

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРНО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

О.В. Шпак

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Методические рекомендации
для обучающихся направления подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

г. Черкесск, 2024 г.

УДК 004.8
ББК 32.81
Ш 83

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СКГА.
Протокол № 26 от «29» 09. 2023 г.

Рецензенты: Дудов М.Х. – к.т.н., доцент кафедры
«Электроснабжение»

Ш83 Шпак, О.В. Общая энергетика: методические рекомендации для обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / О.В. Шпак. – Черкесск: БИЦ СКГА, 2024. – 60 с.

В методической рекомендации приведены необходимые теоретические сведения по дисциплине «Общая энергетика». Представлены задания для самостоятельной работы обучающихся всех форм обучения по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

УДК 004.8
ББК 32.81

© Шпак О.В., 2024
© ФГБОУ ВО СКГА, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Раздел 1. Общие понятия и определения дисциплины.	6
Тема 1. История развития энергетики.	6
Тема 2. Типы электростанций.	7
Раздел 2. Теоретические основы преобразования энергии в паросиловых установках.	10
Тема 1. Основной цикл паросиловой установки.	10
Тема 2. Влияние параметров пара на величину к.п.д. цикла Ренкина.	11
Раздел 3. Способы повышения эффективности циклов паросиловых установок.	12
Тема 1. Регенеративный подогрев питательной воды. Цикл со вторичным перегревом пара.	12
Тема 2. Теплофикационный цикл.	13
Тема 3. Котельные установки. Основные элементы конструкции.	14
Тема 4. Вспомогательное оборудование котельной установки.	14
Раздел 4. Паровые турбины.	20
Тема 1. Основные элементы конструкции.	20
Тема 2. Конденсационные и теплофикационные паровые турбины.	22
Раздел 5. Принципиальные тепловые схемы ТЭС.	24
Тема 1. Особенности тепловых схем КЭС.	24
Тема 2. Разновидности тепловых схем ТЭЦ.	25
Раздел 6. Ядерные энергетические установки.	26
Тема 1. Типы ядерных реакторов.	26
Тема 2. Принципиальные тепловые схемы АЭС.	28
Раздел 7. Гидроэнергетические установки.	29
Тема 1. Процесс преобразования гидроэнергии в электрическую.	29
Тема 2. Современные проблемы комплексного использования гидроресурсов.	39
Методические рекомендации к самостоятельной работе студентов.	42
Вопросы для контрольной работы	54
Рекомендуемая литература.	58

ВВЕДЕНИЕ

Потребление энергии является обязательным условием существования человечества. История цивилизации – история изобретения все новых и новых методов преобразования энергии, освоения ее новых источников и, в итоге, увеличения энергопотребления. В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетике опережают темпы развития других отраслей. Под электроэнергетикой обычно понимают подсистему энергетике, охватывающую производство электроэнергии на электростанциях и ее доставку потребителям по линиям электропередачи. Ключевым элементом электроэнергетике является электростанция – преобразователь какой-либо первичной энергии в электрическую. Электрическая энергия считается основой современной цивилизации. Без нее невозможна нормальная жизнь современного общества.

Целями освоения дисциплины «Общая энергетика» являются:

Ознакомить будущих электриков с основными принципами производства электроэнергии на электростанциях различных типов, видами органических топлив, основами передачи и распределения электроэнергии.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (далее самостоятельная работа студентов) – способ активного, целенаправленного приобретения студентом новых знаний и умений, выполняемый во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы обучающихся является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа обучающихся способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Самостоятельная работа не регламентируется расписанием. Видами заданий для самостоятельной работы могут быть:

– для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста и конспектирование текста; работа со словарями и справочниками; ознакомление с нормативными документами; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и интернета и др.;

– для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекций (обработка текста); повторная работа над учебным материалом; составление плана и тезисов ответа; ответы на контрольные вопросы; подготовка сообщений к выступлению на занятии; решение задач по контрольной работе; составление библиографии, и др.;

– для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; выполнение чертежей, схем; выполнение расчётно – графических работ; подготовка к деловым играм; подготовка курсовых работ и т.д.

Обучающийся должен знать, что в процессе выполнения такого рода работ необходимы небольшие перерывы через каждые 45 минут занятий. Длительный перерыв желательно делать с 14 до 16 ч., т.е. во время наибольшего спада трудоспособности.

Необходимо помнить, что, по данным психологии, наибольшая работоспособность приходится на утренние часы, с 8 до 12, и на вечерние, между 17 и 19. Второй, третий и пятый дни недели самые продуктивные. Непродуктивны – понедельник и четверг.

Использование на практических и семинарских занятиях различных видов самостоятельной работы обучающихся (СРО) позволяет сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части студентов в группе. На практических занятиях по техническим дисциплинам нужно 50% времени отводить на самостоятельное решение задач.

РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Тема 1. История развития энергетики.

Энергетика представляет собой одну из основ развития экономики современного общества. Понятие «энергетика» охватывает всё многообразие методов получения и практического применения различных видов энергии для промышленных и бытовых нужд. Рост благосостояния стран определяется ростом удельного потребления энергии. Без энергии не может быть ни движения, ни производства, ни самой жизни.

Роль энергетики возрастает ещё больше в связи с прогрессирующим истощением невозобновляемых энергоресурсов (нефть, газ, уголь) и с всё более заметным, иногда уже необратимым, загрязнением окружающей среды, сопровождающим работу энергоустановок.

В далёком прошлом человек обходился мускульной силой (сначала своей, а потом и животных), теплом солнца, а позже костра. Позже стали использоваться движение воды в реках и ветер. Энергетические ресурсы полностью восстанавливались, окружающая среда оставалась чистой.

С 18 в. Основным источником энергии в развитых странах становится не возобновляемая химическая энергия органического топлива: каменного угля, нефти, природного газа и т.п. Расходуемые энергетические ресурсы уже не восстанавливаются. Происходит всё большее загрязнение окружающей среды.

С середины 20 в. начинается освоение энергии деления ядер урана. Проблема охраны окружающей среды становится особенно важной.

Человечество стоит на пороге необходимости открытия и технического освоения новых источников энергии, иначе ему придётся жить в состоянии «динамического равновесия», довольствуясь только возобновляющимися источниками энергии.

Первое упоминание, об использовании «движущей силы огня» относится к 1в. до н.э., когда Герон Александрийский построил множество различных паровых машин-игрушек. Однако, только в 17в., в период промышленной революции, когда началось развитие горнодобывающей, металлургической, металлообрабатывающей и других отраслей производства, возникла острая потребность в значительно более мощных и удобных силах, чем сила мышц, воды, ветра.

В 1861 г. ассистент выдающегося физика Х. Гюйгенса врач и механик Д. Папен изобретает паровой котёл, снабжённый предохранительным клапаном, позволяющим регулировать давление пара.

В 1763 г. русский инженер И.И. Ползунов предложил, а к 1766 г. построил паровую поршневую машину, работавшую на угле. Но изобретатель умер до пуска машины, которая после небольшой неполадки была остановлена и забыта. В результате слава создания первого поршневого двигателя досталась англичанину Д. Уотту.

В 1877 г. немецкий изобретатель-коммерсант Н.Отто создаёт четырёхтактный ДВС с искровым зажиганием. В 1892-97гг. немецкий

инженер Р. Дизель разрабатывает компрессорный с воспламенением от предварительно сильно сжатого в цилиндре воздуха ДВС, оказавшийся более экономичным. В 1904 г. в России Г.В. Тринклер создаёт более экономичный безкомпрессорный дизель.

В 1884 г. англичанин Ч. Парсонс патентует первую реактивную многоступенчатую турбину. В 1891 г. паротурбинный двигатель снабжается конденсатором, что делает его более экономичным, чем поршневой, при сохранении превосходства над последним по удельной мощности. Паротурбинный двигатель является основным на современных электростанциях. Единичные мощности современных энергоблоков составляют 300, 500, 800, 1200 МВт. Единичная мощность и экономичность газотурбинных двигателей ниже, чем паротурбинных, поэтому они применяются для покрытия пиковых нагрузок и в паро-газовых установках.

В 1942 г. в США под руководством итальянца Э. Ферми был пущен первый ядерный реактор. В 1954 г. в СССР была пущена первая в мире АЭС в г. Обнинске.

С 1958-1960 гг. началось создание энергоустановок на основе известных явлений, позволяющих непосредственно генерировать электроэнергию: топливных элементов, термоэлектрогенераторов, магнетогидродинамических электрогенераторов, солнечных электрогенераторов и т.д. С этого же времени активно ведутся работы по теплофикационному использованию солнечной энергии.

Тема 2. Типы электростанций.

Электрическими станциями называются промышленные предприятия, которые предназначены для превращения различных природных энергоресурсов в электрическую энергию и тепловую энергию.

Для электрических станций характерны однородность, массовость и концентрация производства.

Однородность энергопроизводства, т.е. большое сходство рабочих процессов всех электрических станций, использующих определённый вид энергоресурсов, даёт возможность распространять технические усовершенствования, достигнутые на какой-либо одной электрической станции, на все станции данного типа.

Массовость энергопродукции, т.е. огромные количества производимой электрической энергии, делает особенно важной борьбу за экономичность производства. Поэтому в энергетике важна борьба за десятые и даже за сотые доли процента повышения экономичности.

Концентрация производства определяется сооружением мощных ТЭС с небольшим количеством крупных агрегатов. Это даёт возможность уменьшать единовременные затраты и ежегодные расходы при обеспечении заданного уровня энергопроизводства.

ТЭС- основной тип электрических станций. В качестве природного энергоресурса ТЭС используют химически связанную энергию органических топлив. При сжигании топлива выделяется тепло, которое передаётся

рабочему телу (вода-пар, газы), которое в двигателе производит механическую работу, преобразуемую в электрическую энергию.

ТЭС, предназначенные только для производства электрической энергии называются КЭС. На них устанавливаются паровые турбины конденсационного типа с глубоким вакуумом, т.к. чем ниже P пара на выходе из турбины, тем большая часть тепловой энергии превращается в электрическую. При этом основной поток пара конденсируется в конденсаторе и большая часть тепловой энергии, содержащейся в отработавшем паре, теряется с охлаждающей водой. КЭС строятся обычно вблизи мест добычи топлива.

ТЭС, на которых пар наряду с выработкой электрической энергии используется для теплоснабжения, называется ТЭЦ.

ТЭЦ - электрические станции, предназначенные для комбинированного производства электрической и тепловой энергии. На них устанавливаются теплофикационные паровые турбины с промежуточными отборами пара или с противодавлением. На таких установках тепло отработавшего пара частично или даже полностью используется для теплоснабжения, вследствие чего потери тепла с охлаждающей водой сокращаются или вообще не имеют места (на установках с противодавлением).

Обычно ТЭЦ строятся вблизи потребителей тепла - промышленных предприятий или жилых массивов.

На АЭС также осуществляется процесс превращения тепловой энергии в электрическую. Тепловая энергия выделяется при распаде ядер атомов, затем полученное тепло отводится системой охлаждения реактора и используется затем в рабочем процессе АЭС для превращения в механическую работу и электрическую энергию таким же путём, как и на любой ТЭС.

Гидравлические электрические станции (ГЭС) используют механическую потенциальную энергию речных стоков. Для этого плотинами перегораживают реку, т. е. создают перепад воды – разность уровней (горизонтов) воды на нижнем и верхнем участках реки – в нижнем и верхнем бьефах. Вода из водохранилища (верхнего бьефа) перетекает через турбины в нижний бьеф, производя работу благодаря разнице горизонтов воды, т.е. напору.

Одной из разновидностей ГЭС являются приливные электрические станции. ПЭС, использующие энергию приливов и отливов в океане. Эта энергия появляется в результате приливообразующей силы луны и солнечного притяжения, и изменяется по закону синусоиды в суточном и месячном циклах. Существуют определённые трудности использования приливной энергии, имеющей пульсирующий характер и требующей для получения больших мощностей при малых напорах создания больших гидротехнических сооружений, которые должны выдерживать напор морской волны, а иногда и ледовые нагрузки.

Гидроаккумулирующие электрические станции ГАЭС строятся для выравнивания графиков электрической нагрузки. В периоды ночных

провалов графика электрической нагрузки они работают как насосные станции, закачивая воду в верхнее водохранилище. В периоды пиковых электрических нагрузок ГАЭС работает как обычная ГЭС, вырабатывая электрическую энергию.

Геотермические электростанции используют тепло подземного пара, выходящего из искусственно выводимого на поверхность земли. Находящаяся на глубине от 5 до 35 км. расплавленная магма выделяет газы, нагретые до высоких температур. Эти газы, проходя к поверхности, нагревают грунтовые воды, которые появляются в виде горячих термальных источников. Это тепло может быть превращено в электроэнергию по обычному паротурбинному принципу. Однако, геотермические электростанции экономически целесообразны только для областей современного вулканизма (Камчатка, Курилы). В других районах подземное тепло используется для теплоснабжения.

Солнечные электростанции используют энергию солнечного излучения. В течении года Земля получает от Солнца теплоты в 100 раз больше, чем вырабатывают все электрические станции. Однако эта колоссальная энергия рассеяна по всей поверхности Земли и зависит от погоды, времени года и суток, географической широты. Система зеркал (гелиостатов) автоматически настраивается на Солнце и фокусирует лучи на приёмнике, расположенном на вершине башни. В этом теплоприёмнике вырабатывается пар с температурой 300-500 °С, которая направляется на паровую турбину, работающую по обычной схеме.

Солнечная энергия используется также для получения электрической энергии в небольших установках, оборудованных термоэлектрогенераторами с применением полупроводников или фотоэлементов. Это один из способов непосредственного получения электрической энергии.

Ветровые электростанции (ВЭС) используют энергию ветра, преобразуя её электрическую энергию. Лопасти ротора воспринимают кинетическую энергию ветра и переводят её в энергию вращения ротора электрического генератора. Эти электростанции требуют больших удельных капитальных вложений. Целесообразность их применения ограничена энергоснабжением удалённых от энергосистем объектов: пастбищ, навигационных приборов, мелиоративных установок и т. п.

Контрольные вопросы:

1. Лёгким ли был путь развития энергетики?
2. Какие типы ЭС наиболее распространены на сегодня?
3. Какие достоинства и недостатки у каждой из них?

РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ

Тема 1. Основной цикл паросиловой установки

Преобразование энергии органического или ядерного топлива в механическую при помощи водяного пара осуществляется в паровых силовых установках (п. с. у.), которые являются базой современной крупной энергетики. Принципиальная схема простейшей паросиловой установки показана на рис. 2.1.

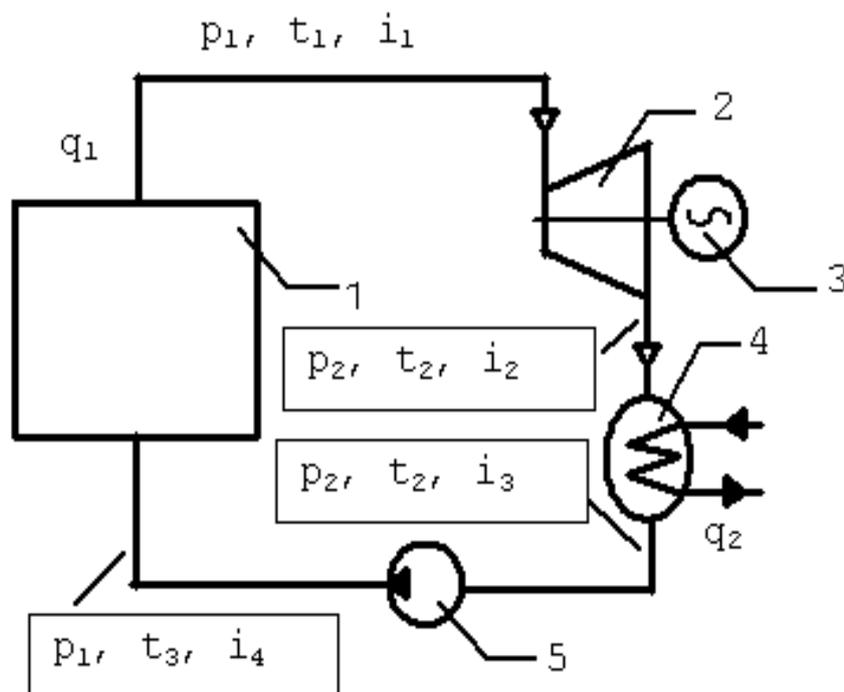


Рисунок 2.1 Принципиальная тепловая схема паросиловой установки

В паровом котле 1 вода превращается в перегретый пар с параметрами p_1, t_1, i_1 , который по паропроводу поступает в турбину 2, где происходит его адиабатное расширение до давления p_2 с совершением технической работы, приводящей во вращательное движение ротор электрического генератора 3. Затем пар поступает в конденсатор 4, который представляет собой трубчатый теплообменник. Внутренняя поверхность трубок конденсатора охлаждается циркулирующей водой.

В конденсаторе при помощи охлаждающей воды от пара отнимается теплота парообразования и пар переходит при постоянных давлении p_2 и температуре t_2 в жидкость, которая с помощью насоса 5 подаётся в паровой котёл 1. В дальнейшем цикл повторяется.

На рис. 2.2. приведена схема паровой турбины. Турбинные установки предназначены для преобразования энергии рабочего тела (пара, газа), имеющего высокое давление и температуру, в механическую энергию вращения ротора турбины. Турбины используют в качестве двигателей электрогенераторов, турбокомпрессоров, воздуходувок, насосов.

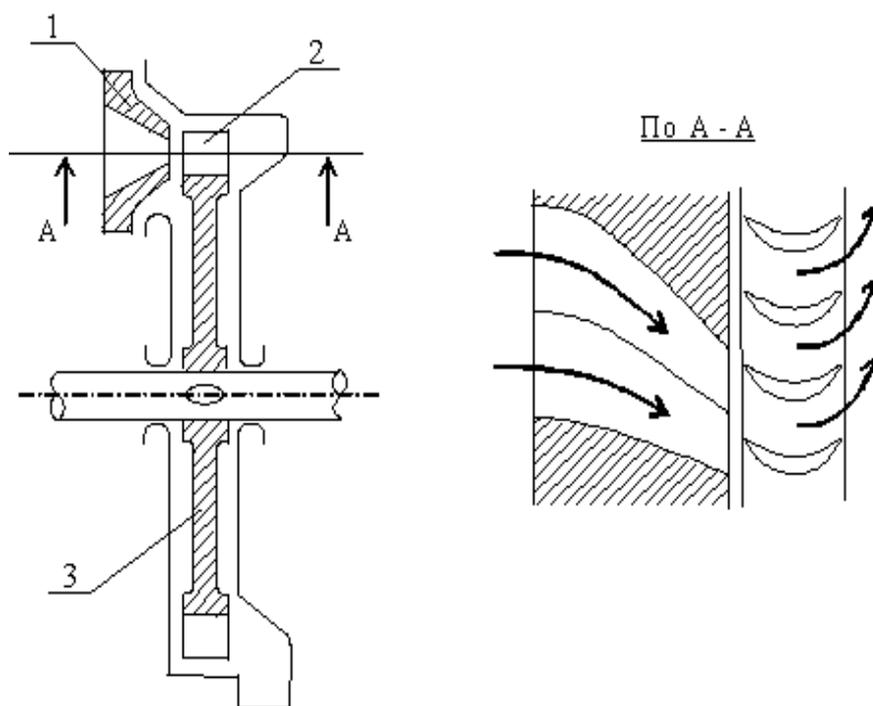


Рисунок 2.2– Схема одноступенчатой турбины активного типа

Водяной пар с высоким давлением и температурой поступает в сопло 1, при истечении из которого его давление снижается, а кинетическая энергия увеличивается. Струя пара направляется на закреплённые на диске 3 ротора турбины лопатки 2, отдавая им часть своей кинетической энергии, которая через лопатки передаётся вращающемуся ротору.

Обычно турбина имеет несколько сопел, составляющих сопловый аппарат. Рабочие лопатки расположены по всей окружности диска и образуют рабочую решётку. Сопловый аппарат и рабочая решётка составляют ступень турбины, а каналы для прохода газа - проточную часть турбины.

Турбины бывают одноступенчатые и многоступенчатые, активного и реактивного типов.

В активных турбинах процесс расширения пара происходит только в соплах, а в реактивных - в соплах и в каналах рабочих лопаток.

Тема 2. Влияние параметров пара на величину к.п.д. цикла Ренкина

В паросиловых установках применяют цикл Ренкина. В цикле Ренкина охлаждение влажного пара в конденсаторе производится до превращения его в воду.

Термический к. п. д. цикла Ренкина меньше термического к. п. д. цикла Карно при одинаковых начальных и конечных параметрах пара, так как в цикле Карно теплота q_1 затрачивается только на процесс парообразования (то есть $q_1 \approx r$), а в цикле Ренкина она затрачивается как на парообразование, так и на подогрев питательной воды в процессе.

Поэтому для паросиловых установок в заданном температурном интервале термодинамически наиболее выгодным циклом мог бы быть цикл Карно. Однако его осуществление связано с большими трудностями. Цикл Карно относительно проще было бы осуществить в области влажного пара. Это объясняется тем, что в области влажного пара изотермические процессы совпадают с изобарными и могут быть реально осуществлены в котле и конденсаторе. Однако в цикле Карно конденсация пара в изотермическом процессе происходит не полностью, вследствие чего в последующем адиабатном процессе сжимается не вода, как в цикле Ренкина, а влажный пар, имеющий относительно большой объем. В цикле Ренкина с перегретым паром добавляется ещё один процесс: – перегрев пара.

Контрольные вопросы:

1. В чём различие цикла Карно и цикла Ренкина?
2. Какой пар называют влажным?
3. Какой пар называют перегретым?
4. С каким паром достигаются лучшие характеристики к.п.д.?
5. Что называют паросиловой установкой?

РАЗДЕЛ 3. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ПАРΟΣИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Тема 1. Регенеративный подогрев питательной воды. Цикл со вторичным перегревом пара

Малое значение КПД цикла Ренкина по сравнению с циклом Карно связано с тем, что большое количество тепловой энергии при конденсации пара передается охлаждающей воде в конденсаторе. Для снижения потерь часть пара из турбины отбирается и направляется на регенерационные подогреватели, где тепловая энергия, высвобождаемая при конденсации отобранного пара, используется для подогрева воды, полученной после конденсации основного парового потока.

В реальных паросиловых циклах регенерация осуществляется с помощью регенеративных, поверхностных или смешивающих, теплообменников, в каждый из которых поступает пар из промежуточных ступеней турбины (так называемый регенеративный отбор). Пар конденсируется в регенеративных теплообменниках, нагревая питательную воду, поступающую в реактор. Конденсат греющего пара смешивается с основным потоком питательной воды.

ПТУ работает на перегретом паре с вторичным перегревом.

В этом цикле используется многоступенчатую турбину, состоящую из цилиндра высокого давления и нескольких низкого давления. Пар из парового котла направляется сначала в цилиндр высокого давления, где

расширяясь, совершает работу. После этого пар возвращается в паровой котел (промежуточный пароперегреватель), где осушается и нагревается до более высокой температуры (но уже при более низком и постоянном давлении) и поступает в цилиндр низкого давления, где, продолжая расширяться, снова совершает работу.

В современных паросиловых установках широко используется промежуточный перегрев пара, причем в некоторых случаях применяют двукратный вторичный перегрев.

Тема 2. Теплофикационный цикл

Для осуществления теплофикационного цикла и снабжения потребителей паром или горячей водой на ТЭЦ устанавливают теплофикационные турбины различных типов. Наиболее распространены турбины с регулируемыми отборами пара нужного давления. Такие турбины работают по свободному электрическому графику с одновременным свободным регулированием тепловой нагрузки.

Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рис. 3.1. Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура.

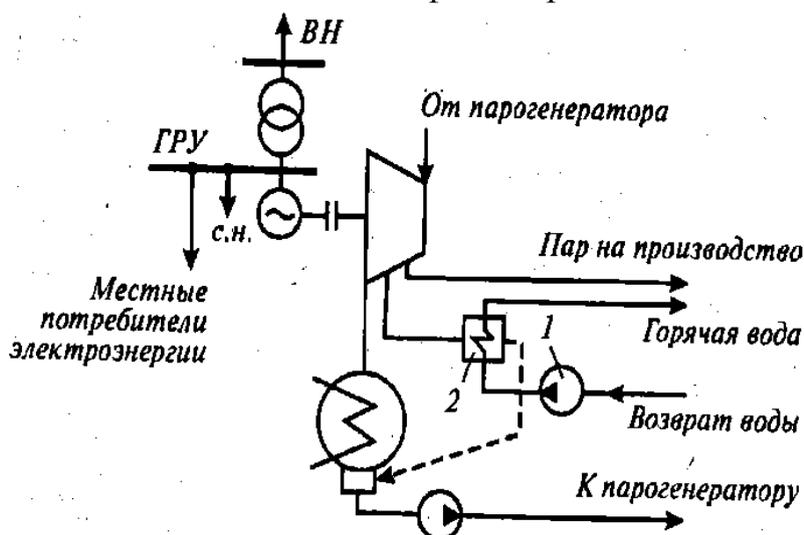


Рисунок 3.1 Особенности технологической схемы ТЭЦ:
1 — сетевой насос; 2 — сетевой подогреватель

Часть пара при расширении в турбине (с параметрами $p_{отб} = 0,9—1,2$ МПа) отбирается и отводится в сетевой пароводяной подогреватель 2, через который сетевым насосом 1 прогоняется вода, используемая для отопления зданий и других нужд городского хозяйства и промышленных предприятий.

На производство пар подается в тех случаях, когда вблизи станции имеются промышленные предприятия, требующие его 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. Вся теплота, содержащаяся в горячей воде и паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считается полезно отпущенной теплотой.

Контрольные вопросы:

1. В чём заключается регенеративный подогрев питательной воды?
2. В чём заключается цикл со вторичным перегревом пара?
3. В чём основное преимущество теплофикационных циклов?

Тема 3. Котельные установки. Основные элементы конструкции

Тема 4. Вспомогательное оборудование котельной установки

План:

1. Котельные установки. Основные элементы конструкции.
2. Вспомогательное оборудование котельной установки.

Котельные установки. Основные элементы конструкции

Как уже указывалось, устройства, в которых непосредственно вырабатывается пар и нагревается вода, называют паровыми или водогрейными котлами. Если котлы в отопительных котельных вырабатывают пар давлением P .

В производственных и энергетических котельных по давлению получаемого пара котельные агрегаты разделяются на следующие: низкого давления (0,8-1,6 МПа), среднего (2,4-4 МПа), высокого (10-14 МПа) и сверхвысокого давления (25-31 МПа). Паровые котельные агрегаты стандартизированы (ГОСТ 3619-76) по параметрам вырабатываемого пара (P и T) и мощности.

Котельные агрегаты производительностью 0,01-5,5 кг/с относятся к котлам малой мощности, производительностью до 30 кг/с к котлам средней мощности и более 30 кг/с (до 500-1000 кг/с) – к котлам большой мощности.

Водогрейные котлы унифицированы по теплопроизводительности на восемь типов: 4, 6,5, 10, 20, 30, 50, 100 и 180 Гкал/ч. Котлы теплопроизводительностью ниже 30 Гкал/ч предназначены для работы только в одном режиме (основном). Котлы теплопроизводительностью 30 Гкал/ч и выше допускают возможность работы, как в основном, так и в пиковом режимах, т.е. в период максимального теплопотребления, при наиболее низких температурах наружного воздуха.

Для котлов теплопроизводительностью до 30 Гкал/ч температура воды на выходе принимается 432 К, а давление воды на входе в котел – 1,6 МПа. Для котлов теплопроизводительностью 30 Гкал/ч и выше максимальная температура воды на выходе принимается 450-470 К, а давление воды на входе – 2,5 МПа.

По конструкции паровые котлы можно разделить на два типа – газотрубные и водотрубные. В газотрубных котлах основные поверхности

нагрева находятся внутри цилиндрического сосуда большого диаметра в виде так называемых жаровых или дымогарных труб или различных их комбинаций, по которым движутся продукты сгорания топлива. На рис. 3.2 показаны схемы котлов с жаровыми и дымогарными трубами.

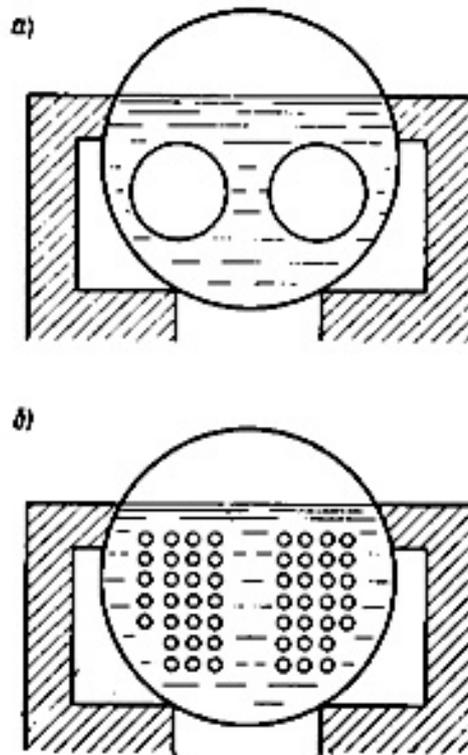


Рисунок 3.2 Схемы котлов:
а – с жаровыми трубами; б – с дымогарными трубами

Более совершенными являются водотрубные паровые котлы. Они имеют развитые поверхности нагрева, состоящие из труб, заполненных внутри водой и пароводяной смесью, а снаружи обогреваемых продуктами сгорания топлива. Котлы относятся к горизонтально-водотрубным, если трубы расположены под углом к горизонту не более 25° , и к вертикально-водотрубным, если трубы идут более круто или вертикально. В этих котлах путем изменения числа труб в пучках и числа самых пучков удалось увеличить площадь поверхности нагрева, не увеличивая диаметр их барабанов, что в свою очередь дало возможность получить в этих котлах пар высокого давления.

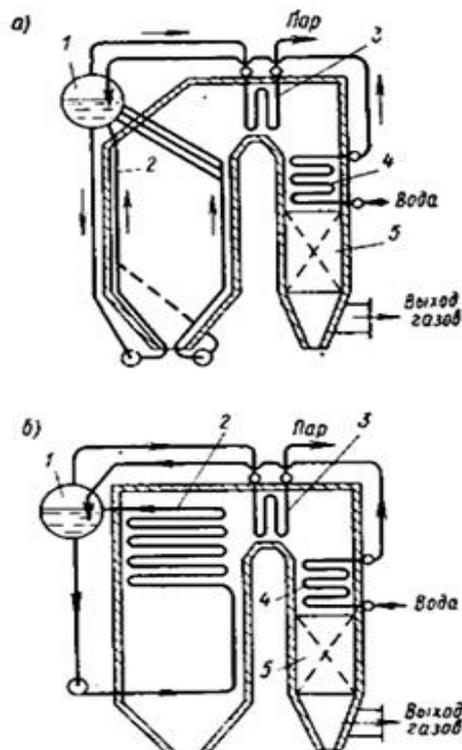


Рисунок 3.3 Схемы котлов:

а – с естественной циркуляцией; б – с принудительной циркуляцией;
 1 – барабан; 2 – испарительные поверхности; 3 – пароперегреватель; 4 – экономайзер; 5 – воздухоподогреватель.

При работе парового котла очень важно обеспечить надежное охлаждение поверхностей нагрева, в которых происходит парообразование. Для этого необходимо соответствующим образом организовать движение воды и пароводяной смеси в испарительных поверхностях нагрева. По характеру организации движения рабочего тела в испарительных поверхностях котельные агрегаты делятся на три типа:

1. с естественной циркуляцией (рис. 3.3,а);
2. с принудительной циркуляцией (рис. 3.3,б);
3. прямоточные.

Принципиальная схема прямоточного котла показана на рис. 3.4. Питательная вода подается в конвективный экономайзер 6, где она подогревается за счет тепла газов, и поступает в экранные трубы 2, выполненные в виде параллельно включенных змеевиков, расположенных на стенах топочной камеры. В нижней части змеевиков вода нагревается до температуры насыщения. Парообразование до степени сухости 70-75% происходит в змеевиках среднего уровня расположения. Пароводяная смесь затем поступает в переходную конвективную зону 4, где происходит окончательное испарение воды и частичный перегрев пара. Из переходной зоны пар направляется в радиационный перегреватель 2, затем доводится до заданной температуры в конвективном перегревателе 3 и поступает на турбину. В опускной шахте котлоагрегата расположены первая (по ходу газов) и вторая ступени 5 и 7 воздухоподогревателя.

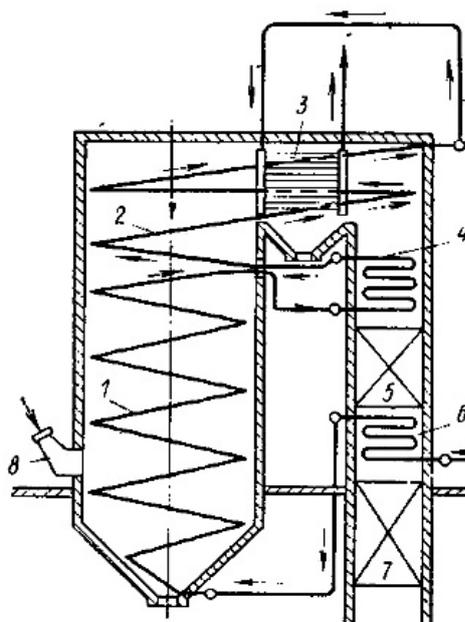


Рисунок 3.4 Схема прямооточного котлоагрегата:

1 – нижняя радиационная часть испарительной поверхности нагрева; 2 – радиационный пароперегреватель; 3 – конвективная часть пароперегревателя; 4 – поверхность нагрева переходной зоны; 5, 7 – первая и вторая ступени воздухоподогревателя; 6 – конвективный экономайзер; 8 – горелка.

К основным элементам котельных агрегатов относятся пароперегреватели, экономайзеры и воздухоподогреватели.

Пароперегреватель представляет собой змеевиковую поверхность теплообмена, предназначенную для перегрева пара, полученного в испарительной части котельного агрегата. Пар движется внутри трубок, омываемых снаружи дымовыми газами. Пароперегреватель – неотъемлемый элемент энергетических котельных агрегатов. Если для некоторых технологических процессов требуется перегретый пар, то котельные агрегаты малой и средней мощности также снабжают пароперегревателями.

Водяные экономайзеры предназначены для подогрева питательной воды до поступления ее в испарительную часть котельного агрегата. Предварительный подогрев воды за счет теплоты дымовых газов существенно увеличивает КПД котельного агрегата.

В зависимости от применяемого материала экономайзеры делятся на чугунные и стальные, по типу поверхности – на ребристые и гладкотрубные, по степени подогрева воды – на не кипящие и кипящие.

Воздухоподогреватели. В отличие от водяного экономайзера и пароперегревателя воздухоподогреватель, отнимая теплоту от уходящих дымовых газов и уменьшая таким образом потери ее с этими газами, непосредственно отнятую теплоту не передает рабочему телу (воде или пару). Горячий воздух, направляемый в топку котла, улучшает условия сгорания топлива, уменьшает потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания топлива, повышает температуру его горения, интенсифицирует теплообмен, что в итоге повышает КПД установки. В

среднем понижение температуры уходящих газов на каждые 20-25 К повышает КПД примерно на 1%.

Сепарационные устройства. Влажный насыщенный пар, получаемый в барабане котлоагрегатов низкого и среднего давлений, может уносить с собой капли котловой воды, содержащей растворенные в ней соли. В котлоагрегатах высокого и сверхвысокого давлений загрязнение пара обуславливается еще и дополнительным уносом солей кремниевой кислоты и соединений натрия, которые растворяются в паре.

Примеси, уносимые с паром, откладываются в пароперегревателе, что крайне нежелательно, так как может привести к пережогу труб пароперегревателя. Поэтому пар перед выходом из барабана котла подвергается сепарации, в процессе которой капли котловой воды отделяются и остаются в барабане. Сепарация пара осуществляется в специальных сепарирующих устройствах, в котором создаются условия для естественного или механического разделения воды и пара.

Естественная сепарация происходит вследствие большой разности плотностей воды и пара. Механический инерционный принцип сепарации основан на различии инерционных свойств водяных капель и пара при резком увеличении скорости и одновременном изменении направления или закручивания потока влажного пара.

Тягодутьевые устройства. Для нормальной работы котельного агрегата необходимы непрерывная подача воздуха для горения топлива и непрерывное удаление продуктов сгорания.

В современных котельных установках широко распространена схема с разрежением по газоходам. К недостаткам этой схемы следует отнести наличие присосов воздуха в газоотходы через неплотности в ограждениях и работу дымососов на запыленных газах. Достоинство такой схемы – отсутствие выбивания и утечек дымовых газов в помещение котельной, так как воздух в топку нагнетает вентилятор, а дымовые газы удаляет дымосос. В последнее время в мощных энергетических котельных установках широко применяется схема с наддувом. Топка и весь газовый тракт находятся под давлением 3-5 кПа. Давление создается мощными вентиляторами; дымосос отсутствует. Основной недостаток этой схемы – трудности, связанные с обеспечением надлежащей герметичности топки и газоходов котельного агрегата.

Для получения тяги необходимо увеличивать высоту трубы или температуру уходящих газов. Однако при использовании любого из этих способов необходимо иметь в виду, что высота трубы ограничена ее стоимостью и прочностью, а температура газов – оптимальным значением КПД котельной установки. Поэтому большинство современных котельных установок оборудуют искусственной тягой, для создания которой применяют дымосос, преодолевающий сопротивление газового тракта. В этом случае высоту трубы выбирают в соответствии с санитарно-техническими требованиями.

Напор воздуха, создаваемый вентилятором, также следует определять на основании аэродинамического расчета воздушного тракта (воздуховодов, воздухоподогревателя, горелочного устройства и т.д.) Максимальный напор вентилятора должен быть на 10% больше потерь напора в воздушном тракте котельного агрегата.

Основы водоподготовки. Одной из основных задач безопасной эксплуатации котельных установок является организация рационального водного режима, при котором не образуется накипь на стенках испарительных поверхностей нагрева, отсутствует их коррозия и обеспечивается высокое качество вырабатываемого пара. Пар, вырабатываемый в котельной установке, возвращается от потребителя в конденсированном состоянии; при этом количество возвращаемого конденсата обычно бывает меньше, чем количество выработанного пара.

Потери конденсата и воды при продувке восполняются за счет добавки воды из какого-либо источника. Эта вода должна быть соответствующим образом подготовлена до поступления в котельный агрегат. Вода, прошедшая предварительную подготовку, называется добавочной, смесь возвращаемого конденсата и добавочной воды – питательной, а вода, которая циркулирует в контуре котла, котловой.

От качества питательной воды зависит нормальная работа котельных агрегатов. Физико-химические свойства воды характеризуют следующие показатели: прозрачность, содержание взвешенных веществ, сухой остаток, солесодержание, окисляемость, жесткость, щелочность, концентрация растворенных газов (CO_2 и O_2).

Прозрачность характеризуется наличием взвешенных механических и коллоидных примесей, а содержание взвешенных веществ определяет степень загрязнения воды твердыми нерастворимыми примесями.

Топливоподача. Для нормальной и бесперебойной работы котельных установок требуется, чтобы топливо к ним подавалось непрерывно. Процесс подачи топлива складывается из двух основных этапов: 1) подача топлива от места его добычи на склады, расположенные вблизи котельной; 2) подача топлива со складов непосредственно в котельные помещения.

Очистка дымовых газов и удаление золы и шлака. При сгорании твердого топлива образуется много золы. При слоевом процессе сжигания основная часть минеральных примесей топлива (60-70%) превращается в шлак и проваливается через колосниковые решетки в зольник. В пылеугольных топках большая часть (75-85%) золы уносится из котлоагрегатов с дымовыми газами.

В настоящее время в котельных применяют следующие типы золоуловителей: 1) инерционные механические; 2) мокрые; 3) электрофильтры; 4) комбинированные.

Инерционные (механические) золоуловители работают по принципу выделения золых частиц из газового потока под влиянием сил инерции.

В настоящее время широко применяются золоуловители мокрого типа.

Принцип действия электрофильтров заключается в том, что запыленные газы проходят через электрическое поле, образуемое между стальным цилиндром (положительный полюс) и проволокой, проходящей по оси цилиндра (отрицательный полюс). Основная масса частиц золы получает отрицательный заряд и притягивается к стенкам цилиндра, незначительная часть частиц золы получает положительный заряд и притягивается к проволоке. При периодическом встряхивании электрофильтра электроды освобождаются от золы. Электрофильтры применяют в котельных с расходом дымовых газов более 70000 м³/ч, отнесенных к нормальным условиям.

Комбинированные золоуловители являются двухступенчатыми, при этом работа каждой ступени основана на различных принципах. Чаще всего комбинированный золоуловитель состоит из батарейного циклона (первая ступень) и электрофильтра (вторая ступень).

Процесс золошлакоудаления можно разделить на две основные операции: очистка шлаковых и зольных бункеров и транспортировка золы и шлака на золоотвалы или шлакобетонных изделий.

Контрольные вопросы:

1. Как делятся конструктивно паровые котлы?
2. Достоинства и недостатки водотрубные и газотрубные котлы?
3. Для чего необходим тепловой баланс котельного агрегата?
4. Назначение вспомогательного оборудования котельной установки?

РАЗДЕЛ 4. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ

Тема 1. Основные элементы конструкции

Тема 2. Конденсационные и теплофикационные паровые турбины

План:

1. Основные элементы конструкции
2. Конденсационные и теплофикационные паровые турбины

Паровые турбины - принцип работы

Паровые турбины работают следующим образом: пар, образующийся в паровом котле, под высоким давлением, поступает на лопатки турбины. Турбина совершает обороты и вырабатывает механическую энергию, используемую генератором. Генератор производит электричество.

Электрическая мощность паровых турбин зависит от перепада давления пара на входе и выходе установки. Мощность паровых турбин единичной установки достигает 1000 МВт.

В зависимости от характера теплового процесса паровые турбины подразделяются на три группы: конденсационные, теплофикационные и турбины специального назначения. По типу ступеней турбин они классифицируются как активные и реактивные.

Конденсационные паровые турбины

Конденсационные паровые турбины служат для превращения максимально возможной части теплоты пара в механическую работу. Они работают с выпуском (выхлопом) отработавшего пара в конденсатор, в котором поддерживается вакуум (отсюда возникло наименование). Конденсационные турбины бывают стационарными и транспортными.

Стационарные турбины изготавливаются на одном валу с генераторами переменного тока. Такие агрегаты называют турбогенераторами. Тепловые электростанции, на которых установлены конденсационные турбины, называются конденсационными электрическими станциями (КЭС). Основной конечный продукт таких электростанций — электроэнергия. Лишь небольшая часть тепловой энергии используется на собственные нужды электростанции и, иногда, для снабжения теплом близлежащего населённого пункта. Обычно это посёлок энергетиков. Доказано, что чем больше мощность турбогенератора, тем он экономичнее, и тем ниже стоимость 1 кВт установленной мощности. Поэтому на конденсационных электростанциях устанавливаются турбогенераторы повышенной мощности.

Частота вращения ротора стационарного турбогенератора связана с частотой электрического тока 50 Герц. То есть на двухполюсных генераторах 3000 оборотов в минуту, на четырёхполюсных соответственно 1500 оборотов в минуту. Частота электрического тока вырабатываемой энергии является одним из главных показателей качества отпускаемой электроэнергии. Современные технологии позволяют поддерживать частоту вращения с точностью до трёх оборотов. Резкое падение электрической частоты влечёт за собой отключение от сети и аварийный останов энергоблока, в котором наблюдается подобный сбой.

В зависимости от назначения паровые турбины электростанций могут быть базовыми, несущими постоянную основную нагрузку; пиковыми, кратковременно работающими для покрытия пиков нагрузки; турбинами собственных нужд, обеспечивающими потребность электростанции в электроэнергии. От базовых требуется высокая экономичность на нагрузках, близких к полной (около 80 %), от пиковых — возможность быстрого пуска и включения в работу, от турбин собственных нужд — особая надёжность в работе. Все паровые турбины для электростанций рассчитываются на 100 тыс. ч работы (до капитального ремонта).



Рисунок 4.1 Схема работы конденсационной турбины:

Свежий (острый) пар из котельного агрегата (1) по паропроводу (2) попадает на рабочие лопатки паровой турбины (3). При расширении, кинетическая энергия пара превращается в механическую энергию вращения ротора турбины, который расположен на одном валу (4) с электрическим генератором (5). Отработанный пар из турбины направляется в конденсатор (6), в котором, охладившись до состояния воды путём теплообмена с циркуляционной водой (7) пруда-охладителя, градирни или водохранилища по трубопроводу (8) направляется обратно в котельный агрегат при помощи насоса (9). Большая часть полученной энергии используется для генерации электрического тока.

2. Теплофикационные паровые турбины

Теплофикационные паровые турбины служат для одновременного получения электрической и тепловой энергии. Но основной конечный продукт таких турбин — тепло. Тепловые электростанции, на которых установлены теплофикационные паровые турбины, называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). К теплофикационным паровым турбинам относятся турбины с противодавлением, с регулируемым отбором пара, а также с отбором и противодавлением.

У турбин с противодавлением весь отработавший пар используется для технологических целей (варка, сушка, отопление). Электрическая мощность, развиваемая турбоагрегатом с такой паровой турбиной, зависит от потребности производства или отопительной системы в греющем паре и меняется вместе с ней. Поэтому турбоагрегат с противодавлением обычно работает параллельно с конденсационной турбиной или электросетью, которые покрывают возникающий дефицит в электроэнергии.

В турбинах с регулируемым отбором часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а остальной пар идёт в конденсатор. Давление отбираемого пара поддерживается в заданных пределах системой регулирования. Место отбора (ступень турбины) выбирают в зависимости от нужных параметров пара.

У турбин с отбором и противодавлением часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а весь отработавший пар направляется из выпускного патрубка в отопительную систему или к сетевым подогревателям.



Рисунок 4.2– Схема работы теплофикационной турбины:

Свежий (острый) пар из котельного агрегата (1) по паропроводу (2) направляется на рабочие лопатки цилиндра высокого давления (ЦВД) паровой турбины (3). При расширении, кинетическая энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора турбины, который соединен с валом (4) электрического генератора (5). В процессе расширения пара из цилиндров среднего давления производятся теплофикационные отборы, и из них пар направляется в подогреватели (6) сетевой воды (7). Отработанный пар из последней ступени попадает в конденсатор, где и происходит его конденсация, а затем по трубопроводу (8) направляется обратно в котельный агрегат при помощи насоса (9). Большая часть тепла, полученного в котле используется для подогрева сетевой воды.

Обычно стационарные паровые турбины имеют нерегулируемые отборы пара из ступеней давления для регенеративного подогрева питательной воды. Паровые турбины специального назначения не строят сериями, как конденсационные и теплофикационные, а в большинстве случаев изготавливают по отдельным заказам.

Паровые турбины - преимущества

- работа паровых турбин возможна на различных видах топлива: газообразное, жидкое, твердое
- высокая единичная мощность
- свободный выбор теплоносителя

- широкий диапазон мощностей
- внушительный ресурс паровых турбин

Паровые турбины - недостатки

- высокая инерционность паровых установок (долгое время пуска и останова)
- дороговизна паровых турбин
- низкий объем производимого электричества, в соотношении с объемом тепловой энергии
- дорогостоящий ремонт паровых турбин
- снижение экологических показателей, в случае использования тяжелых мазутов и твердого топлива

Контрольные вопросы:

1. Назначение паровых турбин?
2. В чём различие конденсационной и теплофикационной паровой турбины?
3. Охарактеризуйте их достоинства и недостатки ?

РАЗДЕЛ 5. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ ТЭС

Тема 1. Особенности тепловых схем КЭС

Тема 2. Разновидности тепловых схем ТЭЦ

Наибольшее распространение получили тепловые электрические станции (ТЭС), на которых используется тепловая энергия, выделяемая при сжигании органического топлива (уголь, нефть, газ и др.). На тепловых электростанциях вырабатывается около 76% электроэнергии, производимой на нашей планете. Это обусловлено наличием органического топлива почти во всех районах нашей планеты; возможностью транспорта органического топлива с места добычи на электростанцию, размещаемую близ потребителей энергии; техническим прогрессом на тепловых электростанциях, обеспечивающим сооружение ТЭС большой мощностью; возможностью использования отработавшего тепла рабочего тела и отпуска потребителям, кроме электрической, также и тепловой энергии (с паром или горячей водой) и т.п. Тепловые электрические станции, предназначенные только для производства электроэнергии, называют конденсационными электрическими станциями (КЭС). Электростанции, предназначенные для комбинированной выработки электрической энергии и отпуска пара, а также горячей воды тепловому потребителю имеют паровые турбины с промежуточными отборами пара или с противодавлением. На таких установках теплота отработавшего пара частично или даже полностью используется для теплоснабжения, вследствие чего потери теплоты с охлаждающей водой

сокращаются. Однако доля энергии пара, преобразованная в электрическую, при одних и тех же начальных параметрах на установках с теплофикационными турбинами ниже, чем на установках с конденсационными турбинами. Теплоэлектростанции, на которых отработавший пар наряду с выработкой электроэнергии используется для теплоснабжения, называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).

Основные принципы работы ТЭС.

На рис. 5.1 представлена типичная тепловая схема конденсационной установки на органическом топливе.

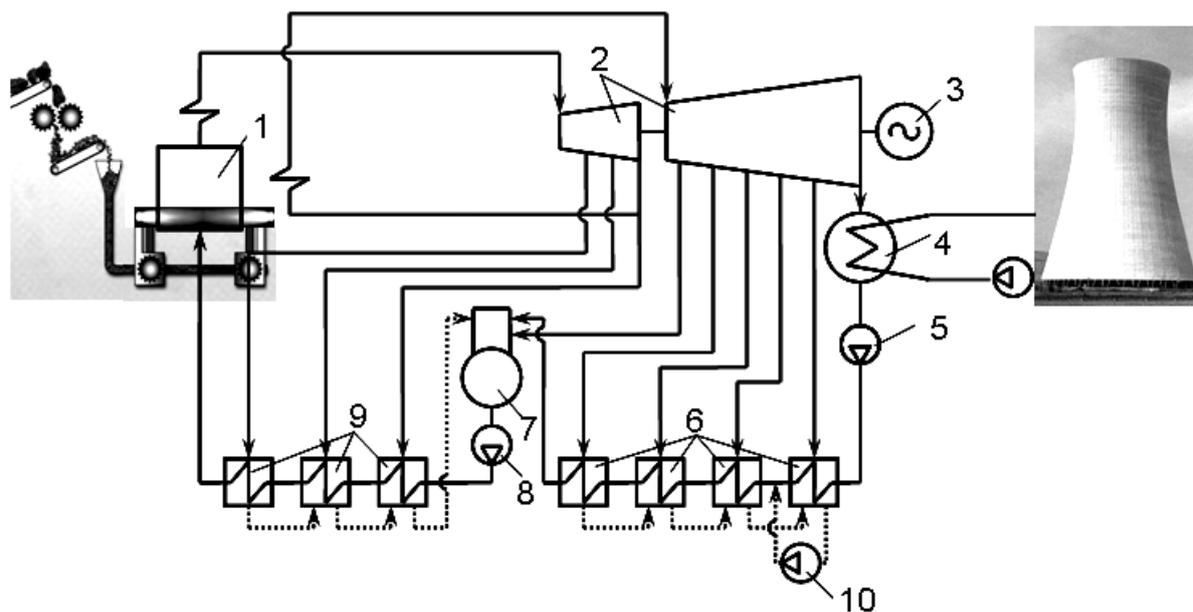


Рисунок 5.1 Принципиальная тепловая схема ТЭС.

1 – паровой котёл; 2 – турбина; 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – подогреватели низкого давления; 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – подогреватели высокого давления; 10 – дренажный насос.

Эту схему называют схемой с промежуточным перегревом пара. Как известно из курса термодинамики, тепловая экономичность такой схемы при одних и тех же начальных и конечных параметрах и правильном выборе параметров промежуточного перегрева выше, чем в схеме без промежуточного перегрева.

Рассмотрим принцип работы ТЭС. Топливо и окислитель, которым обычно служит подогретый воздух, непрерывно поступают в топку котла (1). В качестве топлива используется уголь, торф, газ, горючие сланцы или мазут. За счёт тепла, образующегося в результате сжигания топлива, вода в паровом котле нагревается, испаряется, а образовавшийся насыщенный пар поступает по паропроводу в паровую турбину (2), назначение которой превращать тепловую энергию пара в механическую энергию.

Все движущиеся части турбины жёстко связаны с валом и вращаются вместе с ним. В турбине кинетическая энергия струй пара передается ротору следующим образом. Пар высокого давления и температуры, имеющий

большую внутреннюю энергию, из котла поступает в сопла (каналы) турбины. Струя пара с высокой скоростью, чаще выше звуковой, непрерывно поступает на рабочие лопатки турбины, укрепленные на роторе, жёстко связанном с валом. При этом механическая энергия потока пара превращается в механическую энергию ротора турбины, а точнее говоря, в механическую энергию ротора турбогенератора, так как валы турбины и электрического генератора (3) соединены между собой. В электрическом генераторе механическая энергия преобразуется в электрическую энергию.

После паровой турбины водяной пар, имея уже низкое давление и температуру, поступает в конденсатор (4). Здесь пар с помощью охлаждающей воды, прокачиваемой по расположенным внутри конденсатора трубкам, превращается в воду, которая конденсатным насосом (5) через регенеративные подогреватели (6) подаётся в деаэратор (7).

Деаэратор служит для удаления из воды растворённых в ней газов; одновременно в нём, так же как в регенеративных подогревателях, питательная вода подогревается паром, отбираемым для этого из отбора турбины. Деаэрация проводится для того, чтобы довести до допустимых значений содержание кислорода и углекислого газа в ней и тем самым понизить скорость коррозии в трактах воды и пара.

Деаэрированная вода питательным насосом (8) через подогреватели (9) подаётся в котельную установку. Конденсат греющего пара, образующийся в подогревателях (9), перепускается каскадно в деаэратор, а конденсат греющего пара подогревателей (6) подаётся дренажным насосом (10) в линию, по которой протекает конденсат из конденсатора (4).

Контрольные вопросы:

1. В чём особенности тепловых схем КЭС?
2. В чём особенности тепловых схем ТЭЦ?
3. Какие схемы получили наиболее широкое распространение?

РАЗДЕЛ 6. ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Тема 6.1. Типы ядерных реакторов

Тема 6.2. Принципиальные тепловые схемы АЭС

Атомная электростанция – электростанция, в которой атомная (ядерная) энергия преобразуется в электрическую. Генератором энергии на АЭС является атомный реактор. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжёлых элементов, затем так же, как и на обычных тепловых электростанциях (ТЭС), преобразуется в электроэнергию. В отличие от ТЭС, работающих на органическом топливе, АЭС работает на ядерном горючем (в основном U^{233} , U^{235} , Pu^{239}). При делении 1 г изотопов урана или плутония высвобождается 22500 кВтч, что эквивалентно энергии, содержащейся в 2800 кг условного

топлива. Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного горючего (уран, плутоний и др.) существенно превышают энергоресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и др.). Это открывает широкие перспективы для удовлетворения быстро растущих потребностей в топливе. Кроме того, необходимо учитывать всё увеличивающийся объём потребления угля и нефти для технологических целей мировой химической промышленности, которая становится серьёзным конкурентом тепловых электростанций. Несмотря на открытие новых месторождений органического топлива и совершенствование способов его добычи, в мире наблюдается тенденция к относительному увеличению его стоимости. Это создаёт наиболее тяжёлые условия для стран, имеющих ограниченные запасы топлива органического происхождения. Очевидна необходимость быстрее развития атомной энергетики, которая уже занимает заметное место в энергетическом балансе ряда промышленных стран мира.

Принципиальная схема АЭС с ядерным реактором, имеющим водяное охлаждение, приведена на рис. 6.1. Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора 1, отбирается водой (теплоносителем) 1-го контура, которая прокачивается через реактор циркуляционным насосом 2. Нагретая вода из реактора поступает в теплообменник (парогенератор) 3, где передаёт тепло, полученное в реакторе, воде 2-го контура. Вода 2-го контура испаряется в парогенераторе, и образующийся пар поступает в турбину 4.

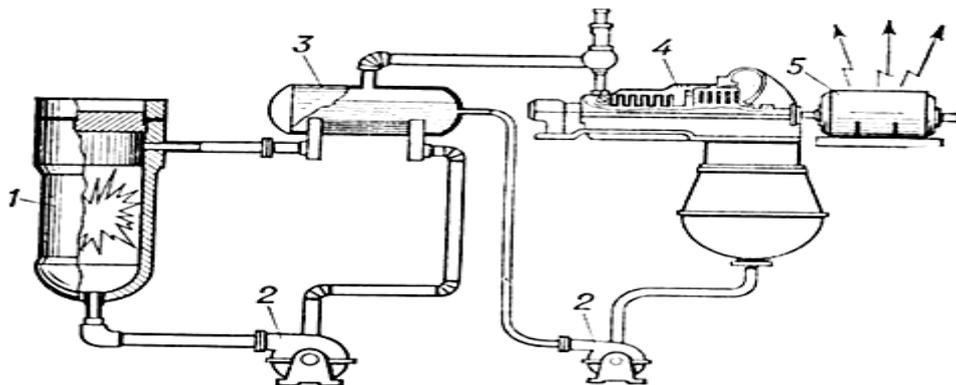


Рисунок 6.1 Принципиальная схема АЭС с водяным охлаждением

Наиболее часто на АЭС применяются 4 типа реакторов на тепловых нейтронах: 1) водо-водяные с обычной водой в качестве замедлителя и теплоносителя; 2) графито-водные с водяным теплоносителем и графитовым замедлителем; 3) тяжеловодные с водяным теплоносителем и тяжёлой водой в качестве замедлителя; 4) графито-газовые с газовым теплоносителем и графитовым замедлителем.

Выбор преимущественно применяемого типа реактора определяется главным образом накопленным опытом в реакторостроении, а также наличием необходимого промышленного оборудования, сырьевых запасов и т. д. На АЭС США наибольшее распространение получили водо-водяные реакторы. Графито-газовые реакторы применяются в Англии. В атомной энергетике Канады преобладают АЭС с тяжеловодными реакторами.

В зависимости от вида и агрегатного состояния теплоносителя создаётся тот или иной термодинамический цикл АЭС. Выбор верхней температурной границы термодинамического цикла определяется максимально допустимой температурой оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), содержащих ядерное горючее, допустимой температурой собственно ядерного горючего, а также свойствами теплоносителя, принятого для данного типа реактора.

На АЭС, тепловой реактор которой охлаждается водой, обычно пользуются низкотемпературными паровыми циклами. Реакторы с газовым теплоносителем позволяют применять относительно более экономичные циклы водяного пара с повышенными начальными давлением и температурой. Тепловая схема АЭС в этих двух случаях выполняется 2-контурной: в 1-м контуре циркулирует теплоноситель, 2-й контур - пароводяной. При реакторах с кипящим водяным или высокотемпературным газовым теплоносителем возможна одноконтурная тепловая АЭС. В кипящих реакторах вода кипит в активной зоне, полученная пароводяная смесь сепарируется, и насыщенный пар направляется или непосредственно в турбину, или предварительно возвращается в активную зону для перегрева. В высокотемпературных графито-газовых реакторах возможно применение обычного газотурбинного цикла. Реактор в этом случае выполняет роль камеры сгорания.

При работе реактора концентрация делящихся изотопов в ядерном топливе постепенно уменьшается, т. е. ТВЭЛы выгорают. Поэтому со временем их заменяют свежими. Ядерное горючее перезагружают с помощью механизмов и приспособлений с дистанционным управлением. Отработавшие ТВЭЛы переносят в бассейн выдержки, а затем направляют на переработку.

К реактору и обслуживающим его системам относятся: собственно реактор с биологической защитой, теплообменники, насосы или газодувные установки, осуществляющие циркуляцию теплоносителя; трубопроводы и арматура циркуляционного контура; устройства для перезагрузки ядерного горючего; системы спец. вентиляции, аварийного расхолаживания и др.

При авариях в системе охлаждения реактора для исключения перегрева и нарушения герметичности оболочек ТВЭЛов предусматривают быстрое (в течение несколько секунд) глушение ядерной реакции; аварийная система расхолаживания имеет автономные источники питания.

Оборудование машинного зала АЭС аналогично оборудованию машинного зала ТЭС. Отличительная особенность большинства АЭС - использование пара сравнительно низких параметров, насыщенного или слабоперегретого.

Экономичность АЭС определяется её основными техническими показателями: единичная мощность реактора, КПД, энергонапряжённость активной зоны, глубина выгорания ядерного горючего, коэффициент использования установленной мощности АЭС за год. С ростом мощности АЭС удельные капиталовложения в неё (стоимость установленного кВт)

снижаются более резко, чем это имеет место для ТЭС. В этом главная причина стремления к сооружению крупных АЭС с большой единичной мощностью блоков. Для экономики АЭС характерно, что доля топливной составляющей в себестоимости вырабатываемой электроэнергии 30-40% (на ТЭС 60-70%).

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

Контрольные вопросы:

1. Опишите основные характеристики ядерных энергетических установок?
2. Какие бывают типы ядерных реакторов?

РАЗДЕЛ 7. ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Тема 1. Процесс преобразования гидроэнергии в электрическую

Тема 2. Современные проблемы комплексного использования гидроресурсов

Понять принцип работы гидротурбины проще всего на примере типичной активной турбины – колеса Пельтона (ковшовой турбины).

Работа активной гидротурбины основана на использовании кинетической энергии потока. Для этого потенциальную энергию воды перед плотиной превращают в кинетическую энергию струи, которую направляют в ковши, расположенные на ободе колеса, как показано на рис. 7.1. Взаимодействие с ковшем изменяет направление движения струи, следовательно, со стороны ковша на струю действует сила, а значит, такая же по величине сила действует и на ковш. Эта тангенциальная сила и вращает гидротурбину. Статическое давление в любой точке струи при этом постоянно и равно атмосферному.

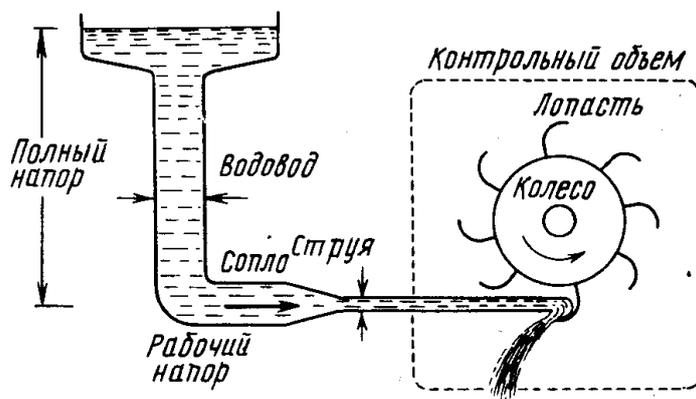


Рисунок 7.1 Схема активной гидротурбины (турбины Пельтона)

В реальных конструкциях активных гидротурбин стремятся максимально приблизиться к ее идеальному варианту. Например, сопла регулируют так, чтобы струи воды набегали на лопасти перпендикулярно и с оптимальной относительной скоростью, но реализовать эти условия на практике в полной мере не удается.

Одним из способов повышения коэффициента быстроходности является увеличение числа сопел. Однако уже при $n > 4$ струи начинают влиять друг на друга, что приводит к уменьшению КПД колеса. Таким образом, для увеличения расхода воды через турбину необходимы существенные изменения в ее конструкции. Например, колесо помещают в специальный кожух (спиральную камеру) с некоторым зазором, в который по касательной к колесу поступает вода (рис. 7.2,а). Такая турбина называется реактивной.

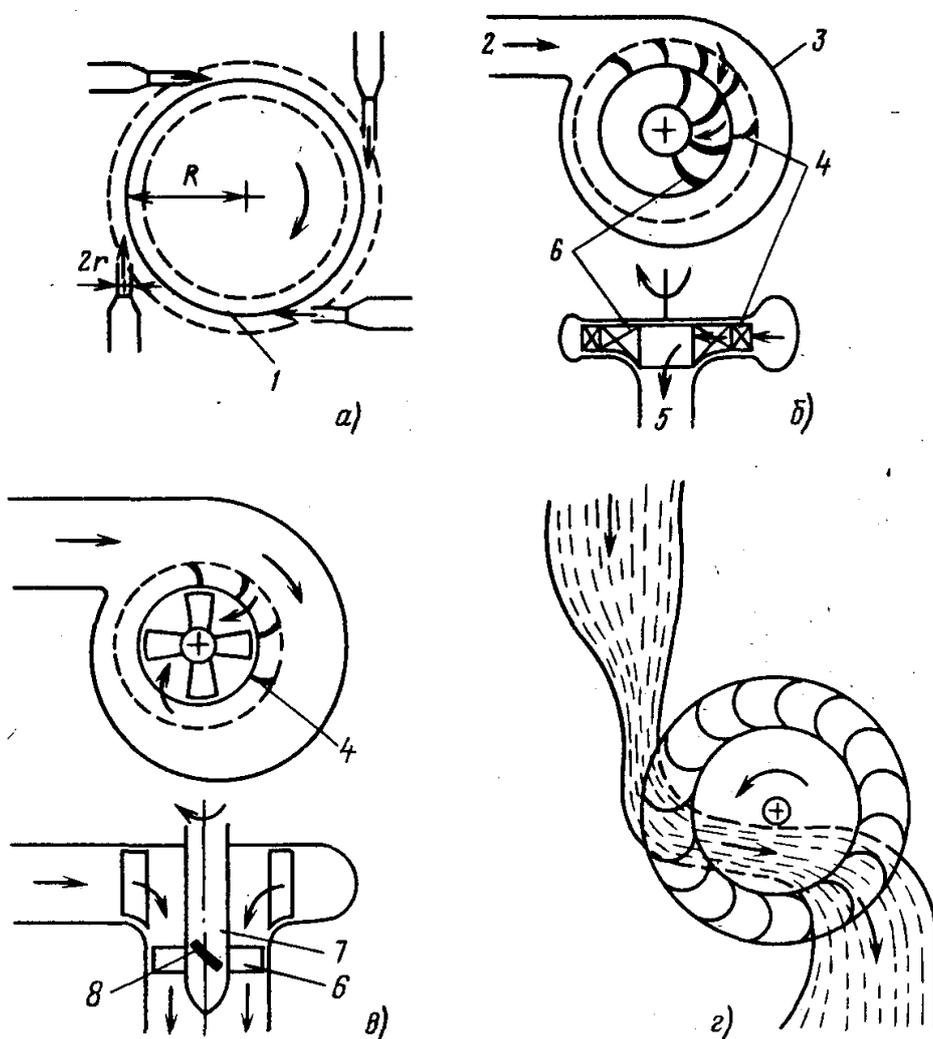


Рисунок 7.2. Способы повышения эффективности гидротурбины за счет совершенствования ее конструкции: а - четырехсопловая турбина Пельтона, мощность которой в 4 раза выше односопловой турбины такого же размера; б – радиально-осевая турбина (турбина Фрэнсиса), все лопасти которой непрерывно обтекаются поступающим из направляющего аппарата потоком; в – пропеллерная гидротурбина (турбина Каплана). Максимальный коэффициент быстроходности достигается увеличением размера струи до размера рабочего колеса; г – гидротурбина двукратного действия (турбина Банки), у которой струя воды взаимодействует с лопастями колеса дважды; 1 – средний диаметр

колеса; 2 – вход; 3 – спиральная камера; 4 – неподвижные лопатки направляющего аппарата; 5 – выход; 6 – вращающиеся лопасти; 7 – втулка; 8 – вид лопасти с торца.

В отличие от активной турбины, когда струя то воздействует на лопасть, то нет, в реактивной она воздействует на лопасти практически все время. Конструкция рабочего колеса реактивной турбины (ротора) такова, что вода поступает в него радиально, а выходит в направлении оси ротора. На рис. 7.2, б показан один из вариантов такой конструкции, известный как турбина Фрэнсиса. Из рисунка видно, что поступающая в рабочее колесо вода, пройдя через направляющий аппарат, приобретает дополнительно к тангенциальной радиальную составляющую скорости.

Для еще большего увеличения расхода воды через турбину размер струи можно увеличить до размера ее колеса. Этот принцип лежит в основе пропеллерных гидротурбин (рис. 7.2, в). Скорость потока в таких турбинах имеет преимущественно осевое направление. Направляющий аппарат на входе турбины несколько закручивает поступающий на рабочее колесо поток, увеличивая этим КПД турбины.

Так как пропеллерные гидротурбины с преимущественно осевым направлением потока в рабочем колесе являются наиболее компактными, возникает вопрос, почему же они не вытеснили, например, турбины Пельтона или Фрэнсиса. Основная причина – большие перепады давлений, возникающие при движении жидкости в таких турбинах. В отличие, например, от активных турбин поток в них изолирован стенками спирального аппарата от атмосферы. Используя уравнение Бернулли, можно показать, что минимальное давление воды в реактивной гидротурбине существенно меньше атмосферного. Более того, это давление может быть даже меньше давления насыщенных паров воды. Если такое происходит, в потоке образуются пузырьки пара, т. е. возникает кавитация. Если затем в потоке давление воды резко возрастает, пузырьки схлопываются. Возникающие в этот момент громадные давления могут вызвать разрушение находящихся поблизости элементов турбины. Эти явления усиливаются с увеличением скорости потока и напора, поэтому осевые турбины используются в основном при низких напорах H . Кроме того, характеристики реактивных турбин, и в частности пропеллерных, очень чувствительны к изменениям скорости потока. Например, их КПД резко падает при уменьшении скорости из-за изменения угла обтекания потоком лопастей колеса. В принципе с помощью системы автоматического управления можно поддерживать оптимальный угол обтекания, поворачивая лопасти, но это достаточно сложно и дорого. Тем не менее такие системы оправдывают себя на больших установках, как, например, гидротурбинах Каплана (рис. 7.2, в), а в последнее время они стали экономически выгодными и на небольших установках.

Турбина Пельтона, а также промежуточная по типу турбина Банки (турбина двукратного действия, рис. 7.2, г) не так чувствительны к параметрам потока, как пропеллерные турбины. Турбина Банки к тому же

очень проста в изготовлении, так как не требует сложного технологического оборудования.

На рис. 7.3 представлена зависимость КПД гидротурбины от коэффициента быстроходности, позволяющая выбрать оптимальный тип турбины по заданным значениям расхода и напора.

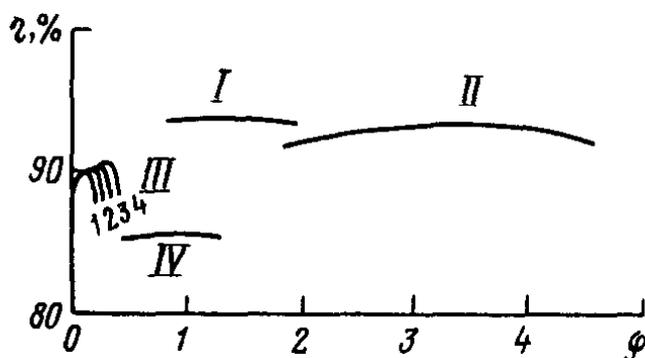


Рисунок 7.3. Диапазоны максимальной эффективности гидротурбин различных типов:

I – турбина Фрэнсиса; II – пропеллерная турбина;
 III – турбина Пельтона (1, 2, 3, 4-сопловая); IV – турбина Банки.

Для каждого типа турбины в свою очередь существуют зависимости между параметром, определяющим условия работы турбины с максимальным КПД, и параметрами самой турбины.

Гидравлический таран успешно заменяет электронасосы в неэлектрифицированных районах для подачи воды из равнинных рек. Гидравлический таран, используя кинетическую энергию потока воды, позволяет поднимать ее на значительную высоту. Например, поток с напором в 2 м способен поднять 10% своего расхода на высоту 12 м. Совершенно ясно, что это очень удобный способ заполнения, например, емкостей водонапорных башен в сельской местности. На рис. 7.4 представлена принципиальная схема такой установки, использующей гидравлический таран.

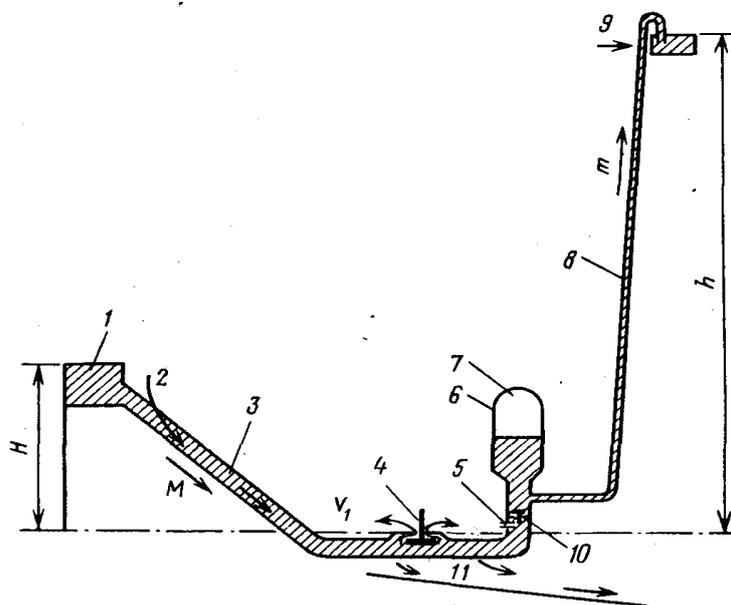


Рисунок 7.4. Схема гидравлического тарана:

1 – источник; 2 – поток воды из источника; 3 – питающий трубопровод; 4 – ударный отбойный клапан; 5 – воздушный клапан; 6 – напорный колпак; 7 – воздух; 8 – закачиваемая вода, нагнетательный трубопровод; 9 – верхний бак; 10 – напорный клапан; 11 – сток воды через клапан 4.

Вода из реки подается вниз по наклонному питающему трубопроводу, при этом ее потенциальная энергия MgH превращается сначала в кинетическую, а затем снова в потенциальную mgh . При подробном рассмотрении этот процесс протекает следующим образом.

1. В момент, когда ударный отбойный клапан V_1 открыт, а напорный клапан закрыт, вода из реки по питательному трубопроводу вытекает через клапан V_1 наружу, при этом ее потенциальная энергия MgH превращается в кинетическую.

2. Давление, действующее в этот момент на клапан V_1 , превосходит силу тяжести клапана, и он быстро захлопывается.

3. Вода, продолжающая по инерции поступать в питающую трубу, начинает сжимать находящуюся в ней воду.

4. Давление в трубе резко повышается, напорный клапан открывается, пропуская воду в напорный колпак.

5. Вода, поступающая в колпак, сжимает находящийся в нем воздух.

6. Некоторая часть воды массой m поступает в нагнетательный трубопровод под действием давления воды и воздуха в колпаке.

7. Скорость потока в питающем трубопроводе резко уменьшится в результате процессов 5) и 6), напорный клапан закроется и вода в питательном трубопроводе совершит волнообразное возвратное движение.

8. Давление в результате возвратного движения на внутренней поверхности ударного клапана V_1 упадет, он откроется, выпуская воду наружу, и весь процесс начнет повторяться.

9. Воздушный клапан откроется одновременно с клапаном V_1 , выпуская небольшую порцию воздуха, который потом вместе с водой попадет в напорный колпак, восполняя потери воздуха в нем из-за поглощения его водой.

При работе тарана описанный цикл непрерывно повторяется с частотой примерно 1 Гц.

В теории расчета таких насосов используется только один экспериментальный параметр – коэффициент сопротивления ударного отбойного клапана. КПД тарана равен mH/MH . Надежные и удобные в работе гидравлические тараны пользуются большим спросом. Их КПД составляет примерно 60%. Гидравлический таран с несколько меньшим КПД может работать и от водопровода.

В основном современные гидроэнергетические установки используются для производства электроэнергии, хотя имеются установки и другого назначения (например, гидравлический таран). На рис. 7.5 показана схема типичной малой гидроэлектростанции. В нее входят водохранилище,

подводящий водовод, регулятор расхода воды, гидротурбина, электрогенератор, система контроля и управления параметрами генератора, электрораспределительная система. Водохранилище, т. е. источник потенциальной энергии, создается с помощью плотины, которая позволяет также обеспечивать стабильный расход воды через турбину. Водохранилище помимо этого можно использовать и для других целей, например для судоходства и водоснабжения. Небольшие гидроэлектростанции, расположенные в стороне от основного русла реки и соединенные с ней подводящим и отводящим каналами (так называемые деривационные гидроэлектростанции), имеют вместо плотин невысокую подпорную стенку, т. е. не создают водохранилищ.

Подводящий (напорный) водовод является наиболее дорогим сооружением гидроэлектростанции. Уменьшить его стоимость можно за счет уменьшения его длины, диаметра и толщины стенок, но к сожалению, редко условия эксплуатации позволяют сделать это. Особенно это касается диаметра водовода D , так как при слишком малом диаметре в водоводе потеряется почти вся потенциальная энергия воды. Поэтому при проектировании водовода следует сопоставлять выигрыш в стоимости его сооружения при уменьшении диаметра и проигрыш из-за увеличения потерь напора в нем.

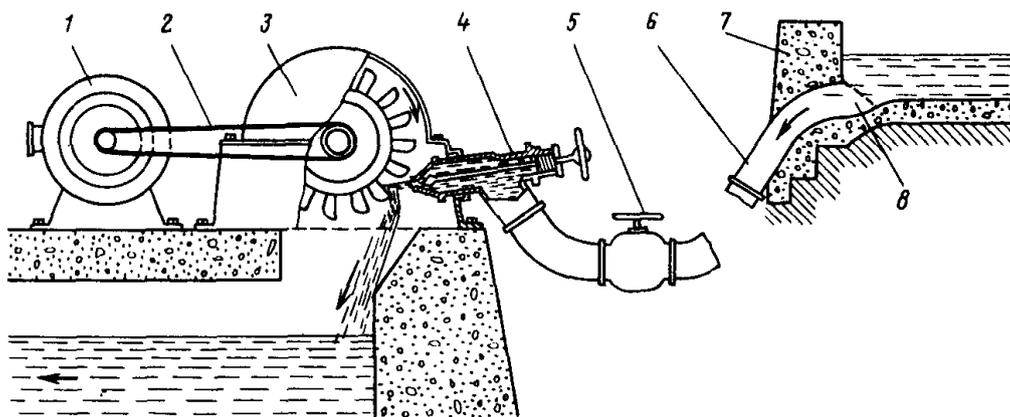


Рисунок 7.5. Схема гидроэлектростанции с ковшовой гидротурбиной:

1 – электрогенератор; 2 – приводной ремень; 3 – гидротурбина; 4 – сопло; 5 – вентиль; 6 – водовод; 7 – плотина; 8 – решетка.

Стенки водовода должны быть достаточно гладкими для уменьшения потерь на трение и прочными, чтобы выдержать значительные статические и динамические (в местах изгиба) давления. На небольших станциях большая часть водовода может изготавливаться из пластмассы, например поливинилхлорида, за исключением небольшой стальной нижней секции, где давления максимальны. Для предотвращения водовода от засорения на его входе устанавливаются защитная сетка, которая регулярно очищается, а также отстойник, в котором осаждаются взвешенные частицы.

Частота вращения колеса турбины, как отмечалось выше, должна быть согласована с характеристиками электрогенератора. Частота вращения большинства существующих гидротурбин недостаточно велика, поэтому

обычно переменное напряжение на выходе генератора не превышает 400 В. Мощные (более 1 МВт) электрогенераторы, как правило, находятся на одном валу с гидротурбиной, что позволяет избежать потерь энергии в приводе. Небольшие генераторы (около 10 кВт) соединяются с турбиной приводом, который позволяет повышать обороты генератора. В качестве привода чаще всего используются клиновидные ремни. Потери энергии в таком приводе составляют 10–20%.

Большие гидроэлектростанции обычно входят в единую энергосистему, поэтому необходимо, чтобы их выходные параметры соответствовали параметрам энергосистемы (напряжению и частоте). Напряжение в энергосистеме для уменьшения джоулевых потерь при передаче электроэнергии во много раз превышает напряжение на выходе генераторов, поэтому генератор подключается к энергосистеме через повышающий трансформатор. Предъявляемые при этом требования к отклонениям напряжения и частоты от стандарта составляют $\pm 2\%$. Стабилизация частоты обычно осуществляется механической системой регулирования расхода воды с обратной связью. В турбине Пельтона, например, это осуществляется с помощью вентиля с запорной иглой, регулирующего расход воды через сопла. В реактивных турбинах при изменении расхода необходимо еще и поворачивать лопасти, поэтому здесь механические системы регулирования сложны и дороги, особенно при использовании на небольших гидроэлектростанциях.

Небольшие ГЭС, снабжающие электроэнергией сельские районы, также имеют системы управления и контроля, но так как электроэнергия здесь используется в основном для освещения и питания небольших электродвигателей, допускаются гораздо большие (до 10%) отклонения напряжения и частоты. К тому же на таких ГЭС ввиду их небольшой мощности могут успешно применяться электронные регуляторы (например, тиристорные) вместо традиционных механических.

При электронной системе управления нагрузкой используется и ручное регулирование выходных параметров посредством изменения расхода воды через турбину. Наилучшие результаты достигаются при использовании электронных систем управления с прямой связью, которые распределяют энергию электростанции между основными потребителями и дополнительными, подключаемыми только в периоды спада энергопотребления основными потребителями. При этом суммарная нагрузка генератора, равная сумме основной и дополнительной, все время остается постоянной, следовательно, и гидротурбина работает с постоянной нагрузкой. Поэтому отпадает необходимость в регулировании расхода воды через турбину, что существенно упрощает ее конструкцию. Типичным представителем такой системы управления является тиристорная система, управляющим параметром в которой является разность номинального и фактического значений напряжения на основной нагрузке.

Полный КПД гидроэнергетической установки. Каждый из отдельно взятых этапов превращения потенциальной энергии воды (или мощности P_0)

в электрическую энергию в гидроэнергетических установках достаточно эффективен, однако в целом потери энергии оказываются значительными - $\eta \approx 0,5$. Кроме того, потери неизбежны и при распределении и потреблении электроэнергии.

Гидроэлектростанция (ГЭС) - комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию.

Напор ГЭС создается концентрацией падения реки на используемом участке плотиной (рис. 7.6), либо деривацией (рис. 7.7), либо плотиной и деривацией совместно (рис. 7.8).



Рисунок 7.6 Схема концентрации потока плотиной
ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф; H_b – напор.

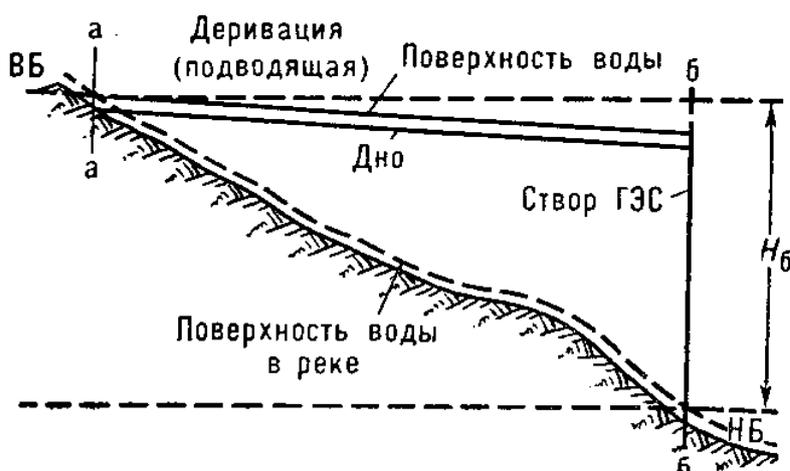


Рисунок 7.7 Схема концентрации потока деривацией (подводящей)
ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф; H_b – напор.

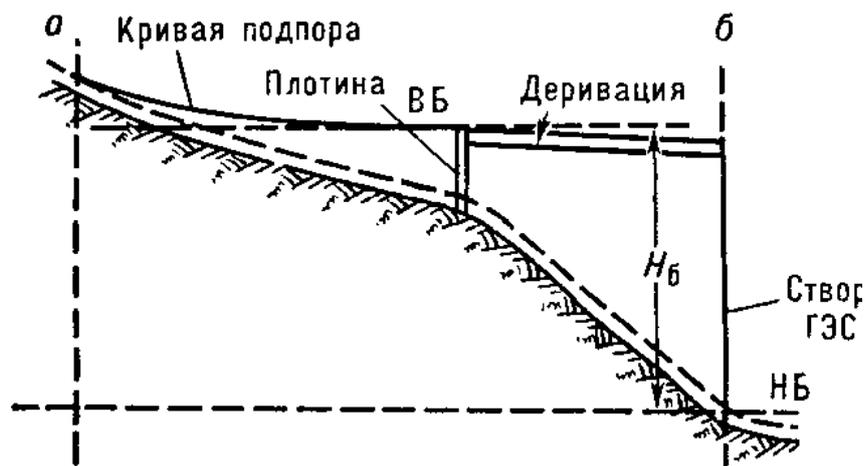


Рисунок 7.8 Схема концентрации потока плотиной и деривацией
 ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф; H_b – напор.

Основное энергетическое оборудование ГЭС размещается в здании ГЭС: в машинном зале электростанции – гидроагрегаты, вспомогательное оборудование, устройства автоматического управления и контроля; в центральном посту управления – пульт оператора гидроэлектростанции.

Повышающая трансформаторная подстанция размещается как внутри здания ГЭС, так и в отдельных зданиях или на открытых площадках. Распределительные устройства располагаются на открытой площадке. Здание ГЭС может быть разделено на секции с одним или несколькими агрегатами и вспомогательным оборудованием, отделённые от смежных частей здания. При здании ГЭС или внутри него создаётся монтажная площадка для сборки и ремонта различного оборудования и для вспомогательных операций по обслуживанию ГЭС.

По установленной мощности (в МВт) различают ГЭС мощные (больше 25), средние (до 25) и малые (до 5). Мощность ГЭС зависит от напора H (разности уровней верхнего и нижнего бьефа), расхода воды, используемого в гидротурбинах, и КПД гидроагрегата. По ряду причин (вследствие, например сезонных изменений уровня воды в водоёмах, непостоянства нагрузки энергосистемы, ремонта гидроагрегатов или гидротехнических сооружений и т. п.) напор и расход воды непрерывно меняются, а кроме того, меняется расход при регулировании мощности ГЭС. Различают годичный, недельный и суточный циклы режима работы ГЭС.

По максимально используемому напору ГЭС делятся на высоконапорные (более 60 м), средненапорные (от 25 до 60 м) и низконапорные (от 3 до 25 м). На равнинных реках напоры редко превышают 100 м, в горных условиях посредством плотин можно создавать напоры до 300 м и более, а с помощью деривации – до 1500 м. Классификация по напору приблизительно соответствует типам применяемого энергетического оборудования: на высоконапорных ГЭС применяют ковшовые и радиально-осевые турбины с металлическими спиральными камерами; на средненапорных – поворотлопастные и радиально-осевые турбины с железобетонными и металлическими спиральными камерами, на

низконапорных – поворотлопасные турбины в железобетонных спиральных камерах, иногда горизонтальные турбины в капсулах или в открытых камерах. Подразделение ГЭС по используемому напору имеет условный характер.

По схеме использования водных ресурсов и концентрации напоров ГЭС обычно подразделяют на русловые, приплотинные, деривационные с напорной и безнапорной деривацией, смешанные, гидроаккумулирующие и приливные. В русловых и приплотинных ГЭС напор воды создаётся плотиной, перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в верхнем бьефе. При этом неизбежно некоторое затопление долины реки. В случае сооружения двух плотин на том же участке реки площадь затопления уменьшается. На равнинных реках наибольшая экономически допустимая площадь затопления ограничивает высоту плотины. Русловые и приплотинные ГЭС строят и на равнинных многоводных реках и на горных реках, в узких сжатых долинах.

В деривационных ГЭС концентрация потока реки создаётся посредством деривации; вода в начале используемого участка реки отводится из речного русла водоводом, с уклоном, значительно меньшим, чем средний уклон реки на этом участке и со спрямлением изгибов и поворотов русла. Конец деривации подводят к месту расположения здания ГЭС. Отработанная вода либо возвращается в реку, либо подводится к следующей деривационной ГЭС. Деривация выгодна тогда, когда уклон реки велик. Деривационная схема концентрации напора в чистом виде (бесплотинный водозабор или с низкой водозаборной плотиной) на практике приводит к тому, что из реки забирается лишь небольшая часть её стока. В других случаях в начале деривации на реке сооружается более высокая плотина и создаётся водохранилище. Иногда, в зависимости от местных условий, здание ГЭС выгоднее располагать на некотором расстоянии от конца используемого участка реки вверх по течению; деривация разделяется по отношению к зданию ГЭС на подводящую и отводящую. В ряде случаев с помощью деривации производится переброска стока реки в соседнюю реку, имеющую более низкие отметки русла.

Особое место среди ГЭС занимают гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) и приливные электростанции (ПЭС). Сооружение ГАЭС обусловлено ростом потребности в пиковой мощности в крупных энергетических системах, что и определяет генераторную мощность, требующуюся для покрытия пиковых нагрузок. Способность ГАЭС аккумулировать энергию основана на том, что свободная в энергосистеме в некоторый период времени (провала графика нагрузки) электрическая энергия используется агрегатами ГАЭС, которые, работая в режиме насоса, нагнетают воду из водохранилища в верхний аккумулирующий бассейн. В период пиков нагрузки аккумулированная энергия возвращается в энергосистему (вода из верхнего бассейна поступает в напорный трубопровод и вращает гидроагрегаты, работающие в режиме генератора).

ПЭС преобразуют энергию морских приливов в электрическую. Электроэнергия приливных ГЭС в силу некоторых особенностей, связанных с периодичным характером приливов и отливов, может быть использована в энергосистемах лишь совместно с энергией регулирующих электростанций, которые восполняют провалы мощности приливных электростанций в течение суток или месяцев.

По характеру использования воды и условиям работы различают ГЭС на бытовом стоке без регулирования, с суточным, недельным, сезонным (годовым) и многолетним регулированием. Отдельные ГЭС или каскады ГЭС, как правило, работают в системе совместно с конденсационными электростанциями (КЭС), теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), атомными электростанциями (АЭС), газотурбинными установками (ГТУ), причём в зависимости от характера участия в покрытии графика нагрузки энергосистемы ГЭС могут быть базисными, полупиковыми и пиковыми.

Важнейшая особенность гидроэнергетических ресурсов по сравнению с топливно-энергетическими ресурсами – их непрерывная возобновляемость. Отсутствие потребности в топливе для ГЭС определяет низкую себестоимость вырабатываемой на ГЭС электроэнергии. Поэтому сооружению ГЭС, несмотря на значительные удельные капиталовложения и продолжительные сроки строительства, придавалось и придаётся большое значение, особенно когда это связано с размещением электроёмких производств.

Преимущества гидроэлектростанций очевидны – постоянно возобновляемый самой природой запас энергии, простота эксплуатации, отсутствие загрязнения окружающей среды. Да и опыт постройки и эксплуатации водяных колес мог бы оказать немалую помощь гидроэнергетикам. Однако постройка плотины крупной гидроэлектростанции оказалась задачей куда более сложной, чем постройка небольшой запруды для вращения мельничного колеса. Чтобы привести во вращение мощные гидротурбины, нужно накопить за плотинной огромный запас воды. Для постройки плотины требуется уложить такое количество материалов, что объём гигантских египетских пирамид по сравнению с ним покажется ничтожным.

Поэтому в начале XX века было построено всего несколько гидроэлектростанций. Вблизи Пятигорска, на Северном Кавказе на реке Подкумок успешно действовала довольно крупная электростанция с многозначительным названием "Белый уголь". Это было лишь началом.

Гидроэлектростанции классифицируются по мощности на мелкие (с установленной электрической мощностью до 0,2 МВт), малые (до 2 МВт), средние (до 20 МВт) и крупные (свыше 20 МВт). Вторым критерием, по которому разделяются гидроэлектростанции, – напор. Различают низконапорные ГЭС (напор до 10 м), среднего напора (до 100 м) и высоконапорные (свыше 100 м). В редких случаях плотины высоконапорных ГЭС достигают высоты 240 м. Такие плотины сосредоточивают перед турбинами водную энергию, накапливая воду и поднимая ее уровень.

Затраты на строительство ГЭС велики, но они компенсируются тем, что не приходится платить (во всяком случае, в явной форме) за источник энергии – воду. Мощность современных ГЭС, спроектированных на высоком инженерном уровне, превышает 100 МВт, а к.п.д. составляет 95% (водяные колеса имеют к.п.д. 50–85%). Такая мощность достигается при довольно малых скоростях вращения ротора (порядка 100 об/мин), поэтому современные гидротурбины поражают своими размерами. Например, рабочее колесо турбины Волжской ГЭС имеет высоту около 10 м и весит 420 т.

Контрольные вопросы.

1. Как классифицируются гидроэлектростанции по мощности?
2. Работа какой гидротурбины основана на использовании кинетической энергии потока воды?
3. Как и чем создаётся напор ГЭС?

Задания.

1. Оценить максимальную мощность электрогенератора микро-ГАЭС при высоте водопада 25 м и расходе 30 л/с.
2. Определить максимальный объём электроэнергии, запасённой ГАЭС при площади верхнего водохранилища 4 км² и гидротехническим минимумом глубины 2 м. Профиль водохранилища прямоугольный.

Методические рекомендации к самостоятельной работе обучающихся.

Содержание внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Общая энергетика» включает в себя различные виды деятельности:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы);
 - составление плана текста;
 - конспектирование текста;
 - работа со словарями и справочниками;
 - ознакомление с нормативными документами;
 - исследовательская работа;
 - использование аудио- и видеозаписи;
- работа с электронными информационными ресурсами;
 - выполнение тестовых заданий;
 - ответы на контрольные вопросы;
 - аннотирование, реферирование, рецензирование текста;
 - решение вариативных задач и упражнений.

Методические указания по выполнению практических электроэнергетических расчётов

1. Электрическая мощность, энергия, кпд

Мощность – это работа, произведенная за единицу времени.
Электрическая мощность равна произведению тока на напряжение:

$$P = UI.$$

Отсюда можно вывести другие формулы для мощности:

$$P = rI^2 = rI^2;$$
$$P = U \frac{U}{r} = \frac{U^2}{r}.$$

Единицу измерения мощности получим, подставив в формулу единицы измерения напряжения и тока:

$$[P] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ ВА}.$$

Единица измерения электрической мощности (постоянного тока) называется ватт (Вт). Название вольт-ампер (ВА) используется в технике переменного тока.

Единицы измерения электрической и механической мощности связаны следующими соотношениями:

$$1 \text{ Вт} = (1/9,81) \text{ кгс}\cdot\text{м/сек} \approx 0,1 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек};$$

$$1 \text{ л.с.} = 75 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек} = 736 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 102 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек} = 1,36 \text{ л.с.}$$

Если не учитывать неизбежных потерь энергии, то двигатель мощностью 1 кВт может перекачивать каждую секунду 102 л воды на высоту 1 м или 10,2 л воды на высоту 10 м.

Электрическая мощность измеряется ваттметром.

Электродвигатель произведет тем большую работу, чем больше его напряжение, ток и время, в течение которого он вращается. Работа

$$A = UIt.$$

Произведение $U \cdot I$ представляет собой мощность, а поэтому формулу можно записать в виде:

$$A = Pt,$$

или

$$A = rI^2t,$$

или

$$A = \frac{U^2}{r}t.$$

Подставив в формулу соответствующие единицы измерения, получим единицы измерения работы:

$$[A] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ сек} = 1 \text{ ВА}\cdot\text{сек};$$

$$[A] = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ сек} = 1 \text{ Вт}\cdot\text{сек}.$$

Электродвигатель мощностью 1 кВт произведет за 1 ч работу 1 кВт·ч. Электроутюг мощностью 500 Вт (0,5 кВт) за 2 ч превратит в тепло электрическую энергию, равную 1 кВт·ч (0,5 кВт·ч · 2 ч = 1 кВт·ч).

Единицы измерения электрической и механической работы (энергии) связаны следующими соотношениями:

$$1 \text{ Вт}\cdot\text{сек} = (1/9,81) \text{ кгс}\cdot\text{м} \approx 0,1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 1 \text{ Дж (джоуль)};$$

$$102 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 1000 \text{ Вт}\cdot\text{сек};$$

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 367200 \text{ кгс}\cdot\text{м}.$$

Насос совершит работу 1 кВт·ч, если перекачает 36720 л воды на высоту 10 м (за любое время).

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) - это отношение полезной мощности к затраченной.

Затраченная мощность P_1 подводится к машине, а полезная мощность P_2 отводится от нее.

Затраченная мощность всегда больше, чем полезная мощность, на величину потерь ΔP , которые возникают в установке:

$$P_1 = P_2 + \Delta P.$$

Коэффициент полезного действия обычно выражается в процентах.

2. Электрический нагрев

При прохождении электрического тока через сопротивление выделяется тепло, которое пропорционально израсходованной электрической энергии.

Электрическая энергия, переходящая в тепло, равна:

$$A = UI t = r I^2 t = \frac{U^2}{r} t.$$

Электрическая энергия измеряется в кВт·ч (или Вт·сек), а тепло - в килокалориях (ккал) или калориях (кал). Закон Джоуля - Ленца определяет связь между единицами измерения электрической и тепловой энергии:

$$1 \text{ Вт}\cdot\text{сек} = 1 \text{ Дж} = 0,24 \text{ кал}.$$

Количество тепловой энергии Q в калориях будет численно равно электрической энергии в Вт·сек, умноженной на постоянный коэффициент 0,24:

$$Q = 0,24 UI t = 0,24 r I^2 t = 0,24 \frac{U^2}{r} t$$

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,24 \text{ кал} = 860 \text{ ккал}.$$

Количество тепла, необходимое для нагрева тела весом G до определенной температуры t_2 равно:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

где c - удельная теплоемкость материала, приведенная в табл. 1.

Таблица 1– Удельная теплоемкость некоторых веществ, Дж/кг·°С.

Золото	130	Железо	460	Масло	1850
Ртуть	140	Сталь	500	трансформаторное	
Свинец	129	Чугун	540	Лед	2100
Олово	230	Графит	750	Керосин	2100
Серебро	250	Стекло	840	Эфир	2350
Медь	400	лабораторное		Дерево (дуб)	2400
Цинк	400	Кирпич	880	Спирт	2500
Латунь	400	Алюминий	920	Вода	4200

3. Расчет мощности переменного тока

В электрической цепи с сопротивлениями r , x_L и x_C в большинстве случаев ток не совпадает по фазе с напряжением и мощность тока не может быть выражена произведением тока и напряжения. Мощность переменного тока пропорциональна не полному току I , а его активной составляющей $I_a = I \cdot \cos \varphi$.

Другой составляющей полного тока I является реактивная составляющая:

$$I_p = I \cdot \sin \varphi,$$

которая в зависимости от вида нагрузки может быть либо индуктивной, либо емкостной.

Активная мощность P , превращающаяся в тепловую или механическую мощность, равна:

$$P = UI_a = UI \cdot \cos \varphi.$$

Здесь и далее U и I - действующие значения напряжения и тока.

Произведение UI дает полную мощность S , измеряемую в вольт-амперах (ВА).

Произведение напряжения на реактивный ток (индуктивный или емкостный) дает значение реактивной мощности:

$$Q = UI \cdot \sin \varphi = UI_p,$$

которая измеряется в реактивных вольт-амперах (ВАр).

Активная мощность

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi.$$

Отсюда коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}.$$

Реактивная мощность

$$Q = S \sin \varphi = UI \cdot \sin \varphi = UI_p.$$

Полная мощность

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

В дальнейшем для упрощения обозначений линейные величины напряжения, тока и мощности трехфазной системы будут даваться без индексов.

Мощность трехфазного тока равна тройной мощности одной фазы.

На практике чаще применяется формула, в которой ток и напряжение обозначают линейные величины:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Примеры решения задач

1. Подсчитать сопротивление и ток нагревательного элемента утюга на напряжение 220 В и мощность 500 Вт.

$$r = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{500} = \frac{48400}{500} = 96,8 \text{ Ом.}$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{500}{220} = 2,27 \text{ А.}$$

2. Электрический чайник на напряжение 220 В имеет мощность 600 Вт. Каково сопротивление его нагревательного элемента?

$$P = \frac{U^2}{r},$$

откуда

$$r = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{600} = \frac{48400}{600} = 80,6 \text{ Ом.}$$

3. На щитке электрической печи указаны ее номинальные данные ($P = 10 \text{ кВт}$; $U = 220 \text{ В}$). Определить, какое сопротивление представляет собой печь и какой ток проходит через нее при работе.

$$P = UI = \frac{U^2}{r};$$

$$r = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{10000} = \frac{48400}{10000} = 4,84 \text{ Ом;}$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10000}{220} = 45,45 \text{ А.}$$

4. Плотина имеет перепад уровней воды $h = 4 \text{ м}$. Каждую секунду через трубопровод на турбину попадает 51 л воды. Какая механическая мощность превращается в генераторе в электрическую, если не учитывать потерь (рис. 2)?

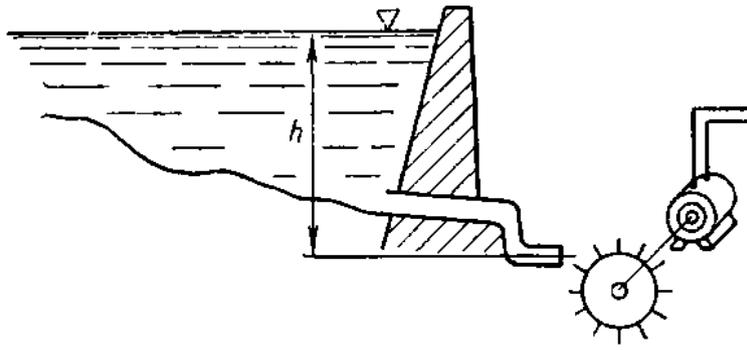


Рисунок 2 – Схема к задаче № 4.

Механическая мощность

$$P_M = Q \cdot h = 51 \text{ кгс/сек} \cdot 4 \text{ м} = 204 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек.}$$

Отсюда электрическая мощность

$$P_э = P_M : 102 = 204 : 102 = 2 \text{ кВт.}$$

5. Какую мощность должен иметь двигатель насоса, перекачивающего каждую секунду 25,5 л воды с глубины 5 м в резервуар, расположенный на высоте 3 м? Потери не учитываются (рис. 3).

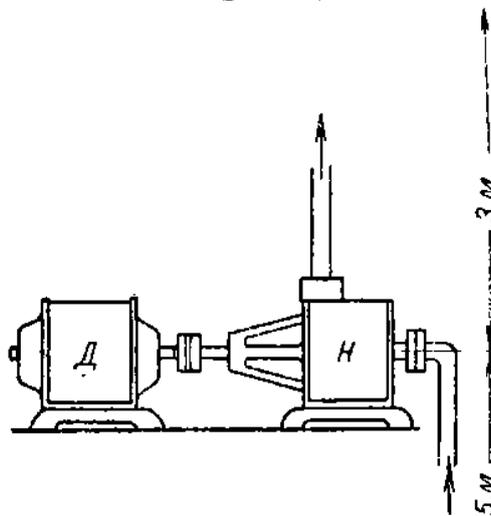


Рисунок 3 – Схема к задаче №5.

Общая высота подъема воды $h = 5 + 3 = 8 \text{ м.}$

Механическая мощность двигателя

$$P_M = Q \cdot h = 25,5 \text{ кгс/сек} \cdot 8 \text{ м} = 204 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек.}$$

Электрическая мощность

$$P_э = P_M : 102 = 204 : 102 = 2 \text{ кВт.}$$

6. Гидроэлектростанция получает из водохранилища на одну турбину каждую секунду 4 м^3 воды. Разница между уровнями воды в водохранилище и турбине $h = 20 \text{ м.}$

Определить мощность одной турбины без учета потерь.

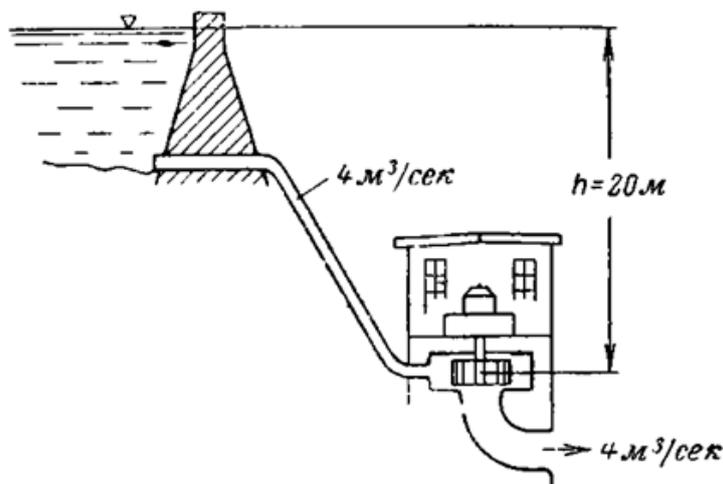


Рисунок 4 – Схема к задаче №6.

Механическая мощность протекающей воды

$$P_M = Q \cdot h = 20 \text{ т/сек} \cdot 4 \text{ м} = 80000 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек.}$$

Электрическая мощность одной турбины

$$P_э = P_M : 102 = 80000 : 102 = 784 \text{ кВт.}$$

7. Насос должен перекачивать каждую секунду $Q = 25,5$ л воды на высоту $h = 4$ м. Какую мощность должен иметь его двигатель и какую работу он совершит за время $\Delta t = 2$ ч?

Механическая мощность

$$P = \frac{Qh}{t} = 25,5 \cdot 4 = 102 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек.}$$

Электрическая мощность

$$P = 102 \text{ кгс} \cdot \text{м/сек} = 1 \text{ кВт.}$$

Электрическая работа

$$A = P\Delta t = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

8. Определить мощность электроплитки при помощи электросчетчика. Плитка была включена в сеть в течение 0,5 ч. Электросчетчик показал, что за 0,5 ч израсходована энергия 250 Вт·ч.

Так как

$$A = Pt,$$

то

$$P = \frac{A}{t} = \frac{250}{0,5} = 500 \text{ Вт.}$$

Мощность электроплитки 500 Вт.

9. Вольтметр постоянно включен в сеть напряжением 220 В. Его внутреннее сопротивление (сумма сопротивления прибора и

дополнительного сопротивления) $r = 10\ 000$ Ом. Сколько электрической энергии теряется в приборе за год?

В вольтметре теряется мощность

$$P = \frac{U^2}{r} = \frac{220^2}{10000} = \frac{48400}{10000} = 4,84 \text{ Вт.}$$

Потеря электроэнергии за год

$$A = Pt = 4,84 \cdot 24 \cdot 365 = 4,84 \cdot 8760 = 42,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

10. Сколько электроэнергии теряется ежедневно в сопротивлении изоляции проводки, если в электросети 30 000 потребителей? Сопротивление изоляции одного потребителя принимается равным приблизительно 1000 Ω Ом, т. е. для напряжения $U = 220$ В сопротивление изоляции каждого потребителя $R_{\text{и}} = 1\ 000 \cdot 220 = 220\ 000$ Ом.

Через сопротивление изоляции протекает незначительный ток, однако при большом числе потребителей суммарный ток получается значительным.

Ток утечки одного потребителя

$$I_1 = \frac{U}{r_{\text{и}}} = \frac{220}{220000} = 0,001 \text{ А.}$$

Результирующий ток утечки

$$I = 30000 \cdot 0,001 = 30 \text{ А.}$$

Потеря электрической энергии в сопротивлении изоляции за 24 ч составляет:

$$A = UIt = 220 \cdot 30 \cdot 24 = 158400 \text{ Вт}\cdot\text{ч};$$
$$A = 158,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

11. Электросчетчик имеет две катушки (тока и напряжения). Через катушку напряжения электросчетчика постоянно протекает ток 5 мА из сети напряжением 220 В даже при отсутствии тока нагрузки. Сколько электроэнергии теряется ежедневно в катушках напряжения, если в электросети 30 000 потребителей с электросчетчиками?

Суммарный ток катушек напряжения всех счетчиков

$$I = 5 \cdot 30000 = 150 \text{ А.}$$

Потеря мощности

$$P = UI = 220 \cdot 150 = 33000 \text{ Вт.}$$

Потеря энергии за 24 ч

$$A = Pt = 33 \cdot 24 = 792 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

12. В гидротурбину поступает 40 л воды за секунду с высоты 8 м. Какую механическую мощность в лошадиных силах и киловаттах развивает турбина генератора при $\eta = 70\%$?

Подводимая к турбине мощность равна:

$$P_1 = 40 \cdot 8 = 320 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек},$$

$$P_1 = 320 : 75 = 4,26 \text{ л.с.}$$

Выходная мощность турбины (полезная)

$$P_2 = \eta \cdot P_1 = 0,70 \cdot 4,26 = 2,982 \text{ л.с.},$$

или

$$P_2 = 2,982 \cdot 0,736 = 2,2 \text{ кВт.}$$

13. Гидроэлектростанция получает 20 000 м³ воды за 1 ч при напоре 10 м. Гидрогенератор имеет турбину с $\eta_T = 85\%$ и генератор с $\eta_G = 95\%$. Какую мощность развивает генератор?

Подводимая к турбине мощность

$$P_{T1} = \frac{20000000}{3600} \cdot 10 = 55555 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек},$$

$$P_{T1} = 55555 : 102 = 544 \text{ кВт.}$$

Полезная мощность турбины

$$P_{T2} = \eta_T \cdot P_{T1} = 0,85 \cdot 544 = 462 \text{ кВт.}$$

Мощность генератора

$$P_{G2} = \eta_G \cdot P_{T2} = 0,95 \cdot 462 = 438,9 \text{ кВт.}$$

14. Какой ток потребляет двигатель лифта, если кабина весом 100 кг движется со скоростью 1,5 м/сек? К.п.д. двигателя $\eta_D = 80\%$, к.п.д. механизма лифта $\eta_L = 70\%$. Напряжение сети 220 В.

Необходимая для подъема груза механическая мощность равна:

$$P_{\text{мех}} = \frac{FS}{t} = F \cdot v;$$

$$P_{\text{мех}} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ кгс}\cdot\text{м/сек};$$

$$P_{\text{мех}} = 150 : 102 = 1,47 \text{ кВт.}$$

Потребляемая двигателем из сети мощность

$$P_1 = \frac{P_{\text{мех}}}{\eta_D \eta_L} = \frac{1,47}{0,8 \cdot 0,6} = 3,06 \text{ кВт.}$$

Ток двигателя равен:

$$I = \frac{P_1}{U} = \frac{3060}{220} = 13,9 \text{ А.}$$

15. На электрической плитке 600 Вт нагревается 1 л воды с 14°C до кипения (100°C). Сколько электроэнергии израсходуется? Сколько времени потребуется для нагрева воды до кипения, если к.п.д. электрической плитки 75%?

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 1 \cdot 4200 (100 - 14) = 361200 \text{ Дж.}$$

При к.п.д. электрической плитки 75% необходимо большое количество тепла:

$$Q = \frac{361,2}{0,75} = 481,6 \text{ кДж,}$$

или $481,6 \cdot 0,24 = 115,6$ ккал тепловой энергии.

Подсчитаем время, необходимое для нагрева воды до кипения

$$Q = 0,24Pt.$$

Вместо Q подставим необходимое количество энергии при $\eta = 75\%$ (115,6 ккал), а вместо P - мощность плитки, (0,6 кВт):

$$115,6 = 0,24 \cdot 0,6 \cdot t,$$

откуда

$$t = \frac{115,6}{0,24 \cdot 0,6} \approx 803 \text{ сек.}$$

Вода закипит через $t \approx 13$ мин.

16. Сколько стоит вскипятить 1/2 л воды с температурой 16°C в электрическом чайнике, к. п. д. которого 80%?

На нагрев 1 л воды на 1°C нужно 1 ккал.

На нагрев 1 л воды на $100 - 16 = 84^\circ\text{C}$ нужно 84 ккал.

Нагрев 1/2 л воды на 84°C требует 42 ккал.

Электрический чайник имеет потери (нагревает окружающий воздух), а значит, должен выделить большее количество тепла:

$$\frac{Q}{\eta} = \frac{42}{0,8} = 52,5 \text{ ккал.}$$

Так как $860 \text{ ккал} = 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, то необходимая электроэнергия равна:

$$W = \frac{52,5}{860} = 0,063 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Эта электроэнергия стоит $0,063 \cdot 3 \text{ руб} = 18,9 \text{ коп.}$

17. Электрический паяльник мощностью 100 Вт должен нагреваться с 20 до 200°C . Сколько времени будет длиться нагрев, если рабочий элемент выполнен из материала с удельной теплоемкостью $c = 0,093 \text{ ккал/кг}\cdot^\circ\text{C}$ и весит 200 г?

Необходимое количество тепла

$$Q = Gc(t_2 - t_1) = 200 \cdot 0,093 \cdot 180 = 3348 \text{ кал.}$$

Так как

$$Q = 0,24Pt,$$

то

$$t = \frac{Q}{0,24P} = \frac{3348}{0,24 \cdot 100} = 139 \text{ сек.}$$

18. Бак с электроподогревом емкостью 100 л имеет нагреватель мощностью 1500 Вт. Вода нагревается с 15 до 90°C . К.п.д. нагревателя 90%. Сколько времени будет нагреваться вода, пока нагреватель Н не отключится термостатом Т? Какое сопротивление имеет нагреватель, если напряжение сети 220 В (рис. 7)?

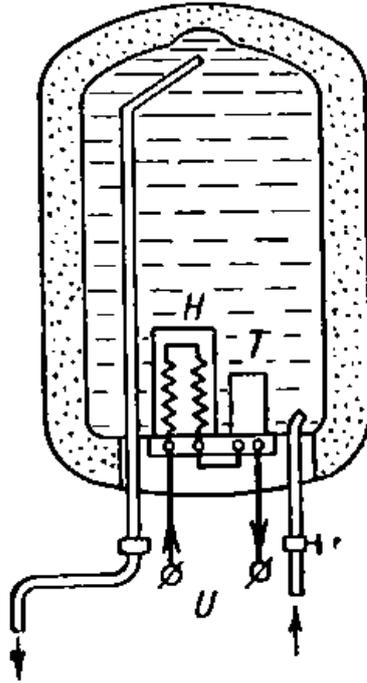


Рисунок 7 – Схема к задаче №18.

Количество тепла, необходимое для нагрева воды,

$$Q = Gc(t_2 - t_1) = 100 \cdot 1 \cdot (90 - 15) = 7\,500 \text{ ккал.}$$

Для нагрева воды нужно израсходовать большее количество тепла, так как часть тепла расходуется на нагрев окружающей среды:

$$Q_1 = Q : \eta = 75000 : 0,9 = 8\,333 \text{ ккал.}$$

Так как

$$Q_1 = 0,24Pt,$$

то нагрев будет длиться

$$t = \frac{Q_1}{0,24P} = \frac{8333000}{0,24 \cdot 1500} = 23147 \text{ сек}$$

или 6,5 часов, а сопротивление нагревателя

$$r = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{1500} = \frac{48400}{1500} = 32,26 \text{ Ом.}$$

19. В индукционной печи надо расплавить 100 кг меди. Сколько электроэнергии для этого необходимо? Какую мощность должна иметь печь, чтобы медь расплавилась за 2 ч? Удельная теплоемкость меди $c = 0,093$ ккал/кг $^{\circ}$ С, температура плавления $1\,083^{\circ}$ С, удельная теплота плавления 41 ккал/кг. К.п.д. печи 85%. Для нагрева 100 кг меди до точки плавления необходимо

$$Q_n = Gc(t_2 - t_1) = 100 \cdot 0,093 \cdot (1083 - 20) = 9886 \text{ ккал.}$$

Для расплавления 100 кг меди после нагрева до температуры плавления необходимо

$$Q_{пл} = G \cdot 41 = 100 \cdot 41 = 4100 \text{ ккал.}$$

При $\eta = 85\%$ количество тепла, необходимое для нагрева и плавления 100 кг меди, равно:

$$Q = \frac{Q_n + Q_{пл}}{\eta} = \frac{13986}{0,85} = 16454 \text{ ккал.}$$

Для получения этого количества тепла необходима электрическая энергия

$$W = \frac{Q}{860} = \frac{16454}{860} = 19,13 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Мощность индукционной печи равна:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{19,3}{2} = 9,56 \text{ кВт.}$$

20. Паровая турбина с к.п.д. $\eta_T = 30\%$ вращает генератор с к.п.д. $\eta_G = 92\%$ и $\cos\varphi = 0,9$. Какую подводимую мощность (л. с. и ккал/сек) должна иметь турбина, чтобы генератор обеспечивал ток 2000 А при напряжении 6000 В?

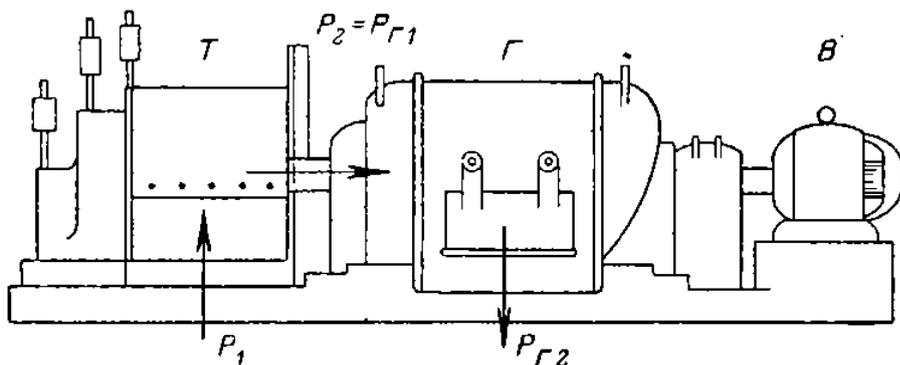


Рисунок 13 – Схема к задаче № 20.

Мощность генератора переменного тока, отдаваемая потребителю,

$$P_{Г2} = \sqrt{3}UI \cos\varphi = 1,73 \cdot 6000 \cdot 2000 \cdot 0,9 = 18684 \text{ кВт.}$$

Подводимая к генератору мощность равна мощности P_2 на валу турбины:

$$P_2 = P_{Г1} = \frac{P_{Г2}}{\eta_G} = \frac{18684}{0,9} = 20308 \text{ кВт.}$$

Подводимая к турбине при помощи пара мощность

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_T} = \frac{20308}{0,3} = 67693 \text{ кВт,}$$

или

$$P_1 = 67693 \cdot 1,36 = 92062 \text{ л.с.}$$

Подводимую мощность к турбине в ккал/сек определим по формуле

$$Q = 0,24Pt;$$

$$Q/t = 0,24P = 0,24 \cdot 67693 = 16246 \text{ ккал/сек.}$$

**Задание на контрольную работу по курсу
«Общая энергетика»**

Ответить письменно на вопросы и решить задачу, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Варианты заданий

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номера вопросов	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Номера задач	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номера вопросов	30	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	40	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Номера задач	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Вопросы для контрольной работы

- 1 Раскройте понятия «Энергетика» и «Электроэнергетика».
- 2 Что такое электрические станции.
- 3 Достоинства и недостатки концентрации производства электроэнергии.
- 4 Что такое ТЭС.
- 5 Что такое КЭС.
- 6 Что такое ТЭЦ.
- 7 Что такое АЭС.
- 8 Гидравлические электрические станции (ГЭС).
- 9 Приливные электрические станции. ПЭС.
- 10 Гидроаккумулирующие электрические станции ГАЭС.
- 11 Геотермальные электростанции.
- 12 Солнечные электростанции (гелиоЭС).
- 13 Ветровые электростанции (ВЭС).
- 14 Основной цикл паросиловой установки.
- 15 Схема и назначение паровой турбины.
- 16 Теплофикационный цикл.
- 17 Классификация котельных по давлению получаемого пара.
- 18 Классификация котельных агрегатов по производительности.
- 19 Классификация паровых котлов по конструкции.
- 20 Водотрубные паровые котлы.
- 21 Классификация котельных агрегатов по характеру организации движения рабочего тела в испарительных поверхностях.
- 22 Принципиальная схема прямоточного котла.
- 23 Конструкция и назначение пароперегревателей.
- 24 Водяные экономайзеры.
- 25 Воздухоподогреватели.
- 26 Сепарационные устройства.
- 27 Тягодутьевые устройства.
- 28 Типы золоуловителей в котельных.
- 29 Паровые турбины - принцип работы
- 30 Конденсационные паровые турбины
- 31 Схема работы конденсационной турбины.
- 32 Теплофикационные паровые турбины
- 33 Турбоагрегаты с противодавлением.
- 34 Турбины с регулируемым отбором пара.
- 35 Турбины с отбором и противодавлением.
- 36 Паровые турбины – преимущества.
- 37 Паровые турбины – недостатки.
- 38 Принципиальная тепловая схема ТЭС.
- 39 Деаэратор.
- 40 Принципиальная схема АЭС.

Задачи для контрольной работы

1. Подсчитать сопротивление и ток нагревательного элемента утюга на напряжение 220 В и мощность 500 Вт.

2. Электрический чайник на напряжение 220 В имеет мощность 600 Вт. Каково сопротивление его нагревательного элемента?

3. На щитке электрической печи указаны ее номинальные данные ($P = 10$ кВт; $U = 220$ В). Определить, какое сопротивление представляет собой печь и какой ток проходит через нее при работе.

4. Плотина имеет перепад уровней воды $h = 4$ м. Каждую секунду через трубопровод на турбину попадает 51 л воды. Какая механическая мощность превращается в генераторе в электрическую, если не учитывать потерь (рис. 1)?

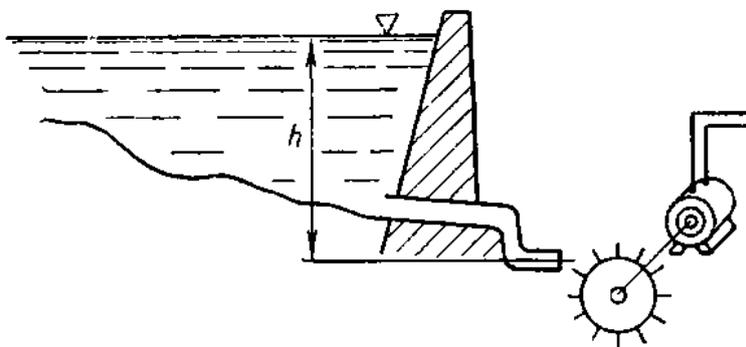


Рисунок 1 – Схема к задаче №4.

5. Какую мощность должен иметь двигатель насоса, перекачивающего каждую секунду 25,5 л воды с глубины 5 м в резервуар, расположенный на высоте 3 м? Потери не учитываются (рис. 2).

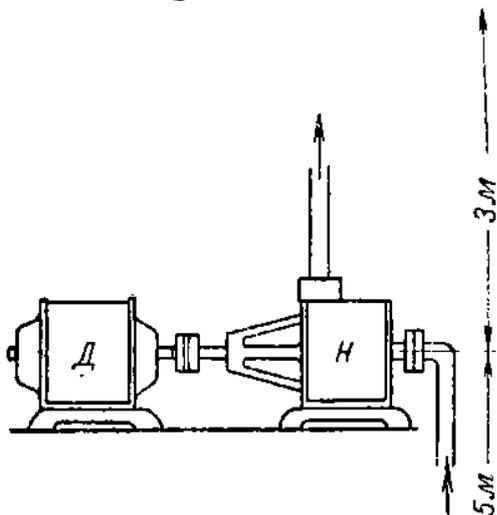


Рисунок 2 – Схема к задаче №5.

6. Гидроэлектростанция получает из водохранилища на одну турбину каждую секунду 4 м^3 воды. Разница между уровнями воды в водохранилище и турбине $h = 20$ м.

Определить мощность одной турбины без учета потерь.

7. Насос должен перекачивать каждую секунду $Q = 25,5$ л воды на высоту $h = 4$ м. Какую мощность должен иметь его двигатель и какую работу он совершит за время $\Delta t = 2$ ч?

8. Определить мощность электроплитки при помощи электросчетчика. Плитка была включена в сеть в течение 0,5 ч. Электросчетчик показал, что за 0,5 ч израсходована энергия 250 Вт·ч.

9. Вольтметр постоянно включен в сеть напряжением 220 В. Его внутреннее сопротивление (сумма сопротивления прибора и дополнительного сопротивления) $r = 10\ 000$ Ом. Сколько электрической энергии теряется в приборе за год?

10. Сколько электроэнергии теряется ежедневно в сопротивлении изоляции проводки, если в электросети 30 000 потребителей? Сопротивление изоляции одного потребителя принимается равным приблизительно 1000 Ом, т. е. для напряжения $U = 220$ В сопротивление изоляции каждого потребителя $R_{\text{п}} = 1\ 000 \cdot 220 = 220\ 000$ Ом.

11. Электросчетчик имеет две катушки (тока и напряжения). Через катушку напряжения электросчетчика постоянно протекает ток 5 мА из сети напряжением 220 В даже при отсутствии тока нагрузки. Сколько электроэнергии теряется ежедневно в катушках напряжения, если в электросети 30 000 потребителей с электросчетчиками?

12. В гидротурбину поступает 40 л воды за секунду с высоты 8 м. Какую механическую мощность в лошадиных силах и киловаттах развивает турбина генератора при $\eta = 70\%$?

13. Гидроэлектростанция получает 20 000 м³ воды за 1 ч при напоре 10 м. Гидрогенератор имеет турбину с $\eta_{\text{т}} = 85\%$ и генератор с $\eta_{\text{г}} = 95\%$. Какую мощность развивает генератор?

14. Какой ток потребляет двигатель лифта, если кабина весом 100 кг движется со скоростью 1,5 м/сек? К.п.д. двигателя $\eta_{\text{д}} = 80\%$, к.п.д. механизма лифта $\eta_{\text{л}} = 70\%$. Напряжение сети 220 В.

15. На электрической плитке 600 Вт нагревается 1 л воды с 14°C до кипения (100°C). Сколько электроэнергии израсходуется? Сколько времени потребуется для нагрева воды до кипения, если к.п.д. электрической плитки 75%?

16. Сколько стоит вскипятить 1/2 л воды с температурой 16°C в электрическом чайнике, к. п. д. которого 80%?

17. Электрический паяльник мощностью 100 Вт должен нагреваться с 20 до 200°C. Сколько времени будет длиться нагрев, если рабочий элемент выполнен из материала с удельной теплоемкостью $c = 0,093$ ккал/кг·°C и весит 200 г?

18. Бак с электроподогревом емкостью 100 л имеет нагреватель мощностью 1500 Вт. Вода нагревается с 15 до 90°C. К.п.д. нагревателя 90%. Сколько времени будет нагреваться вода, пока нагреватель Н не отключится термостатом Т? Какое сопротивление имеет нагреватель, если напряжение сети 220 В (рис. 3)?

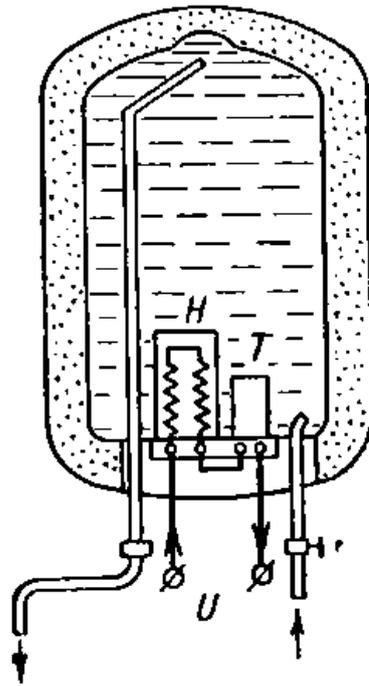


Рисунок 3 – Схема к задаче №18.

19. В индукционной печи надо расплавить 100 кг меди. Сколько электроэнергии для этого необходимо? Какую мощность должна иметь печь, чтобы медь расплавилась за 2 ч? Удельная теплоемкость меди $c = 0,093$ ккал/кг $^{\circ}$ С, температура плавления $1\ 083^{\circ}$ С, удельная теплота плавления 41 ккал/кг. К.п.д. печи 85%.

20. Паровая турбина с к.п.д. $\eta_T = 30\%$ вращает генератор с к.п.д. $\eta_G = 92\%$ и $\cos\varphi = 0,9$. Какую подводимую мощность (л. с. и ккал/сек) должна иметь турбина, чтобы генератор обеспечивал ток 2000 А при напряжении 6000 В?

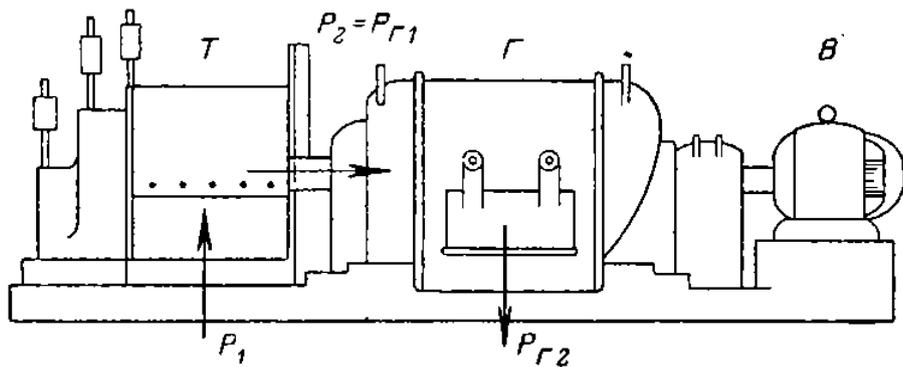


Рисунок 4 – Схема к задаче №20.

Список основной литературы	
1.	Лукутин, Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 120 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55208.html
2.	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие/. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 72 с. — 978-5-88247-672-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55117.html
3.	Теплоэнергетические установки. Теоретические и практические основы дисциплины [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.В. Щитов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2015. — 266 с. — 978-5-9642-0270-7. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55914.html
4.	Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.Н. Удалов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 460 с. — 978-5-7782-2358-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47686.html
5.	Ушаков, В.Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.Я. Ушаков, Н.Н. Харлов, П.С. Чубик. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 283 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55203.html
Список дополнительной литературы	
1.	Баринов, В.А. Энергетика России. Взгляд в будущее [Электронный ресурс]/ В.А. Баринов, Ю.Л. Барон, В.М. Батенин. — Электрон. текстовые данные. — М.: Энергия, Институт энергетической стратегии, 2010. — 610 с. — 978-5-98908-035-9. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/4293.html
2.	Быстрицкий, Г.Ф. Общая энергетика [Текст]: учебник/ Г.Ф. Быстрицкий.- М.: Кнорус, 2013.- 324 с.
3.	Скалкин, Ф.В. Энергетика и окружающая среда [Текст]/ Ф.В. Скалкин.- Л.: Энергоиздат, 1981.- 280 с.
4.	Старкова, Л.Е. Справочник цехового энергетика [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Л.Е. Старкова. — Электрон. текстовые данные. — М.: Инфра-Инженерия, 2013. — 352 с. — 978-5-9729-0021-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/13558.html

ШПАК Ольга Валентиновна

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Методические рекомендации
для обучающихся направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Корректор Чагова О.Х.

Редактор Чагова О.Х.

Сдано в набор 16.09.2024.

Формат 60x84/16

Бумага офсетная

Печать офсетная

Усл. печ. л. 3,48

Заказ № 4988

Тираж 100 экз.

Оригинал-макет подготовлен
в Библиотечно-издательском центре СКГА
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36

