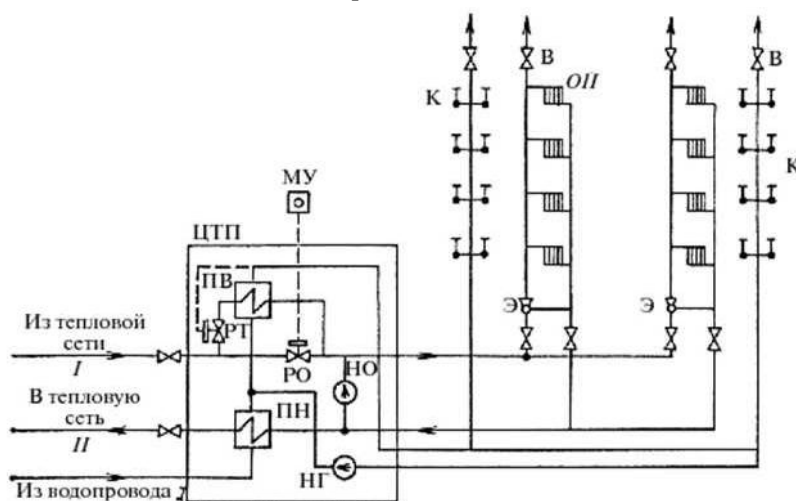


Рисунок 13.3 – Схема присоединения отопления и горячего водоснабжения группы зданий к тепловой сети через тепловой пункт: В – воздушный кран; К – водоразборный кран; НО – насос отопления смесительный; НГ – насос горячего водоснабжения циркуляционный; ПН – подогреватель горячего водоснабжения нижней ступени; ПВ – подогреватель горячего водоснабжения верхней ступени; РТ – регулятор температуры воды; РО – регулятор температуры отапливаемых помещений; МУ – моделирующее устройство; Э – элеватор; ОП – отопительный прибор

Вода из подающего трубопровода теплосети частично проходит через регулятор (РО) непосредственно к элеваторам (Э) абонентов, а в остальной части проходит через подогреватель (ПВ), где охлаждается за счет нагрева водопроводной воды и далее смешивается с водой, прошедшей через РО. Часть воды, отдавшая теплоту в отопительных приборах ОП возвращается в обратный трубопровод теплосети, а другая часть подхватывается НО и вновь возвращается в отопительные приборы в смеси с водой, поступившей из подающей магистрали теплосети через РО и ПВ. Водопроводная вода нагревается сначала в ПН за счет энергии обратной сетевой воды, а затем в ПВ водой из подающей магистрали и далее направляется к водоразборным кранам (К). Неиспользованная в кранах вода рециркулирует в этом контуре, для чего подается в линию водопроводной воды между ПН и ПВ.

Преимуществом схемы присоединения через ЦТП является то, что тепловой пункт обслуживает сразу группу зданий, поэтому позволяет обходиться без индивидуальных

регуляторов. При этом в качестве импульса для регулирования отопления могут быть использованы либо температура воздуха в отапливаемом помещении, либо температура воздуха в устройстве, моделирующем температурный режим в отапливаемых помещениях.

На центральных тепловых пунктах обычно размещаются центральные водоводяные подогреватели для отопления и горячего водоснабжения, центральная смесительная насосная установка сетевой воды, подкачивающие насосы холодной водопроводной и сетевой воды, приборы для измерений и автоматизации.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Опишите классификацию систем теплоснабжения и назовите основные параметры теплоносителей.
- 2) Назовите основные источники теплоты в теплоснабжении.
- 3) Как оценивается энергетическая эффективность теплофикации?
- 4) Назовите различие между районной и промышленной отопительной котельной.
- 5) Для чего используют ЦТП и какие теплообменные аппараты в них применяют?

ЛЕКЦИЯ 14. ОТРАСЛЕВОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

План лекции:

- 1. Способы энергосбережения в промышленности***
- 2. Организационные мероприятия по энергосбережению***
- 3. Технические мероприятия по энергосбережению***

14.1 Способы энергосбережения в промышленности

Способов энергосбережения в промышленности очень много. У энергосбережения есть две главные мотивации: энергия и деньги. Если доступ к энергии лимитирован, то это дополнительный мотив к экономии (например, лимиты на использование газа). Но главный стимул - это всё-таки деньги. Поэтому рассматривать проблематику энергосбережения лучше комплексно: энергосбережение - как одно из направлений сокращения издержек.

Способов энергосбережения в промышленности очень много. У энергосбережения есть две главные мотивации: энергия и деньги. Если доступ к энергии лимитирован, то это дополнительный мотив к экономии (например, лимиты на использование газа). Но главный стимул - это всё-таки деньги. Поэтому рассматривать проблематику энергосбережения лучше комплексно: энергосбережение - как одно из направлений сокращения издержек. При такой схеме процессы, связанные с энергосбережением и сокращением издержек на приобретение и использование энергии и энергоресурсов можно условно разделить следующим образом.

14.2 Организационные мероприятия

Внутренний финансовый аудит и определение доли энергозатрат в структуре себестоимости;

Энергетическое обследование предприятия;

Составление энергетического паспорта предприятия и его отдельных объектов;

Разработка мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности применительно к технологическим условиям деятельности предприятия;

Разработка положения о материальном стимулировании получения эффекта от проведения мероприятий повышения энергоэффективности и снижения издержек на приобретение энергоресурсов;

Аудит договоров энергоснабжения предприятия и их оптимизация;

Планирование и организация коммерческого учёта потребления энергии и энергоресурсов;

Планирование и организация технологического учёта потребления энергии и энергоресурсов;

Реализация незатратных организационных мероприятий по энергосбережению;

Обучение персонала правилам энергосбережения и рационального использования энергоресурсов;

Информационное обеспечение энергосбережения (регламент совещаний, распространения организационной и технической информации)

Реализация малозатратной части мероприятий энергосбережения;

Бизнеспланирование мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше 1 года;

Реализация мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше одного года;

Мониторинг исполнения внутренних регламентов энергопользования;

Мониторинг исполнения договоров на поставку энергетических ресурсов;

Мониторинг технического состояния приборов учёта потребления энергии и энергоресурсов и системы коммерческих расчетов;

Мониторинг исполнения мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;

Организация финансового и бухгалтерского учёта при реализации мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;

Материальное и моральное стимулирование участников энергосберегающих мероприятий.

14.3 Технические мероприятия по повышению энергоэффективности в промышленности

К техническим мероприятиям по повышению энергоэффективности в промышленности относятся:

– установка узлов учета тепла на предприятии и его объектах (резко снижает затраты на тепло, окупаемость затрат на установку узла учета 2-6 мес., установка узлов регулирования подачи теплоносителя в теплопунктах снижает расход тепла на 20-30%);

– технологически оправданная замена систем объемного нагрева на локальные ИК - системы обогрева (снижает затраты на обогрев помещений в 2-5 раз. Окупаемость 9

–18 мес);

- замена традиционных схем обогрева на подогрев полов прокладкой пластиковых труб (снижает издержки на отопление в 1,7 раза. Окупаемость 1-2 года);

- установка блочных миникотельных на удалённых объектах (снижает издержки от 2 до 6 раз, окупаемость 1-1,5 года);

- установка электротеплогенераторов на базе ПГУ, ГПС, ГТУ. (снижает издержки предприятия на приобретение электроэнергии, теплоснабжение в 2-4раза. Окупаемость при оптимальной нагрузке 2-3 года);

- теплоизоляция наружных теплотрасс (срок окупаемости - 1 отопительный сезон);

- снижение температуры обратной сетевой воды (подогрев полов помещений, воздуха, поступающего в помещения);

- отбор тепла из промышленных стоков, канализации, технологических сред (установка тепловых насосов, окупаемость 6-12 месяцев);

- замена градирен на пароструйные инжекторы (использование тепла пара, жидкостей для отопления или иных производственных нужд окупаемость 6-12 месяцев);

- внедрение систем частотного регулирования в приводах электродвигателей в системах вентиляции, на насосных станциях и других объектах с переменной нагрузкой (дает экономию электроэнергии 40-70%, на насосных станциях дополнительно по теплу 20%, по воде 15-20%. Окупаемость 3-18 мес);

- оптимизация нагрузки низковольтных трансформаторов(до 10% снижения потерь;

- автоматизация управлением вентсистем- снижение потребления 10-15% при окупаемости 5 мес;

- установка счетчиков воды на производственных участках, корпусах (снижает расход воды в 2 и более раз. Окупаемость 2-3 мес);

- внедрение систем оборотного водоснабжения (снижает расход воды до 95%, окупаемость до 1 года);

- использование нажимных кранов снижает расход воды в 4-6 раз;

- внедрение схем рекуперации и автоматизации процесса горения в нагревательных и кузнечных печах экономит 30-50% газа;

- внедрение энергоэффективных светильников новых конструкций (Применение люминесцентных ламп снижает потребление в 5 раз, светодиодных светильников в 8 раз. Окупаемость 9-15 мес.)

- внедрение модернизированных пусковых реле(снижает потребление в 2,2 раза, увеличивает срок работы ламп в 2 раза);

- внедрение реле – регуляторов светильников снижает расход до 40%. Окупаемость 2 мес.

- очистка окон (позволяет снизить затраты на освещение на 30-40%);

- покраска стен помещений светлой краской (позволяет снизить затраты на освещение на 10 %);

- применение световолоконной подсветки при освещении подвалов и глухих помещений (позволяет частично отказаться от применения электроосвещения и

использовать централизованные светодиодные подсветки в тёмное время суток);

- внедрение графиков отопления, освещения снижает расход до 20% в производственных помещениях, до 40% в административных.

- использование вторичных энергоресурсов (например: опилки, щепа в газогенераторных установках, отходы производства в экологических утилизаторах, рекуператоры в системах вентиляции. В настоящее время используется не более 10-15% ВЭР. Стоимость произведенной энергии от ВЭР в 3-4 раза ниже поставляемой. Окупаемость по мероприятиям до 2 лет.)

- герметизация зданий (окна, двери, швы, подвалы, выходы вентиляции, инженерных коммуникаций. Снижает потребление тепла на 10-15%, окупаемость 2-4 месяца);

- устранение и термоизоляция мостиков холода в конструкциях здания (окупаемость 1-2 месяца);

- использование отработанного тепла холодильников и кондиционеров для подогрева воды;

- установка ИК- отражающего остекления (снижает лучистые потери через окна до 50%, обеспечивает повышение комфортности как в зимний, так и в летний период);

- совместные мероприятия по теплоизоляции, герметизации, снижению лучистых потерь дают снижение теплотребления в 2-3 раза. Окупаемость мероприятий 1,5-2,5 года;

- установка тепловых насосов в подвалах (обеспечивает дополнительное отопление зимой и снижение затрат на кондиционирование летом. Окупаемость до года);

- подогрев притока воздуха в помещение за счёт его подогрева отводимыми газами;

- установка солнечных коллекторов для подогрева воды и отопления;

- применение фотопреобразователей и солнечных батарей для энергообеспечения.

Разумеется, перечень этот далеко не полный. По расхожему определению специалистов - энергосбережение это интеллектуальный продукт по изысканию возможностей повышения энергоэффективности и, добавим, по сокращению издержек энергопользования. Поэтому и способов хорошо жить, используя минимальное количество ресурсов, имеется великое множество. Тем более, в той обстановке потрясающей энергонеэффективности, в которой мы оказались.

Президентская задача повышения энергоэффективности на 40% - это далеко не предел! Зарубежная практика повышения энергоэффективности, показала, что снижение энергозатрат в 3-4 раза - дело обычное. А у них там исходно порядка было больше. Не сразу, конечно, но постепенно и в нашей стране есть все возможности для решения этой задачи.

ЛЕКЦИЯ 15. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ И В ЖКХ

План лекции:

1. Основные направления энергосбережения в быту

2. Способы экономии электроэнергии

3. Экономия тепла

4. Экономия воды

5. Экономия газа

15.1 Основные направления энергосбережения в быту

В зависимости от климатических условий, типа и размера жилища, систем отопления, наличия газа конкретные мероприятия, направленные на экономии ресурсов, могут отличаться. Но основными направлениями повышения энергоэффективности в быту являются:

Экономия тепла. Утепление стен, потолков и подвалов. Замена окон и дверей на новые металлопластиковые или уплотнение старых, заделка щелей и дыр. Установка за батареей отопления алюминиевой фольги или теплоотражающего экрана. Замена чугунных радиаторов на биметаллические или алюминиевые. Остекление лоджии и балкона. Все мероприятия в комплексе помогут повысить температуру в помещении на 4-5 градусов без увеличения расхода энергоносителя.

Экономия воды. Установка прибора учета потребленной воды. Замена поворотных кранов на смесителях рычажными переключателями. Проверка и ремонт сливного бачка в туалете, установка двухкнопочного бачка. Реже принимать ванну, больше пользоваться душем. Не включать воду полной струей без особой надобности. При бритье и чистке зубов закрывать кран. Пользоваться посудомоечной и стиральной машиной при относительно полной их загрузке. В целом можно добиться сокращения расхода воды в 3-4 раза.

Экономия газа. При индивидуальном газовом отоплении все мероприятия, направленные на сохранение тепла и горячей воды, автоматически ведут к экономии газа. При приготовлении пищи рационально пользоваться современной посудой из нержавеющей стали с полированным дном. Вся посуда должна быть чистой и ровной, соответствовать размеру конфорки. Проверить плотность прилегания дверцы духовки, чтобы не выходил горячий воздух. Перспектива снижения затрат – в 2-3 раза.

15.2 Способы экономии электроэнергии в быту

Существует большое количество методов снижения расхода электричества, некоторые из них требуют относительно больших финансовых вложений, некоторые совершенно простые.

Среди наиболее часто применяемых:

Замена ламп накаливания на светодиодные или люминесцентные. Потраченные средства компенсируются достаточно быстро за счет снижения потребления электроэнергии и гораздо более длительного срока службы, за время которого лампочка окупается 8-10 раз.

Максимальное использование естественного освещения. Лучше поднять жалюзи на окнах, отдернуть или снять плотные шторы, вымыть окна. Это позволит включать свет гораздо позже. Ремонт квартиры в светлых тонах позволит реже пользоваться электричеством днем.

Поэтапная или единовременная замена бытовых приборов на новые с классом энергосбережения А. Они потребляют электрики приблизительно на 50 % меньше, чем старые.

Установка холодильника вдали от плиты и батарей отопления в хорошо вентилируемом месте. Регулярная его разморозка и замена, в случае необходимости, уплотнителя на дверцах.

Выключение света при выходе из комнаты больше чем на 5 минут. Уменьшение использования электроприборов в режиме ожидания может сохранить до 300 кВт электричества в год. Установка автоматического перевода компьютера в спящий режим при прекращении работы на нем.

Рациональное использование электроплиты, применение качественной посуды с ровным дном. Своевременное выключение плиты, использование меньшего количества воды для готовки, в процессе приготовления пищи накрывать кастрюлю крышкой.

Замените обычные лампы накаливания на энергосберегающие люминисцентные. Срок их службы в 6 раз больше лампы накаливания, потребление ниже в 5 раз. За время эксплуатации лампочка окупает себя 8-10 раз.

Применяйте местные светильники когда нет необходимости в общем освещении.

Возьмите за правило выхода из комнаты гасить свет.

Отключайте устройства, длительное время находящиеся в режиме ожидания. Телевизоры, видеоманитофоны, музыкальные центры в режиме ожидания потребляют энергию от 3 до 10 Вт. В течение года 4 таких устройства, оставленные в розетках зарядные устройства дадут дополнительный расход энергии 300-400 кВт*час.

Применяйте технику класса энергоэффективности не ниже А. Дополнительный расход энергии на бытовые устройства устаревших конструкций составляет примерно 50%. Такая бытовая техника окупится не сразу, но с учетом роста цен на энергоносители влияние экономии будет все больше. Кроме того, такая техника, как правило, современнее и лучше по характеристикам.

Не устанавливайте холодильник рядом с газовой плитой или радиатором отопления. Это увеличивает расход энергии холодильником на 20-30%

Уплотнитель холодильника должен быть чистым и плотно прилегать к корпусу и дверце. Даже небольшая щель в уплотнении увеличивает расход энергии на 20-30%.

Охлаждайте до комнатной температуры продукты перед их помещением в холодильник.

Не забывайте чаще размораживать холодильник.

Не закрывайте радиатор холодильника, оставляйте зазор между стеной помещения и задней стенкой холодильника, чтобы она могла свободно охлаждаться.

Если у Вас на кухне электрическая плита, следите за тем, что бы ее конфорки не были деформированы и плотно прилежали к днищу нагреваемой посуды. Это исключит излишний расход тепла и электроэнергии. Не включайте плиту заранее и выключайте плиту несколько раньше, чем необходимо для полного приготовления блюда.

Кипятите в электрическом чайнике столько воды, сколько хотите использовать.

Применяйте светлые тона при оформлении стен квартиры. Светлые стены, светлые шторы, чистые окна, разумное количество цветов сокращают затраты на освещение на 10-15%.

Записывайте показания электросчетчиков и анализируйте каким образом можно сократить потребление.

В некоторых домах компьютер держат включенным постоянно. Выключайте его или переводите в спящий режим, если нет необходимости в его постоянной работе. При непрерывной круглосуточной работе компьютер потребляет в месяц 70-120 кВт*ч в месяц. Если непрерывная работа нужна, то эффективнее для таких целей использовать ноутбук или компьютер с пониженным энергопотреблением.

В целом вполне реально сократить потребление электроэнергии на 40-50% без снижения качества жизни и ущерба для привычек.

15.3 Экономия тепла

Наша страна северная и утеплять свое жилище - нормальное явление. Есть несколько простых способов утепления:

Заделка щелей в оконных рамах и дверных проемах. Для этого используются монтажные пены, саморасширяющиеся герметизирующие ленты, силиконовые и акриловые герметики и т.д. Результат - повышение температуры воздуха в помещении на 1-2 градуса.

Уплотнение притвора окон и дверей. Используются различные самоклеющиеся уплотнители и прокладки. Уплотнение окон производится не только по периметру, но и между рамами. Результат - повышение температуры внутри помещения на 1-3 градуса.

Установка новых пластиковых или деревянных окон с многокамерными стеклопакетами. Лучше если стекла будут с теплоотражающей пленкой, и в конструкции окна будут предусмотрены проветриватели. Тогда температура в помещении будет более стабильной и зимой и летом, воздух будет свежим и не будет необходимости периодически открывать окно, выбрасывая большой объем теплого воздуха. Результат - повышение температуры в помещении на 2-5 градусов и снижение уровня уличного шума.

Установка второй двери на входе в квартиру (дом). Результат - повышение температуры в помещении на 1-2 градуса, снижение уровня внешнего шума и загазованности.

Установка теплоотражающего экрана (или алюминиевой фольги) на стену за радиатор отопления. Результат - повышение температуры в помещении на 1 градус.

Старайтесь не закрывать радиаторы плотными шторами, экранами, мебелью - тепло будет эффективнее распределяться в помещении.

Закрывайте шторы на ночь. Это помогает сохранить тепло в доме.

Замените чугунные радиаторы на алюминиевые. Теплоотдача этих радиаторов на 40-50% выше. Если радиаторы установлены с учетом удобного съема, имеется возможность регулярно их промывать, что так же способствует повышению теплоотдачи.

Остекление балкона или лоджии эквивалентно установке дополнительного окна. Это создает тепловой буфер с промежуточной температурой на 10 градусов выше, чем на улице в сильный мороз.

Не редкость, когда есть проблема не с недостатком тепла, а с его избытком. В связи с этим планируется начиная с 2012 года приступить к установке поквартирных

теплосчетчиков. Это вынудит жителей регулировать температуру не форточкой, а вентилями-термостатами, установленными на радиаторы.

15.4 Экономия воды

Установите счетчики расхода воды. Это будет мотивировать к сокращению расходования воды.

Устанавливайте рычажные переключатели на смесители вместо поворотных кранов. Экономия воды 10-15% плюс удобство в подборе температуры.

Не включайте воду полной струей. В 90% случаев вполне достаточно небольшой струи. Экономия 4-5 раз.

При умывании и принятии душа отключайте воду, когда в ней нет необходимости.

На принятие душа уходит в 10-20 раз меньше воды, чем на принятие ванны.

Существенная экономия воды получится при применении двухкнопочных сливных бачков.

Необходимо тщательно проверить наличие утечки воды из сливного бачка, которая возникает из-за старой фурнитуры в бачке. Заменить фурнитуру дело копеечное, а экономия воды внушительная. Через тонкую струйку утечки вы можете терять несколько кубометров воды в месяц.

Проверьте как работает "обратка" на подаче горячей воды. Если нет циркуляции при подаче, то Вы будете вынуждены прокачивать воду через стояки соседей до тех пор, пока не получите ее горячей в своей квартире. Разумеется при этом дорогая "горячая" вода просто сливается в канализацию.

15.5 Экономия газа

Экономия газа, прежде всего, актуальна, когда установлены счетчики газа в квартирах, где есть индивидуальные отопительные пункты, и в частных домах с АОГВ. В этом случае все меры по экономии тепла и горячей воды приводят к экономии газа.

В то же время при приготовлении пищи также имеются возможности сэкономить газ.

Пламя горелки не должно выходить за пределы дна кастрюли, сковороды, чайника. В этом случае Вы просто греете воздух в квартире. Экономия 50% и более.

Деформированное дно посуды приводит к перерасходу газа до 50%;

Посуда, в которой готовится пища должна быть чистой и не пригоревшей. Загрязненная посуда требует в 4-6 раз больше газа для приготовления пищи.

Применяйте экономичную посуду, эти качества обычно рекламирует производитель. Самые энергоэкономичные изделия из нержавеющей стали с полированным дном, особенно со слоем меди или алюминия. Посуда из алюминия, эмалированная, с тефлоновым покрытием весьма не экономичны.

Рекомендуется устанавливать прокладки из алюминиевой фольги под горелку. В этом случае плита не так греется и пачкается, а газ используется экономичнее.

Дверца духовки должна плотно прилегать к корпусу плиты и не выпускать раскаленный воздух.

В целом, просто экономное использование газа дает сокращение его потребления в 2 раза, использование предлагаемых мер примерно в 3 раза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника. М.: Высшая школа, 1980. – 749 с.
2. Бальян С. В. Техническая термодинамика и тепловые двигатели. – М.: Машиностроение, 1973. – 620 с.
3. Баптиданов А.Н., Тарасов В. И. Электрические станции и подстанции. – М.: Энергия, 1982. – 548 с.
4. Безруких И. И. Состояние и тенденции развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии // Электрика. 2003. № 4, с. 42.
5. Белей В. Ф. Выбор ветроустановок на основе опыта эксплуатации ветропарка Калининградской области // Электрика. 2003. № 2, с. 35.
6. Белинский С. И., Липов Ю.М. Энергетические установки электростанций. – М.: Энергия, 1974. – 422 с.
7. Беляков Ю.С. Основы энергетики (конспект лекций). Учебное пособие – Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. – 80 с.
8. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика. Учебник для СПО. – М.:КноРус, 2016. – 296 с.
9. Велихов Е. П. Новые тенденции в энергетической стратегии России // Перспективы энергетики. – М.: Московский Международный Энергетический Клуб. 2002. Т. 6. № 2, с. 28.