

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:55:28

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81801b1baf6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п	Стр.
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование практических работ
4.	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа № 1. Основные термодинамические процессы, используемые при производстве электрической и тепловой энергии. Основные определения термодинамики.
4.2	Практическая работа № 2. Тепловые схемы тепловых электростанций. Анализ паросилового цикла Ренкина.
4.3.	Практическая работа №3. Паротурбинные установки. Расчет паротурбинных установок.
4.4	Практическая работа №4. Газотурбинные установки. Расчет газотурбинных установок.
4.5	Практическая работа №5. Парогазовые установки. Расчет парогазовых установок.
4.6	Практическая работа №6. Вспомогательное оборудование установок. Вспомогательное оборудование установок ТЭС.
4.7	Практическая работа №7. Показатели эффективности установок. Показатели эффективности установок ТЭС.
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью дисциплины является приобретение знаний по основам преобразования энергии топлива и других неэлектрических источников в электрическую энергию, изучение типов электростанций, конструкций основных агрегатов, процессов, происходящих в них.

Основные задачи дисциплины раскрытие физической сути процессов, протекающих в основных агрегатах станций (котлах, турбинах, электрической части), а также процессов при других способах преобразования энергии.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы: Практическая работа № 3. Основные термодинамические процессы, используемые при производстве электрической и тепловой энергии. – 2 часа, Практическая работа №4. Тепловые схемы тепловых электростанций – 2 часа, практическая подготовка- 2 часа, Практическая работа №6. Газотурбинные установки- 2 часа;

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
4 семестр			
1	Практическая работа № 1. Основные термодинамические процессы, используемые при производстве электрической и тепловой энергии. Основные определения термодинамики. Изучить основные понятия термодинамики.	4	
2	Практическая работа № 2. Тепловые схемы тепловых электростанций. Анализ паросилового цикла Ренкина. Изучить методику расчета параметров идеального термодинамического цикла паросиловых установок.	4	2
3	Практическая работа №3. Паротурбинные установки. Расчет паротурбинных установок. Изучить методику расчета паротурбинных установок.	2	

4	Практическая работа №4. Газотурбинные установки. Расчет газотурбинных установок. Изучить методику расчета газотурбинных установок.	2	2
5	Практическая работа №5. Парогазовые установки. Расчет парогазовых установок. Изучить методику расчета парогазовых установок.	2	
6	Практическая работа №6. Вспомогательное оборудование установок. Вспомогательное оборудование установок ТЭС. Изучить типы вспомогательного оборудования, применяемых на ТЭС.	2	
7	Практическая работа №7. Показатели эффективности установок. Показатели эффективности установок ТЭС. Изучить основные критерии эффективности установок ТЭС.	2	
Итого:		18	4

4. Содержание практических работ

Практическая работа № 1. Основные термодинамические процессы, используемые при производстве электрической и тепловой энергии. Основные определения термодинамики.

Цель: Изучить основные понятия термодинамики.

Основы теории:

В тепловых машинах процессы перехода теплоты в работу и работы в теплоту осуществляются посредством рабочего тела (обычно газ или водяной пар), изменяющего свое физическое состояние при сообщении теплоты или при силовом на него воздействии.

Величины, характеризующие физическое состояние тела, называются термодинамическими параметрами состояния тела, они определяются основными параметрами: удельным объемом, давлением и температурой.

Для каждого состояния тела параметры принимают вполне определенные значения, не зависящие от массы тела и обуславливаемые лишь его внутренними молекулярными особенностями — скоростью молекул и их взаимным расположением.

Удельный объем - объем единицы веса, обычно 1 кг вещества:

$$v = \frac{V}{G} \text{ м}^3 / \text{кг}$$

где: V - полный объем тела;

G - вес.

Удельный вес - величина, обратная удельному объему, (вес единицы объема (1 м³):

$$\gamma = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \text{ кг} / \text{м}^3$$

Плотность - масса единицы объема:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{Vg} = \frac{\gamma}{g} = \frac{1}{vg}$$

Удельный объем, удельный вес и плотность взаимно определяют друг друга и каждый из них может служить одним из параметров тела.

Давление газа - результат воздействия (ударов) на окружающую оболочку молекул газа, находящихся в хаотическом непрерывном движении.

Давление газа (при его равновесном состоянии), действующее по нормали к стенкам оболочки, равно и противоположно по направлению внешнему давлению.

Термодинамическим параметром, определяющим состояние газа, является не полное давление газа на оболочку, а удельное, т. е. его давление в килограммах,

приходящееся на единицу поверхности: 1 м^2 или 1 см^2 .

Техническая атмосфера (ат) - давление газа, равное 1 кг/см^2 .

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 10\,000 \text{ кг/м}^2.$$

Физическая атмосфера - давление воздуха на уровне моря на 45° географической широты, соответствующее давлению, производимому ртутным столбом высотой 760 мм при температуре, равной 0°C .

$$1 \text{ физ. ат} = 1,0333 \text{ техн. ат} = 10333 \text{ кг/м}^2.$$

Сравнительно небольшие давления могут измеряться высотой столба жидкости. 1 физ. ат = 760 мм рт. ст. при 0°C .

$$1 \text{ техн. ат} = \frac{760}{1,0333} = 735,6 \text{ мм рт. ст. при } 0^\circ\text{C}.$$

Высота водяного столба при этих же условиях будет в 13,595 раза больше высоты ртутного столба (ртуть в 13,595 раза тяжелее воды).

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 736 \text{ мм. рт. ст.} = 10 \text{ м вод. ст.}$$

В абсолютной системе CGS (сантиметр, грамм-масса, секунда) за единицу силы принята длина, площади - квадратный сантиметр и давления - 1 дин/см^2 .

Давление, равное 10^6 дин/см^2 , называется «бар».

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 0,981 \text{ бар}.$$

Приборы для измерения давления — манометры (измерение давления больше атмосферного), вакуумметры (измерение давления меньше атмосферного) и барометры (измерение атмосферного давления). Манометры показывают избыток измеряемого давления (абсолютного p_a) над атмосферным (барометрическим p_b).

$$p_a = p_b + p_m$$

Абсолютное давление газа равно избыточному давлению (манометрическому), сложенному с барометрическим давлением.

Вакуумметры показывают избыток атмосферного (барометрического) давления над измеряемым абсолютным давлением.

$$p_a = p_b - p_v$$

т. е. в случае разрежения давление газа равно барометрическому давлению без вакуумметрического (p_v)

Во все термодинамические формулы вводится абсолютное давление газа.

При измерении давления в атмосферах применяются условные обозначения: ата— для абсолютного давления и ати — для избыточного. Например, манометр показывает 5 ати, полное давление газа будет 6 ата.

Влияние на высоту столба ртути температуры. При возрастании температуры увеличиваются объем, а следовательно, и высота столба ртути, соответствующая данному давлению. При вычислении по показанию барометра атмосферного давления высоту столба ртути барометра h приводят к высоте h_0 при 0°C :

$$h_0 = h (1 - 0,000172t).$$

Тогда атмосферное давление (ат) при $t^\circ\text{C}$ будет равно:

$$p = \frac{h_0}{735,6} = \frac{h(1 - 0,000172t)}{735,6}$$

Приведение высоты столба ртути барометра к 0°C можно проводить графическим методом по диаграммам.

Температура является мерой нагретости тел. Тела имеют одинаковую температуру, если между ними не существует теплообмена, т. е. если они находятся между собой в тепловом равновесии, при котором будут равны средние значения кинетической энергии поступательного движения их молекул. Если же тела не находятся в тепловом равновесии и между ними имеется теплообмен, то тело, отдающее теплоту другому телу, обладает большей температурой, большей кинетической энергией молекул.

Таким образом, температура определяет направление теплового потока. Разность температур тел определяет меру их отклонения от теплового равновесия.

Эмпирическая температура - мера отклонения тела от состояния теплового равновесия с тающим льдом, находящимся под давлением в одну физическую атмосферу.

За единицу температуры принят один градус, из условия, что температуре тающего под атмосферным давлением льда приписывается 0° , а температуре, кипящей под атмосферным давлением воды — 100° .

Числовая величина температуры тела измеряется посредством термометров: ртутных, спиртовых и др. Для точных измерений температуры применяют газовые термометры. В технике пользуются также термометрами, действие которых основано не на свойстве расширения тел при нагревании (термоэлементы, термометры сопротивления и пр.).

Абсолютная температура - температура, пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения молекул тела. Абсолютная температура должна принимать значение, равное нулю при состоянии тела, при котором прекратилось бы тепловое

движение его молекул. Эта предельная минимальная температура называется абсолютным нулем и является началом для отсчета температур.

Абсолютная температура отсчитывается от предельно низкой температуры — от абсолютного нуля и является всегда положительной величиной. Эмпирическая температура отсчитывается от некоторой произвольно выбранной начальной температуры — температуры таяния льда под атмосферным давлением — и поэтому может быть, как положительной, так и отрицательной величиной. Введение абсолютной шкалы устраняет условность при оценке значения температуры и начала ее отсчета, неизбежные при измерении температуры по шкалам, построенным с использованием физических свойств тех или иных веществ.

Абсолютная температура тела может быть измерена посредством газового термометра. На основании закона Гей-Люссака можно показать, что постоянная точка идеального газового термометра, являющаяся началом отсчета температур, лежит на $273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже нуля стогоградусной шкалы. Шкала водородного термометра дает незначительное отклонение от шкалы идеального газа. Между абсолютной температурой тела ($T^{\circ}\text{K}$ или $T^{\circ}\text{абс}$) и температурой эмпирической ($t^{\circ}\text{C}$) имеется зависимость:

$$T = t + 273,16.$$

На основании второго закона термодинамики вводится так называемая термодинамическая температура, тождественная с абсолютной температурой

Пар - реальный газ со сравнительно высокой критической температурой, а также близкий к состоянию насыщения. За реальными газами с низкими критическими температурами сохраняется название газов вплоть до состояния насыщения.

Парообразование - процесс перехода жидкости в пар.

Испарение - парообразование, происходящее только с поверхности жидкости и при любой температуре. Интенсивность испарения зависит от природы жидкости и температуры. При испарении понижается температура жидкости, из нее вылетают молекулы, обладающие сравнительно большими скоростями, вследствие чего и уменьшается средняя скорость движения оставшихся в ней молекул. Испарение жидкости может быть полным, если над жидкостью находится неограниченное пространство.

Кипение – образование пузырьков пара у стенок сосуда и внутри жидкости. При сообщении жидкости теплоты увеличиваются ее температура и интенсивность испарения.

При некоторой вполне определенной температуре, зависящей от природы жидкости и давления, под которым она находится, наступает парообразование во всей ее массе.

Конденсация - процесс превращения пара в жидкость, осуществляющийся при отнятии от него тепла и являющийся процессом, обратным парообразованию.

Конденсат - жидкость, образующаяся при конденсации пара в паросиловых установках.

Возгонка, или сублимация - процесс перехода вещества из твердого состояния непосредственно в пар. Десублимация - процесс, обратный процессу сублимации, т. е. процесс перехода пара непосредственно в твердое состояние.

Насыщенный пар - пар, находящийся в равновесном состоянии с жидкостью, из которой он образуется. Насыщенный пар имеет температуру, являющуюся функцией его давления, равного давлению среды, в которой происходит процесс кипения. При увеличении объема насыщенного пара при постоянной температуре происходит переход некоторого количества жидкости в пар, при уменьшении же объема при постоянной температуре — переход пара в жидкость, но как в первом, так и во втором случаях давление пара остается постоянным.

Сухой насыщенный пар получается при испарении всей жидкости. Объем и температура сухого пара являются функциями давления. Состояние сухого пара определяется одним параметром (давлением или температурой).

Влажный насыщенный пар получается при неполном испарении жидкости, является смесью пара с мельчайшими капельками жидкости, распространенными равномерно во всей его массе и находящимися в нем во взвешенном состоянии.

Степень сухости - весовая доля пара во влажном паре (обозначается x). Степень влажности - весовая доля жидкости (обозначается y). $y = 1 - x$ Для сухого пара $x = 1$, а для воды $x = 0$. В процессе парообразования степень сухости пара постепенно увеличивается от нуля до единицы. Состояние влажного пара определяется двумя параметрами, (давлением или температурой и степенью сухости).

Перегретый пар - пар, температура которого выше температуры насыщенного пара того же давления. Температура перегретого пара зависит от давления и объема.

Степень перегрева - разность между температурой перегретого пара и температурой насыщенного пара того же давления.

Так как удельный объем перегретого пара больше удельного объема, насыщенного пара того же давления, то в единице объема, перегретого пара содержится меньшее число молекул, чем в единице объема насыщенного пара. Вследствие этого перегретый пар является не насыщенным и обладает меньшей плотностью, чем соответствующий насыщенный пар.

Перегретые пары по своим физическим свойствам близки к газам и тем в большей мере, чем выше степень их перегрева. Состояние перегретого пара, так же как и газа, определяется двумя любыми независимыми параметрами (давлением и температурой).

На рис. 6.1 представлены кривые, которые устанавливают для некоторых веществ зависимость между давлением и температурой кипения. Приведенная диаграмма, построенная по экспериментальным данным, показывает, что температуры кипения различных веществ при одном и том же давлении значительно отличаются друг от друга.

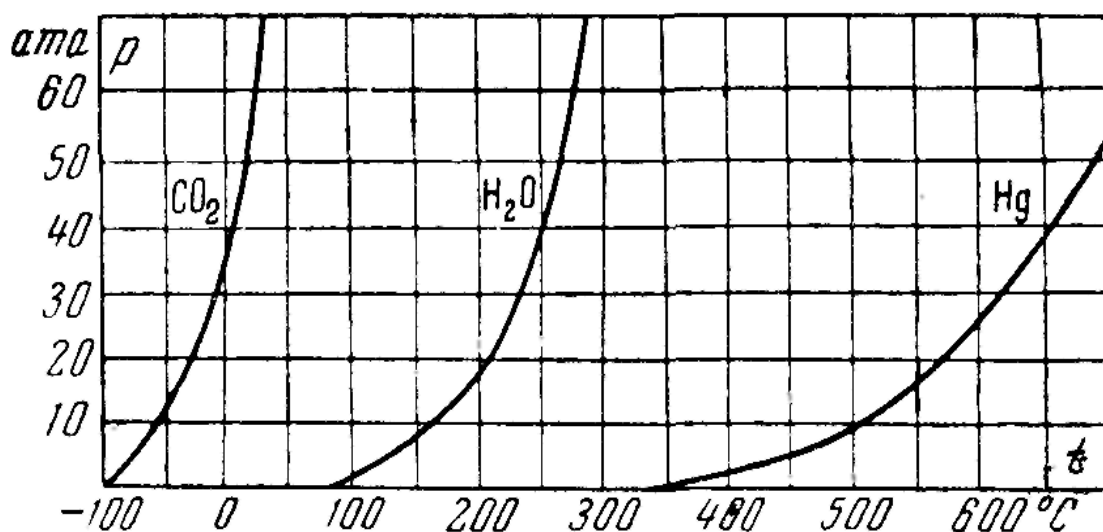


Рисунок 6.1 – Кривые зависимости между давлением и температурой кипения

Энтальпия (теплосодержание) - функция состояния тела, определяемого независимыми параметрами p и T - равна внутренней энергии тела, сложенной с работой, необходимой для ввода рассматриваемого тела с объемом v в окружающую его внешнюю среду, имеющую давление p и находящуюся с телом в равновесном состоянии

$$I = u + A p v$$

Потенциальная энергия давления среды - работа, отдаваемая среде. Энтальпия является суммой внутренней энергии тела и потенциальной энергии давления среды.

Энтропия - функция состояния тела, принимающая для каждого его состояния определенное значение. Для обратимых циклов справедливо:

$$\oint \frac{dq}{T} = 0$$

т.е. подинтегральное выражение представляет собой функцию состояния тела.

Энтропия для 1 кг газа - s , измеряется в ккал/кг·град. Для произвольного количества газа энтропия - $S = Gs$, где G — вес газа, кг.

$$ds = \frac{dq}{T} \quad \text{и} \quad dS = \frac{dQ}{T} .$$

$$s = \varphi(p, v); \quad s = \varphi_1(v, T); \quad s = \varphi_2(p, T),$$

где p, v, T — независимые параметры, определяющие состояние тела.

Свойство энтропии состоит в том, что изменения величин состояния тела в процессе не зависят от его характера и полностью определяются крайними состояниями тела в процессе и изменения этих величин в циклах равны нулю.

Вопросы и задания

1. Что такое удельный объем, удельный вес, плотность?
2. Чему равна температура в °K 0°C?
3. Дайте определения энтропии, энтальпии.
4. Дайте определения или опишите процесс:

пара, парообразования, испарения, кипения, конденсации, возгонки, десублимации, насыщенного пара, сухого насыщенного пара, влажного насыщенного пара, перегретого пара.

5. В чем состоит различие между эмпирической и абсолютной температурами?
6. Какими приборами измеряются температура и давление?
7. В чем состоит различие между физической и технической атмосферами?
8. Как связаны между собой степень влажности и степень сухости пара?

Задание

Задача. Определить давление при заданной температуре кипения для различных веществ, согласно табл. 1.1, и рис. 6.1. (Необходимо определить давление в мм. рт. ст., избыточное давление в ати, и давление в кг/см², если 1 физ. ат = 1,0333 кг/см² = 760 мм. рт. ст.)

Данные для определения давления

№ варианта	$t_{\text{кип}}^{\circ\text{C}}$	Вещество	№ варианта	$t_{\text{кип}}^{\circ\text{C}}$	Вещество
1	-90	CO ₂	16	210	H ₂ O
2	-80	CO ₂	17	230	H ₂ O
3	-70	CO ₂	18	250	H ₂ O
4	-50	CO ₂	19	270	H ₂ O
5	-30	CO ₂	20	280	H ₂ O
6	-10	CO ₂	21	370	Hg
7	0	CO ₂	22	390	Hg
8	10	CO ₂	23	410	Hg
9	20	CO ₂	24	430	Hg
10	30	CO ₂	25	450	Hg
11	110	H ₂ O	26	470	Hg
12	130	H ₂ O	27	490	Hg
13	150	H ₂ O	28	510	Hg
14	170	H ₂ O	29	530	Hg
15	190	H ₂ O	30	550	Hg

Практическая работа № 2. Тепловые схемы тепловых электростанций. Анализ паросилового цикла Ренкина.

Цель: Изучить методику расчета параметров идеального термодинамического цикла паросиловых установок.

Основы теории:

Цикл Ренкина с перегревом пара является основным циклом паросиловых установок, применяемых в современной теплоэнергетике. В качестве рабочего тела используется водяной пар. Паросиловые установки обычно состоят из паровых котлов (парогенераторов) и паровых двигателей (паровых машин или паровых турбин) для пароходов, паровозов, паровых автомобилей или электрических генераторов (тепловых и атомных электростанций).

Известно, что большая часть мировых энергетических ресурсов направляется на выработку электроэнергии и работу транспорта, где бесчисленное количество тепловых преобразователей энергии, превращают их в полезную работу. Эффективность преобразователей энергии, к которым относятся двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные, паротурбинные и другие энергетические установки, способна снизить не только экономические, но и экологические проблемы, что заставляет постоянно совершенствовать их конструкцию.

Цикл Ренкина - теоретический термодинамический цикл паровой машины, состоящий из четырех основных операций:

- 1- испарения жидкости при высоком давлении;
- 2- расширения пара;
- 3- конденсации пара;
- 4- увеличения давления жидкости до начального значения.

На рис. 8.1. представлена технологическая схема паросиловой установки для производства электроэнергии.

Пар большого давления и температуры подается в сопловые аппараты турбины, где происходит превращение потенциальной энергии пара в кинетическую энергию потока пара (скорость потока – сверхзвуковая). Кинетическая энергия сверхзвукового потока превращается на лопатках турбины в кинетическую энергию вращения колеса турбины и в работу производства электроэнергии.

После турбины пар направляется в конденсатор. Это обычный теплообменник, внутри труб проходит охлаждающая вода, снаружи – водяной пар, который конденсируется, вода становится жидкой и поступает в питательный насос, где происходит увеличение давления до номинальной (проектной) величины.

Далее вода с высоким давлением направляется в котельный агрегат. В этом агрегате вода сначала нагревается до температуры кипения от дымовых газов из топки котла, затем поступает в кипяtilьные трубы, где происходит фазовое превращение вплоть до состояния сухого насыщенного пара.

Сухой насыщенный пар идет в пароперегреватель, обогреваемый топочными дымовыми газами из топки. Цикл оборота рабочего тела повторяется. Этот цикл паросиловой установки предложил немецкий инженер Ренкин.

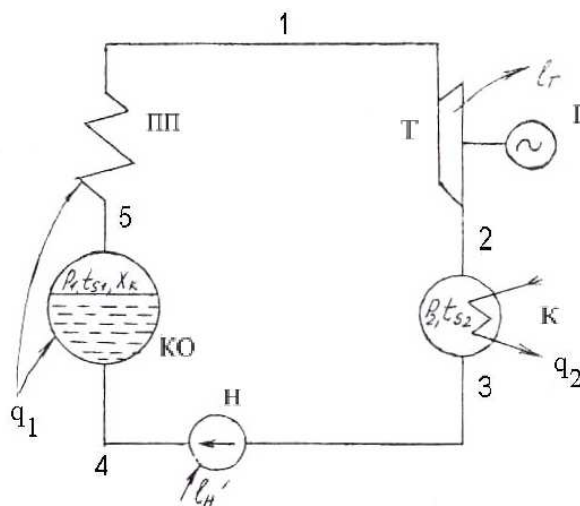


Рисунок 8.1 – Схема паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина

Влажный насыщенный пар с параметрами P_1, ts_1, X_k (точка 5 рис. 8.2), полученный в паровом котле ПК поступает в пароперегреватель ПП, где при постоянном давлении сначала подсушивается от X_k до $X=1$ (процесс 5-а''), а затем перегревается от ts_1 до t_1 (процесс а''-1). Перегретый пар после пароперегревателя ПП подается в турбину Т и адиабатно расширяется в ней от состояния 1 до состояния 2. Влажный пар низкого давления P_2 (точка 2) после турбины направляется в конденсатор К, где от него при постоянных давлении P_2 и температуре ts_2 с помощью охлаждающей воды отводится теплота q_2 (процесс 2-3).

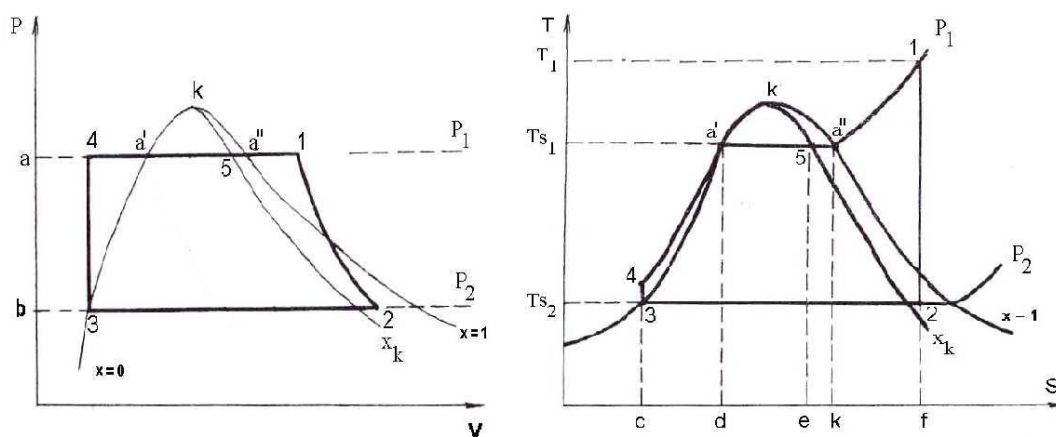


Рисунок 8.2 – PV и TS-диаграммы цикла Ренкина

Процесс конденсации в цикле Ренкина доводится до конца, т.е. до получения насыщенной жидкости при постоянном давлении P_2 (точка 3). Жидкость поступает в насос Н, где адиабатно сжимается до высокого давления P_1 (процесс 3-4) и подается в паровой котел ПК, где вначале вода нагревается до температуры насыщения t_{s1} (процесс 4-а'), а затем идет процесс парообразования (процесс а'-5).

Теоретическая работа сжатия L_c воды в насосе Н (а'43а') очень мала (вода практически несжимаема, вся затрачиваемая работа в насосе идет на проталкивание воды, удельный объем воды невелик, поэтому работа проталкивания $(P_1 - P_2)V$ мала).

Процесс 3-4 в насосе вырождается в точку, если пренебречь ничтожно малым повышением температуры при адиабатном сжатии воды от P_2 до P_1 , т.е. точка 4 (ненасыщенная жидкость давления P_1) совпадает с точкой 3 (насыщенная жидкость давления P_2).

После насоса ненасыщенная жидкость (точка 4) нагревается до температуры насыщения t_{s1} (точка а'), соответствующей давлению в котле P_1 . Теплота q_1 подводится в паровой котле ПК (процесс 4-5) и пароперегревателе ПП (процесс 5-1) – площадь $c_4a'a''1fc$, которая включает в себя

- теплоту подогрева воды в котле ($c_4a'dc$) – процесс 4-а',
- теплоту парообразования в котле ($da'5cd$) – процесс а'-5,
- подсушку пара в пароперегревателе ($c5a''rc$) – процесс 5-а'',
- перегрев пара в пароперегревателе ($ka''1fk$) – процесс а''-1.

Полезная работа цикла представляет собой разность работ турбины и насоса

$$L_c = L_t - L_n = q_1 - q_2$$

и выражается площадью 12341 на диаграмме PV и площадью 1234a'a''1 на диаграмме TS.

$$\begin{aligned} Q1 &= h1 - h4, \\ Q2 &= h2 - h3, \\ L_{II} &= h1 - h4 - h2 + h3 = h1 - h2, \text{ т.к. } h3 = h4. \end{aligned}$$

Термический к.п.д. цикла Ренкина с перегретым паром

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} = \frac{L_{II}}{q_1}$$

1. Какие агрегатные состояния воды используются в установках, работающих по циклу Ренкина?

2. Какие термодинамические процессы последовательно происходят в установках, работающих по циклу Ренкина?
3. Что из себя представляют пограничные кривые воды и пара?
4. Каковы особенности адиабатного расширения пара в паровой турбине?
5. Каковы особенности адиабатного сжатия воды в насосе?
6. Из каких условий определяется термический к.п.д. цикла Ренкина?
7. Что из себя представляет степень сухости пара?
8. Для каких целей служит конденсатор в установках, работающих по циклу Ренкина?
9. При каких условиях происходит процесс конденсации пара в конденсаторе?

Задание:

Давление пара в котле и пароперегревателе P_1 , температура перегретого пара t_1 , давление пара в конденсаторе P_2 и степень сухости пара на выходе из котла X_k . Необходимо рассчитать цикл Ренкина паросиловой установки.

P	t_s	T_s	h'	S'	h''	S''	g
P_1							
P_2							
$P_{кр}$							

№	P_1 , МПа	P_2 , кПа	T_1 , °C	X_k
1	1,0	20	380	0,90
2	1,2	18	390	0,91
3	1,4	16	400	0,92
4	1,5	14	410	0,93
5	1,6	12	420	0,94
6	1,8	10	430	0,95
7	2,0	8	440	0,96
8	2,2	6	450	0,97
9	2,4	20	380	0,98
10	2,5	18	390	0,97
11	2,6	16	400	0,96
12	2,8	14	410	0,95
13	3,0	12	420	0,94
14	1,0	10	430	0,93
15	1,2	8	440	0,92
16	1,4	6	450	0,91
17	1,5	20	380	0,90
18	1,6	18	390	0,91
19	1,8	16	400	0,92
20	2,0	14	410	0,93

Практическая работа №3. Паротурбинные установки. Расчет паротурбинных установок.

Цель: Изучить методику расчета паротурбинных установок.

Основы теории:

На современных тепловых электростанциях большой мощности превращение теплоты в работу происходит в циклах, использующих в качестве основного рабочего тела водяной пар, производимый паровыми котлами, в топках которых сжигается органическое топливо: уголь, мазут, газ и др. (рис. 1.1).

По происхождению топлива можно разделить на естественные, добытые в природных условиях, и искусственные, полученные в итоге переработки природного топлива. По сфере потребления топлива подразделяются на энергетические, используемые при сжигании для выработки электроэнергии и теплоты, и технологические, которые идут на переработку для получения необходимых промышленных продуктов.

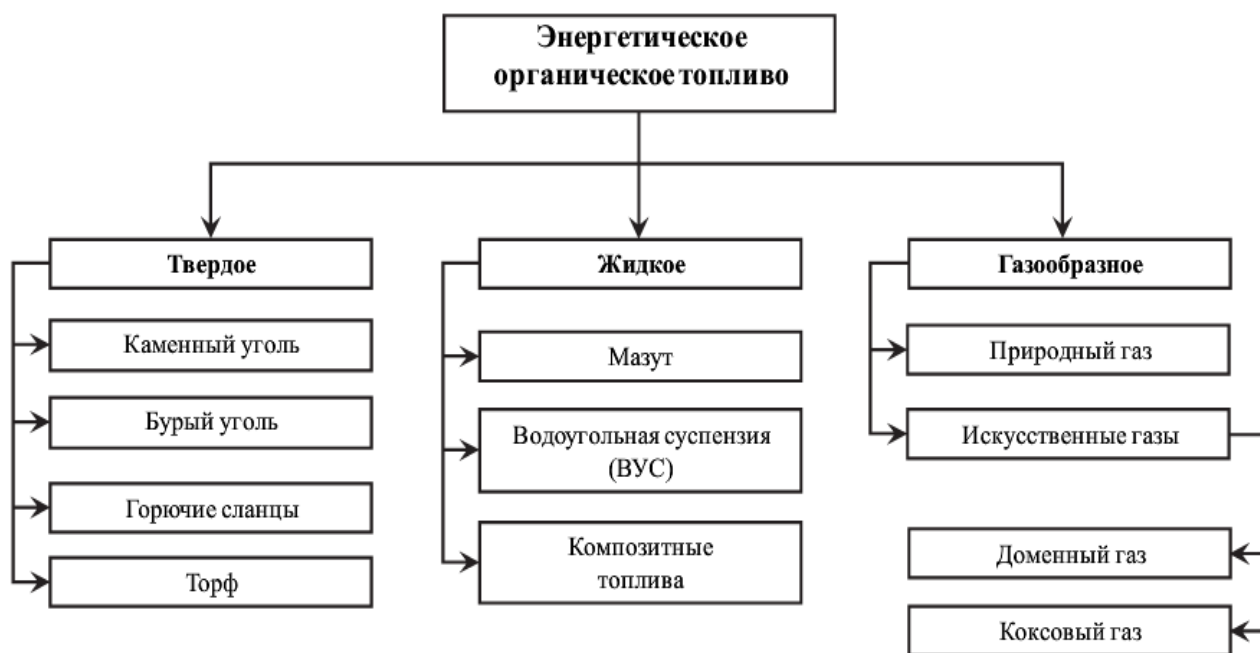


Рисунок 1.1 – Виды органического топлива

Термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара предложил шотландский инженер и физик Уильям Ренкин в середине XIX века.

Простейшая тепловая схема КЭС, работающей по циклу Ренкина, показана на рис. 1.2.

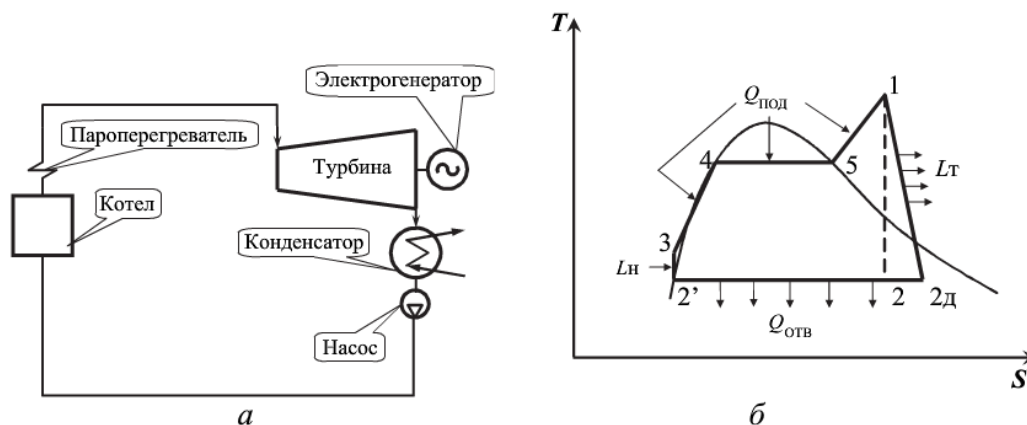


Рисунок 1.2 – ТЭС, работающая по циклу Ренкина:

а – тепловая схема КЭС; б – цикл Ренкина в T,S – диаграмме

В паровом котле теплота сгорания топлива передается воде, которая превращается в пар (изобара 3-4-5). Перегретый пар (изобара 5-1) поступает в турбину, где происходит преобразование теплоты в механическую работу (адиабата 1-2 – теоретический процесс расширения пара в турбине с совершением полезной работы, 1-2д – действительный процесс расширения пара с учетом потерь). В электрогенераторе механическая работа преобразуется в электрическую энергию. Отработанный пар после турбины поступает в конденсатор, где отдает теплоту охлаждающей воде и конденсируется (изобарно-изотермический процесс 2-2f). Полученный конденсат насосом нагнетается в паровой котел (адиабата 2f-3), замыкая таким образом цикл.

Термический КПД цикла Ренкина:

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{подв}} - Q_{\text{отв}}}{Q_{\text{подв}}} = \frac{L_T - L_H}{Q_{\text{подв}}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_3 - h_{2'})}{h_1 - h_3}$$

где: $Q_{\text{подв}}$ – теплота, подведенная к рабочему телу в цикле;

$Q_{\text{отв}}$ – теплота, отведенная от рабочего тела;

L_T – работа расширения пара в турбине;

L_H – работа, затраченная на сжатие воды в насосе;

h_1, h_2, h_3 – энтальпии рабочего тела в соответствующих точках цикла (рис. 1.2).

В пароводяном контуре возникают наибольшие энергетические потери, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий еще большое количество теплоты, отдает ее циркуляционной воде. Теплота с циркуляционной водой уносится в водоемы, т. е. теряется. Эти потери в основном и определяют КПД электростанции, а соответственно и экономичность. Для повышения экономичности работы паротурбинных установок применяют:

- повышение начальных параметров пара (давление и температура);
- понижение давления в конденсаторе;
- промежуточный перегрев пара;
- регенеративный подогрев основного конденсата перед котлом;
- теплофикацию.

Исследования показали, что повышение начальных параметров пара и (или) снижение конечного давления в конденсаторе увеличивают работоспособность пара и, как следствие, термический КПД цикла. Повышение параметров ограничивается прочностными и технологическими свойствами металлов, надежностью их в работе, а также экономическими условиями в связи с удорожанием при переходе от одного класса стали к другому. Снижение давления в конденсаторе и, как следствие, температуры ограничивается температурой окружающей среды.

Промежуточный перегрев пара. При применении пара высокого давления его влажность в турбине в конце процесса расширения становится значительной даже при очень высокой начальной температуре. Работа турбин на влажном паре недопустима, так как она вызывает увеличение потерь и эрозию турбинных лопаток в результате механического воздействия на них взвешенных в паре частиц влаги.

При использовании пара высокого давления повышение его начальной температуры до пределов, допустимых по соображениям прочности металла пароперегревателя и паровой турбины, может оказаться недостаточным для обеспечения допустимой влажности пара в конце его процесса расширения в турбине. Поэтому пар, как правило, после расширения в цилиндре высокого давления приходится отводить из турбины и повторно перегревать в пароперегревателе, после чего пар вновь вводится в турбину, где заканчивается процесс его расширения. В результате этого при окончательном расширении пара до принятых на практике давлений влажность его не превышает допустимых значений.

Паротурбинные установки, в которых используется такой способ, называют установками с промежуточным перегревом пара (рис. 1.3). При правильном выборе давления отбора пара для его промежуточного перегрева и температуры промежуточного перегрева не только предотвращается чрезмерное увлажнение пара в конце процесса расширения, но и достигается некоторое увеличение термического КПД установки. Применение одного промежуточного перегрева пара приводит к повышению термического КПД установки на 2...3 %.

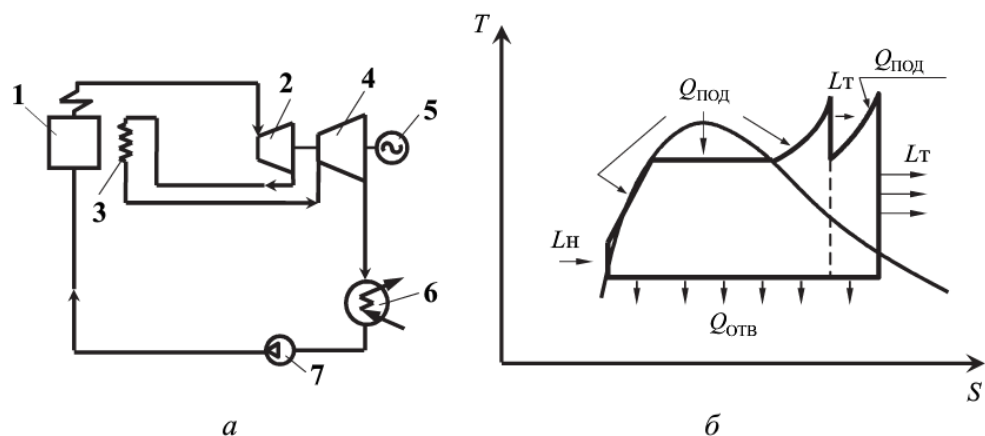


Рисунок 1.3 – Схема (а) и цикл (б) паросиловой установки с промежуточным перегревом пара:

1 – паровой котел; 2 – часть высокого давления турбины;
3 – промежуточный пароперегреватель; 4 – часть среднего и низкого давления турбины; 5 – электрогенератор; 6 – конденсатор; 7 – конденсатный насос

На рис. 1.4 показана схема паросиловой установки с регенеративным подогревом питательной воды, при котором питательная вода до ее поступления в котел предварительно нагревается паром, отбираемым из промежуточных ступеней паровой турбины.

Увеличение КПД при применении регенерации определяется уменьшением потери тепла в конденсаторе турбины вследствие отбора части пара для указанного подогрева. В настоящее время регенеративный подогрев применяется на всех крупных электростанциях. Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии называется теплофикацией.

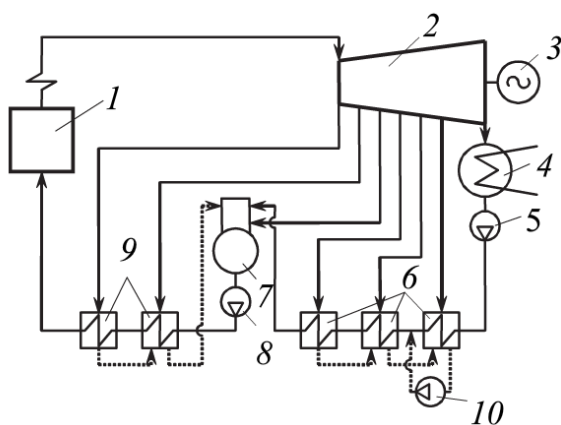


Рисунок 1.4 – Схема паросиловой установки с регенеративным подогревом воды:

1 – парогенератор; 2 – паровая турбина; 3 – электрический генератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – подогреватели низкого давления; 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – подогреватели высокого давления; 10 – дренажный насос

В теплофикационных установках с регулируемыми отборами пара (рис. 1.5, а) частично отработавший пар из промежуточных ступеней турбины используется для передачи тепловой энергии потребителям в виде пара или горячей воды. Таким образом, уменьшается количество пара, поступающего в конденсатор, и снижаются потери теплоты с циркуляционной водой. Теплоту, содержащуюся в горячей воде или паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считают полезно отпущенной теплотой. В теплофикационных установках используют также турбины с противодавлением (рис. 1.5, б), в которых пар после расширения в турбине полностью отдается потребителям с соответствующим давлением

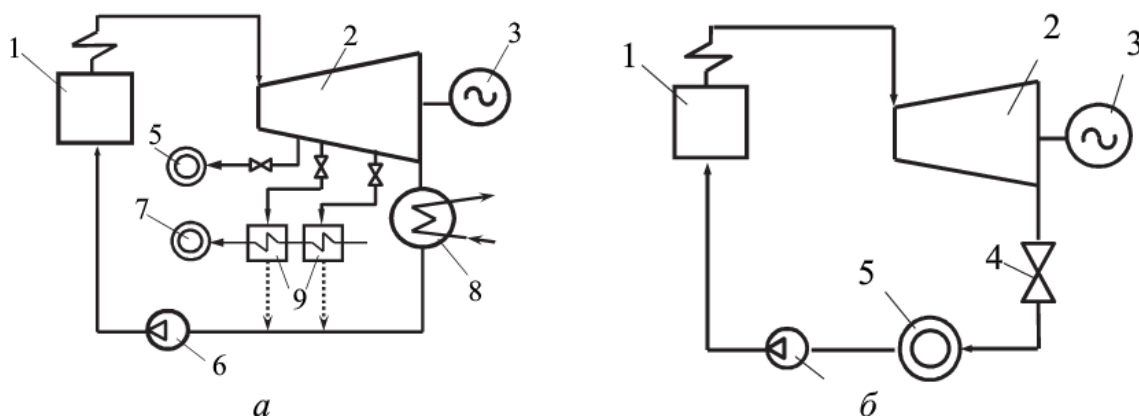


Рисунок 1.5 – Схема паросиловой установки с теплофикацией:

а – турбина с отопительными и производственными отборами пара;

б – турбина с противодавлением: 1 – паровой котел, 2 – турбина,
3 – электрогенератор, 4 – регулирующий клапан, 5 – промышленный потребитель
пара, 6 – конденсатный насос, 7 – потребитель горячей воды,
8 – конденсатор, 9 – подогреватели сетевой воды

Вопросы и задания

1. Опишите преимущества и недостатки блочной схемы ТЭС.
2. Какие виды топлив применяют на тепловых электрических станциях?
3. Что такое теплофикация?
4. Как влияет изменение начальных и конечных параметров на термический КПД цикла?
5. Назначение паровых котлов.
6. Что включает в себя понятие «система регенерации»?
7. Назначение деаэратора.
8. Какие применяют системы очистки уходящих (дымовых) газов?

9. Принцип действия конденсатора паровых турбин.

10. Что такое сетевая установка?

Задание №1:

Определить термический КПД цикла Ренкина и эффективную мощность паротурбинной установки (ПТУ) по заданным величинам:

- начальное давление перегретого пара перед турбиной – 145 бар;
- начальная температура перегретого пара перед турбиной – 590 °С;
- конечное давление в конденсаторе – 0,05 бар, $\dot{m}$ расход пара через турбину – 100 кг/с,
- внутренний относительный КПД турбины – 0,89;
- внутренний относительный КПД питательного насоса – 0,79.

Изобразить цикл Ренкина в T, s -диаграмме, а процессы сжатия во-ы в питательном насосе – в h, s -диаграмме. Механический КПД ПТУ принять равным 0,98.

Задание №2:

По условиям задания 1 оценить, как изменится термический КПД цикла паротурбинной установки (ПТУ) и ее эффективная мощность, если ввести промежуточный перегрев пара при промежуточном давлении 24 бар до температуры $t = 555$ °С.

Задание №3:

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина. Параметры начального состояния: $p_1 = 20$ бар, $t_1 = 300$ °С. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бара. Определить термический КПД.

Задание №4:

Паровая турбина мощностью $N=12000$ кВт работает при начальных параметрах $p_1 = 80$ бар и $t_1 = 450$ °С. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бара. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания $Q_H^P = 25$ МДж/кг. КПД котельной установки равен $\eta_{к.у.} = 0,8$. Температура питательной воды $t_{п.в.} = 90$ °С.

Определить производительность котельной установки при условии, что она работает по циклу Ренкина.

Практическая работа №4. Газотурбинные установки. Расчет газотурбинных установок.

Цель: Изучить методику расчета газотурбинных установок

Основы теории:

Газотурбинная установка (ГТУ) – тепловой двигатель, в котором рабочим телом служат нагретые до высокой температуры сжатые газы. В качестве таких газов чаще всего используют смесь воздуха и продуктов сгорания жидкого (дизельное топливо, керосин) или газообразного (природный газ, попутный нефтяной газ, биогаз) топлив. Простейшая одновальная ГТУ (рис. 3.1, а) состоит из компрессора, газовой турбины, с которой механически связан электрический генератор, устройств подвода (камера сгорания) и отвода теплоты, объединенных общей гидродинамической системой. В ГТУ реализуются идеальные циклы: f с изобарным подводом теплоты ($p = \text{const}$); f с изохорным подводом теплоты ($v = \text{const}$); f с регенерацией теплоты. Во всех циклах ГТУ теплота при наличии полного расширения в турбине отводится при постоянном давлении.

Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты (цикл Брайтона) Воздушный компрессор (рис. 2.1, а) адиабатно сжимает атмосферный воздух с 12 до p_p (процесс 1-2, рис. 2.1, б) и непрерывно подают его в камеру сгорания. Туда же специальным насосом непрерывно подается необходимое количество топлива. В камере сгорания изобарно сгорает поступающее туда топливо (процесс 2-3). Допустимый по условиям жаропрочности уровень температуры в точке 3 обеспечивается за счет избытка воздуха по сравнению с теоретически необходимым его количеством для полного сгорания топлива.

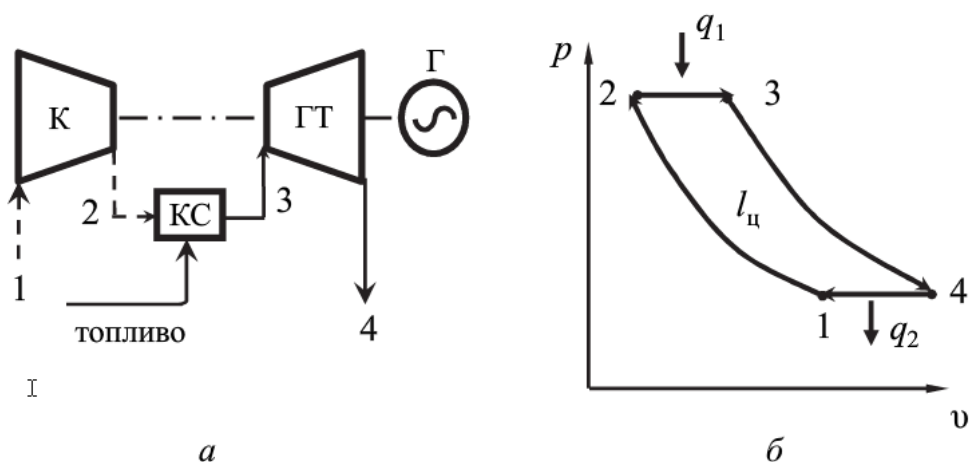


Рисунок 2.1 – Схема (а) идеальный цикл с изобарным подводом теплоты, (б) простейшей ГТУ:

К – компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, Г – электрогенератор;

q_1 – подведенное тепло; q_2 – отведенное тепло. $l_{ц}$ – работа цикл

Рабочие газы, образующиеся в камере сгорания, поступают в проточную часть газовой турбины, адиабатно расширяются, воздействуя на лопатки турбины (процесс 3-4). Таким образом, создается крутящий момент и вращается ротор турбины (производится работа), который, в свою очередь, соединен с электрическим генератором. Генератор вырабатывает электроэнергию.

Большая часть работы, произведенной в турбине (50...75 %), расходуется на привод компрессора, оставшаяся часть затрачивается на производство электроэнергии в генераторе. Отработавшие в турбине газы выбрасываются в атмосферу. Процесс отдачи теплоты рабочим телом в окружающую среду условно изображается линией 4-1. Полезной работе цикла ($l_{ц}$) на p, v -диаграмме соответствует площадь 1-2-3-4.

Характеристики цикла

Степень повышения давления

$$\varepsilon = \frac{v_a}{v_b}$$

Подведенное тепло, кДж/кг:

$$q_1 = c_v (T_c - T_b)$$

Отведенное тепло, кДж/кг:

$$q_2 = c_p (T_d - T_a)$$

Термический КПД:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{k(T_d - T_a)}{(T_c - T_b)} = 1 - \frac{k \left[\left(\frac{T_c}{T_b} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 \right]}{\frac{T_c}{T_b} - 1} \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Основным для ГТУ является цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме широкого применения в практике не нашел в связи с усложнением конструкции камеры сгорания и ухудшением работы турбины в пульсирующем потоке газа.

Основным для ГТУ является цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме широкого применения в практике не

нашел в связи с усложнением конструкции камеры сгорания и ухудшением работы турбины в пульсирующем потоке газа.

Реальные циклы ГТУ (рис. 2.2) отличаются от идеальных тем, что в действительных циклах учитываются неизбежные тепловые и гидравлические потери.

1. Сжатие воздуха происходит не по адиабате 1-2, как это было при рассмотрении идеального цикла, а по политропе 1-2_д в связи с тепловыми и гидравлическими потерями, которые можно оценить адиабатным КПД компрессора. Тогда действительная работа сжатия в компрессоре, кДж/кг:

$$l_{\text{Кд}} = \frac{l_{\text{К}}}{\eta_{\text{К}}} = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{\eta_{\text{К}}} = c_p(T_{2\text{д}} - T_1)$$

где: $l_{\text{К}}$ – работа идеального (адиабатного) сжатия, кДж/кг;

$T_{2\text{д}}$ – температура воздуха в конце политропного (действительного) процесса сжатия,

К.

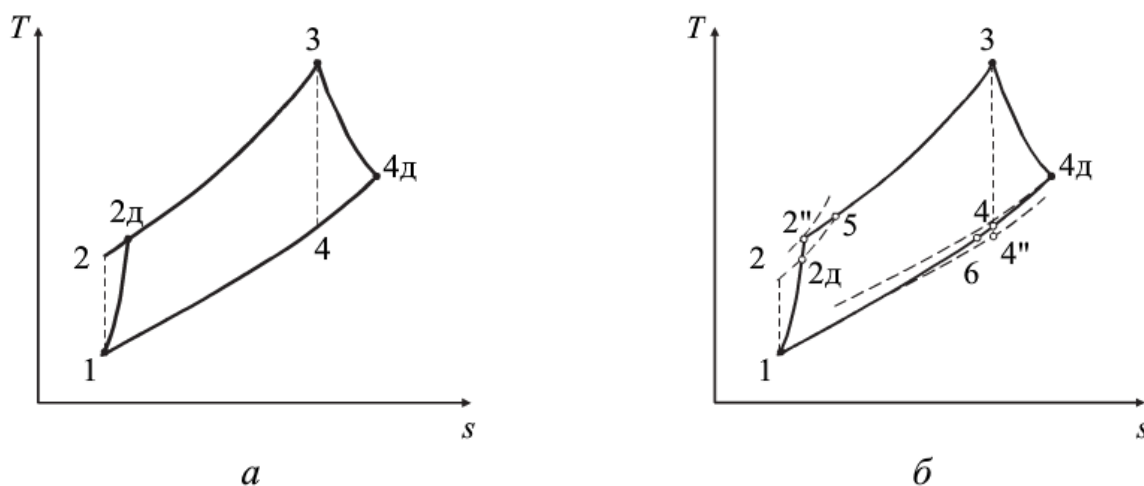


Рисунок 2.2 – Действительный цикл ГТУ без регенерации (а) и с регенерацией (б) при изобарном подводе теплоты в Т, s-диаграмме

2. Конечное давление сжатия в компрессоре больше давления газа перед турбиной из-за гидравлических потерь в трубопроводах между компрессором и турбиной (точка 2'' на рис. 2.2, б).

3. Несовершенство процесса горения и потери части тепла излучением в окружающую среду камерой сгорания приводят к снижению конечной температуры цикла (точка 4'' на рис. 2.1, б) и оцениваются КПД камеры сгорания. Тогда удельная теплота, подводимая к ГТУ в камере сгорания:

$$q_{1д} = \frac{c_p(T_3 - T_{2д})}{\eta_{КС}}$$

4. Расширение рабочего тела в газовой турбине совершается не по адиабате 3-4, а по политропе 3-4_д вследствие внутренних потерь: отрыва струй от стенок лопаток, неравномерности распределения давления в межлопаточных каналах, трения вращающихся рабочих колес, потерь с выходной скоростью и т. д. Все эти потери оцениваются внутренним относительным КПД турбины η_{0i} . Тогда действительная работа газовой турбины, кДж/кг:

$$l_{Тд} = l_T \eta_{0i} = c_p(T_3 - T_4) \eta_{0i} = c_p(T_3 - T_{4д})$$

где l_T – работа идеального (адиабатного) расширения, кДж/кг;

$T_{4д}$ – температура газов в конце политропного (действительного) процесса расширения, К.

5. Механические потери турбины и компрессора учитываются механическим КПД.

6. Для цикла с регенерацией тепла:

- давление в конце расширения в турбине выше атмосферного давления из-за гидравлических потерь в регенераторе;
- регенерация тепла отработавших газов из турбины не может быть полной вследствие потерь в теплообменнике.

Вопросы и задания

1. Объясните особенности термодинамических циклов ГТУ.
2. От каких показателей ГТУ зависит увеличение полезной удельной работы цикла?
3. В чем особенность схем ГТУ с разрезным валом?
4. Какие существуют способы повышения эффективности ГТУ?
5. Как зависит КПД ГТУ от степени сжатия?
6. В каком оборудовании ГТУ затрачивается работа?
7. Почему действительный процесс сжатия отличается от теоретического в ГТУ?
8. Как влияют тепловые потери на эффективность ГТУ?
9. Какой режим работы ГТУ называют расчетным?

Задание №1:

Определить эффективную мощность газотурбинной установки (ГТУ) без регенерации теплоты и ее эффективный КПД, если известно:

- температура воздуха перед компрессором – 5 °С;

- температура газа перед турбиной – 760 °С;
- степень повышения давления – 6,2;
- адиабатный КПД турбины – 0,89;
- адиабатный КПД компрессора – 0,89;
- расход воздуха через ГТУ – 57 кг/с.

Изобразить цикл ГТУ в p , v - и T , s -диаграммах. Показать, как зависит термический КПД ГТУ от степени повышения давления σ .

В расчете принимать:

- давление воздуха перед компрессором – 0,1 МПа;
- изобарная теплоемкость воздуха и газа – 1,01 кДж/(кг К);
- показатель адиабаты воздуха и газа – 1,41;
- механический КПД ГТУ – 0,98.

Практическая работа №5. Парогазовые установки. Расчет парогазовых установок.

Цель: Изучить методику расчета парогазовых установок

Основы теории:

Энергетические установки, в которых теплота уходящих газов газотурбинных установок (ГТУ) прямо или косвенно используется для выработки электроэнергии в паротурбинном цикле, называются парогазовыми установками (ПГУ). Таким образом, устройство состоит из двух блоков: газотурбинной и паротурбинной (ПТУ) установок. Объединение ГТУ и ПТУ осуществляют различными способами, при этом получаются различные тепловые схемы, разные основные характеристики работы и состав оборудования. Тепловая схема парогазовой установки, определяющая ее тип, энергетические, экономические и экологические характеристики, в значительной степени зависит от конфигурации термодинамического цикла и организации его процессов.

По количеству рабочих тел, используемых в ПГУ, их подразделяют на бинарные (БПГУ) и монарные. В БПГУ рабочие тела газотурбинного цикла (воздух и продукты горения топлива) и паротурбинной установки (вода и водяной пар) разделены. В монарных установках рабочим телом турбины является смесь продуктов сгорания и водяного пара. За рубежом такая установка получила название STIG – Steam Injected Gas Turbine. Бинарные ПГУ по технологической схеме подразделяются на одноконтурные (в котле-утилизаторе (КУ) располагается один контур генерации пара) и многоконтурные:

- двухконтурные – в котле-утилизаторе располагаются два контура, генерирующих пар высокого и низкого давления;
- трехконтурные – в котле-утилизаторе располагаются три контура генерации пара.

По двухконтурной схеме выполняется подавляющее число утилизационных ПГУ, обеспечивающих КПД в 48...55 %. Самые современные ПГУ выполняются трехконтурными. Увеличение числа контуров более трех нецелесообразно, поскольку выигрыш в экономичности не окупается ростом капиталовложений.

Многоконтурные ПГУ могут быть выполнены без промежуточного перегрева и с промежуточным перегревом пара в котле-утилизаторе. Как и в традиционных ПТУ, главная цель промежуточного перегрева в ПГУ – обеспечить допустимую влажность в последних ступенях паровой турбины. Однако, как правило, промежуточный перегрев используют в трехконтурных ПГУ.

В настоящее время в энергетике получили распространение ПГУ следующих основных типов:

- 1) с высоконапорным парогенератором (ПГУ с ВПГ);
- 2) со сбросом газов в топку низконапорного парогенератора (ПГУ с НППГ);
- 3) с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ); 4) с газоводяным подогревателем (ПГУ с ГВП);
- 5) со сбросом газов в сетевую установку (ПГУ с ГСП);
- 6) со впрыском пара в проточную часть газовой турбины (ПГУ с ВП).

Первые пять типов ПГУ реализуют термодинамические циклы с отдельными потоками рабочих тел, а в ПГУ с ВП рабочим телом газовой турбины является смесь водяного пара и продуктов сгорания.

В ПГУ с высоконапорным парогенератором парогенератор одновременно играет роль и энергетического котла ПТУ, и камеры сгорания ГТУ (рис. 3.1).

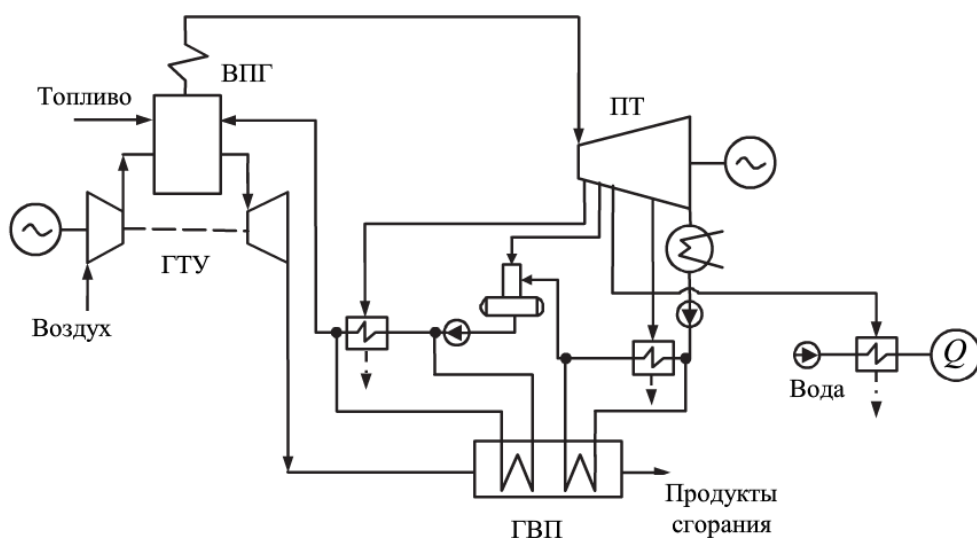


Рисунок 3.1 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с ВПГ:

ВПГ – высоконапорный парогенератор; ПТ – паровая турбина;

ГТУ – газотурбинная установка; ГВП – газоводяной подогреватель

Для этого в ВПГ поддерживается высокое давление (1,0...2,0 МПа), создаваемое компрессором ГТУ. Повышенное давление продуктов сгорания в парогенераторе приводит к более интенсивному теплообмену, чем в обычных паровых котлах, и соответственно к уменьшенным металлоложениям в поверхности нагрева. Для повышения экономичности перед ВПГ устанавливается газовый подогреватель конденсата, уменьшающий температуру уходящих газов ГТУ. Существенными недостатками этой схемы являются сложность

эксплуатации, необходимость разработки специальных ГТУ и ПТУ или реконструкции серийных, а также невозможность автономной работы ГТУ и ПТУ.

Экономия топлива в такой установке зависит также от соотношения мощностей ГТУ и ПТУ и находится на таком же уровне, как и у сбросных ПГУ. В настоящее время широкого распространения такая схема не получила. Однако применение данной схемы может быть интересно при использовании в ПГУ твердого топлива (например, его сжигание в циркулирующем кипящем слое под давлением – технология ЦКСД).

Парогазовые установки с НПП используются в основном при реконструкции существующих паротурбинных энергоблоков, чем объясняется их небольшое количество. В сбросной ПГУ топливо направляется не только в камеру сгорания ГТУ, но и в энергетический котел (рис. 3.2), причем ГТУ работает на легком топливе (газ или дизельное топливо), а энергетический котел – на любом топливе. В сбросной ПГУ реализуется два термодинамических цикла. При этом отпадает необходимость в воздухоподогревателе котла, так как уходящие газы ГТУ имеют высокую температуру. Однако достаточно высокое содержание кислорода в уходящих газах ГТУ, а также необходимость иметь за энергетическим котлом малый коэффициент избытка воздуха приводят к тому, что доля мощности паротурбинного цикла составляет примерно $2/3$, а доля мощности ГТУ – $1/3$ (в отличие от ПГУ с КУ, где это соотношение обратное).

Кроме того, схема сбросной ПГУ оказывается очень сложной, так как необходимо обеспечить автономную работу паротурбинной части (при выходе из строя ГТУ), а поскольку воздухоподогреватель в котле отсутствует, необходима установка специальных калориферов, нагревающих воздух перед подачей его в энергетический котел.

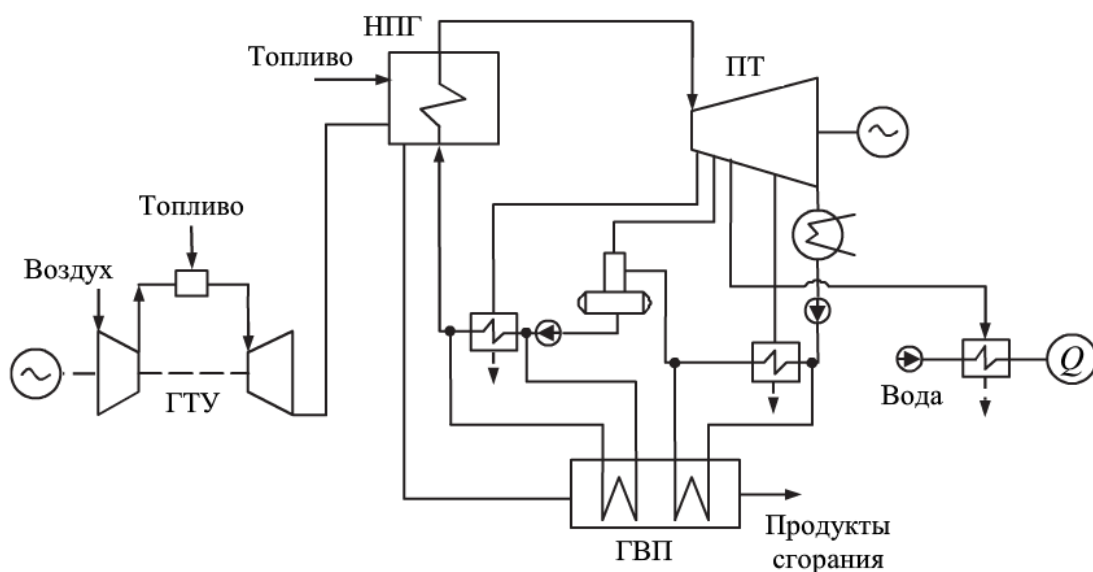


Рисунок 3.2 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с НПП:

НПП – низконапорный парогенератор

Длительная эксплуатация этих ПГУ показала их надежность, хорошие маневренные качества, определяемые возможностью автономной работы ГТУ и ПТУ. Главное преимущество сбросной схемы – это возможность использовать в паротурбинном цикле недорогие энергетические твердые топлива. Установки с НПГ и ВПГ работают по одному и тому же термодинамическому циклу и при одинаковых параметрах и расходах рабочих тел будут иметь одинаковую тепловую экономичность. В ПГУ с НПГ можно использовать как специально разработанные, так и серийные ГТУ и сохранить регенерацию в ПТУ. ПГУ с котлом-утилизатором называют бинарными или утилизационными. Для бинарных ПГУ характерны относительно простая конструкция, монтаж, эксплуатация и наименьшие капиталовложения. По этой схеме газы после ГТУ сбрасываются в котел-утилизатор, где генерируется пар для ПТУ (рис. 3.3). Утилизационные ПГУ требуют высокоэкономичных высокотемпературных газовых турбин с температурой уходящих газов 630...640 °С для генерирования пара высоких параметров паротурбинной установки (ПТУ).

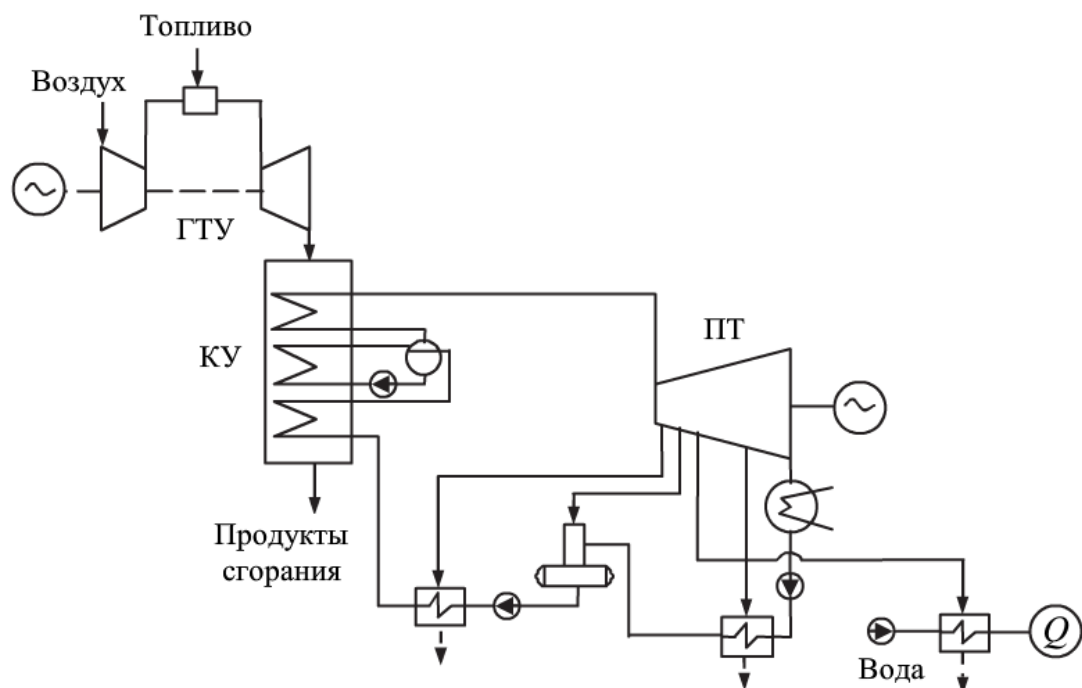


Рисунок 3.3 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с КУ:

КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; ГТУ – газотурбинная установка

Современные ГТУ, отвечающие этим требованиям, пока могут работать либо на природном газе, либо на легких сортах жидкого топлива. Мощность ГТУ в этих установках составляет примерно 70 % мощности ПГУ. Одним из недостатков схемы является невозможность автономной работы паротурбинной части установки при останове ГТУ. Парогазовые установки с ГВП созданы одними из первых среди ПГУ. Идея такой ПГУ состоит в том, что регенеративные подогреватели отключаются от паровой турбины, а для подогрева

питательной воды энергетического котла используется тепло уходящих газов ГТУ (рис. 3.4). Сэкономленный пар отборов служит для выработки дополнительной мощности в паровой турбине. ПГУ с вытеснением регенерации позволяют использовать имеющиеся газовые и паровые турбины, а также пылеугольные котельные агрегаты без всяких изменений. Кроме того, возможна автономная работа газовой и паровой части ПГУ, а также применение различных видов топлив. Вместе с тем тепловая экономичность такой ПГУ оказывается более низкой, чем установок с ВПГ, НПГ и бинарных. Как правило, такие установки создают, пристраивая ГТУ и ГВП к действующим паротурбинным энергоблокам.

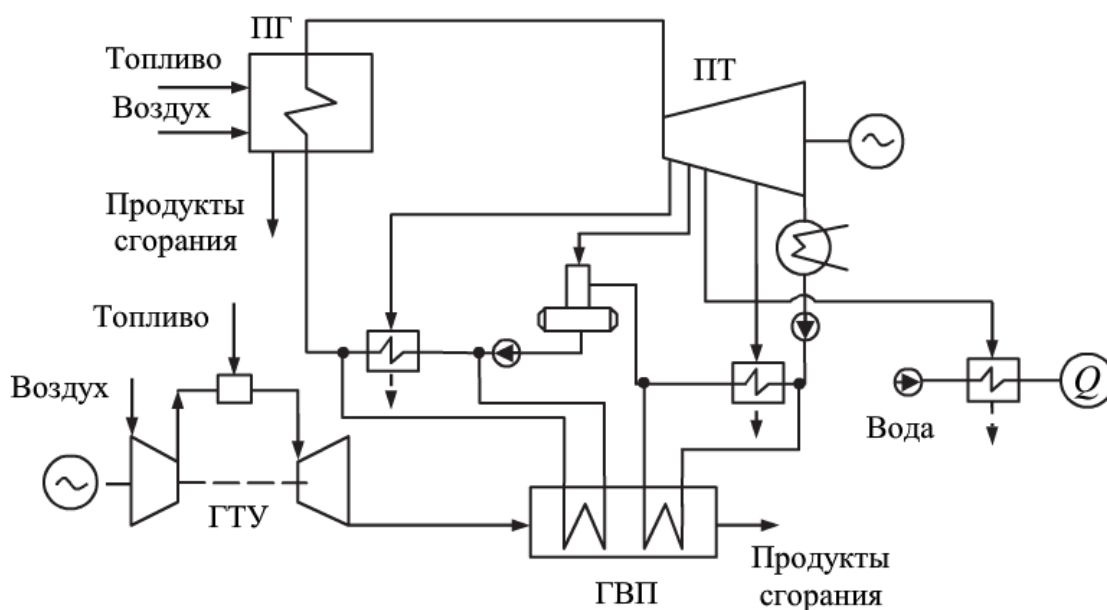


Рисунок 3.4 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с ГВП:

ПГ – парогенератор; ГВП – газовойводяной подогреватель

Парогазовые установки со сбросом газов в сетевую установку (рис. 4.5) отличаются от ПГУ с ГВП тем, что в теплофикационной ПТУ сохраняется полная система регенерации, а газы после ГТУ сбрасываются в сетевой подогреватель, вытесняя регулируемый Т-отбор и обеспечивая нагрузку горячего водоснабжения (при минимальной отопительной нагрузке). Такая схема позволяет использовать Т-отбор только для качественного регулирования и уменьшить расход острого пара на теплофикационную турбину. При этом ПТУ может работать на твердом топливе, а ГТУ – на природном газе. ПГУ со смешением рабочих тел (монарные) образуют группу газопаровых установок (ГПУ). Газопаровые установки в свою очередь подразделяются на установки со впрыском пара (STIG) и установки с вводом в газовый тракт воды и пароводяной смеси (НАТ и СНАТ). В первом случае пар, генерируемый в котле-утилизаторе, вводится в тракт высокого давления после компрессора

(в камеру сгорания). Во втором случае вода или пароводяная смесь испаряется в самом акте высокого давления как до, так и после камеры сгорания.

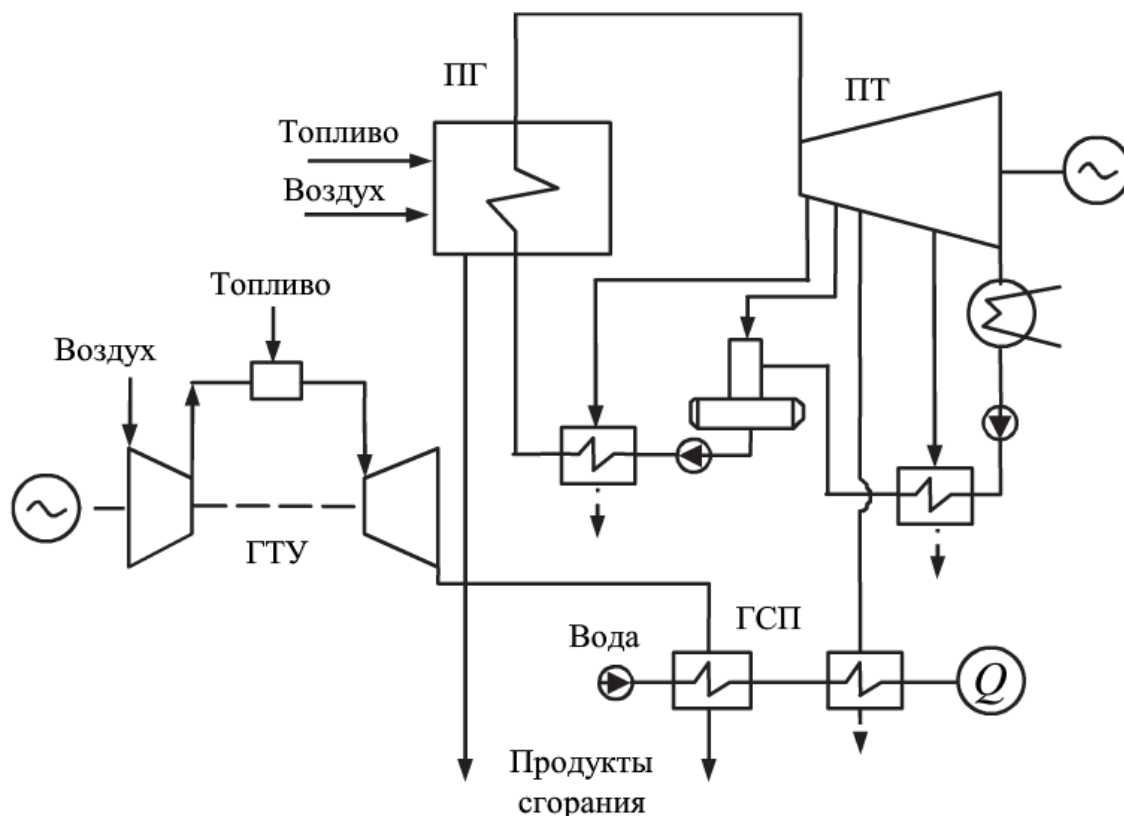


Рисунок 3.5 – Принципиальная тепловая схема ПГУ с ГСП:

ПГ – парогенератор; ПТ – паровая турбина; ГТУ – газотурбинная установка; ГСП – газовый сетевой подогреватель

В ПГУ со впрыском пара в проточную часть газовой турбины возрастает полезная работа по сравнению с обычной ГТУ и улучшаются экологические характеристики. Водяной пар генерируется в установленном на выходе ГТУ котле-утилизаторе (рис. 3.6). Выходные газы ГТУ направляются в котел-утилизатор, в который подается питательная вода. Получаемый на выходе пар поступает в камеру сгорания, смешивается с продуктами сгорания, и образующаяся однородная смесь направляется в газовую (правильнее сказать – в парогазовую) турбину. Необходимость подачи значительного количества обессоленной воды, выбрасываемой в атмосферу в виде пара вместе с продуктами сгорания, снижает эффективность таких схем. Рассмотренные типы ПГУ позволяют создать энергоблоки с тепловой экономичностью на уровне 45...60 %, что в настоящее время трудно реализуемо для других типов энергоблоков.

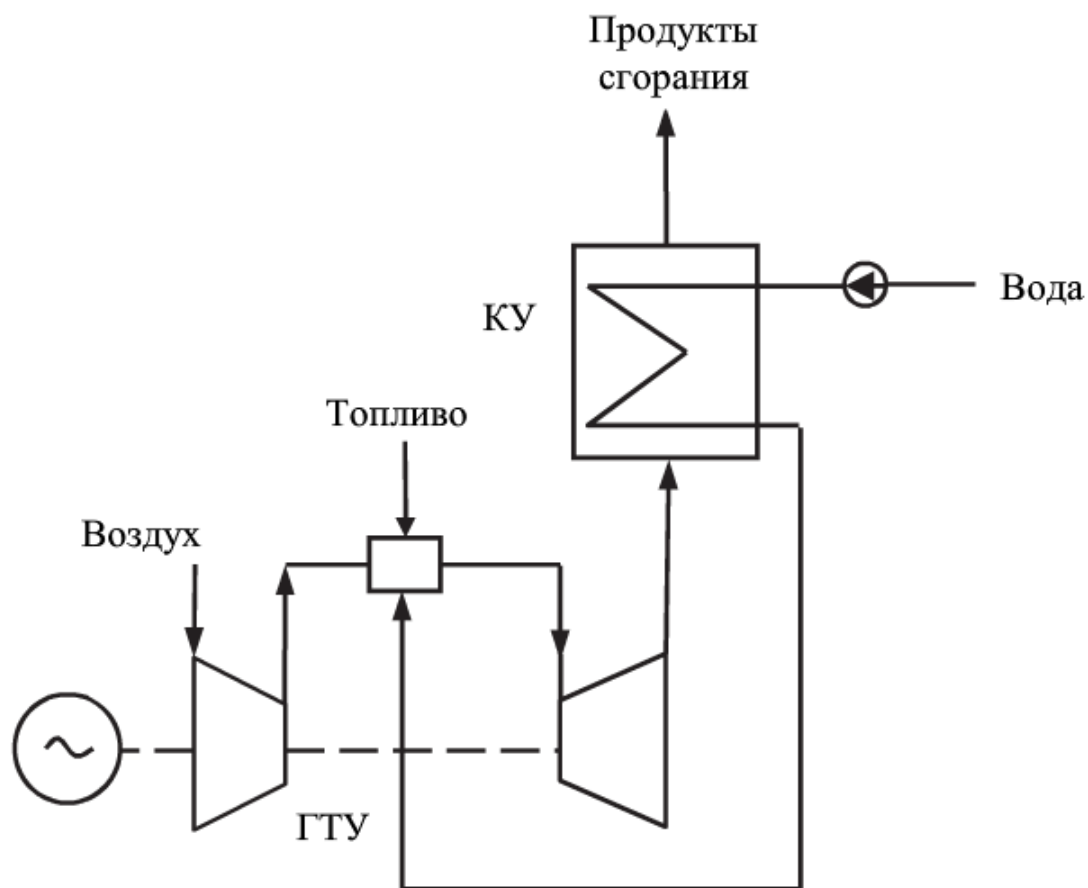


Рисунок 3.6 – Принципиальная тепловая схема со впрыском пара:

КУ – котел-утилизатор; ГТУ – газотурбинная установка

На основе анализа состояния и перспектив развития ПГУ в России, странах СНГ и за рубежом проведено сравнение эффективности различных типов, комбинированных ПГУ

Вопросы и задания

1. По каким параметрам/критериям классифицируют ПГУ?
2. В чем особенность термодинамического цикла ПГУ?
3. Какие основные виды ПГУ получили распространение?
4. Объясните назначение основных элементов тепловой схемы ПГУ с котлом-утилизатором.
5. Почему переход к двухконтурному циклу повышает экономичность?
6. Как определяют температуру газа за турбиной и воздуха за компрессором?
7. Как влияет начальная температура газов на эффективность ПГУ?

Задание №1:

Произвести расчет ГТУ- и ПТУ-ступеней, согласовать параметры ПГУ по ступеням ГТУ, ПТУ. Определить КПД ПГУ по заданным параметрам. В схеме работает высокотемпературная газовая турбина:

- мощность ГТУ – 150 МВт; t температура газа перед турбиной – 1200 °С;
- степень повышения давления в компрессоре – 15;
- КПД компрессора – 0,85;
- КПД газовой турбины – 0,85;
- КПД камеры сгорания – 0,97;
- температура воздуха перед компрессором ГТУ равна – 3 °С.
- В паротурбинной части предусмотрена конденсационная турбина:
- мощность ПТУ – 60 МВт;
- начальное давление пара – 90 бар;
- давление конденсации – 0,05 бар;
- внутренний относительный КПД турбины – 0,85;
- электромеханический КПД турбогенератора – 0,97;
- система регенерации включает ПНД при температуре питательной воды 169 °С;
- КПД котла-утилизатора – 0,97.

В расчете принять изобарную теплоемкость воздуха и газа равной 1,01 кДж/(кг К), показатель адиабаты равен 1,41.

Практическая работа №6. Вспомогательное оборудование установок. Вспомогательное оборудование установок ТЭС.

Цель: Изучить типы вспомогательного оборудования, применяемых на ТЭС

Основы теории:

Для нормальной работы котельного агрегата необходимы непрерывная подача воздуха для горения топлива (дутьевой вентилятор) и непрерывное удаление продуктов сгорания (дымосос). Для регулирования температуры перегретого пара и снижения окислов азота применяются дымососы рециркуляции. Транспорт пыли к горелкам и вентиляцию системы пылеприготовления обеспечивают мельничные вентиляторы и вентиляторы горячего дутья. Дутьевой вентилятор забирает теплый воздух из-под крыши котельной и подает его на подогрев в воздухоподогреватель. Дымовые газы из воздухоподогревателя направляются в золоуловитель, от него к дымососу и через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу при температуре уходящих газов 120...160 °С. Котел имеет со стороны дымовых газов систему под разрежением, или, как ее называют, систему с уравновешенной тягой, создаваемую совместным действием дымососной и дутьевой установки. Здесь дутьевой вентилятор создает давление в воздушном подогревателе (1000...3000 Па), воздуховодах, горелках.

Дымосос устанавливается при работе на угольном топливе и создает разрежение, начиная с топки (примерно 20 Па вверху топочной камеры) и кончая самым дымососом (примерно до 4000 Па). Более простая система – для котлов на газомазутном топливе под наддувом. В котлах с такой системой устанавливаются только дутьевые вентиляторы (воздуходувки), создающие избыточное давление (2000...6000 Па) вплоть до устья дымовой трубы, и дымососы в этом случае не требуются.

Тягодутьевые установки выбираются по расходу (подаче) среды и перепаду полных давлений газового или воздушного тракта.

Дымосос и дутьевой вентилятор имеют привод от электродвигателя, воздуходувки – от электродвигателя или турбины. Расход электроэнергии на тягодутьевые установки, кВт:

$$N_{\text{ТД}} = 3,6\psi_{\text{ТД}}D_0$$

где: $\psi_{\text{ТД}}$ – удельный расход электроэнергии (с учетом коэффициента запаса), (кВт ч)/т;

$\psi_{\text{ТД}} = 4$ (кВт ч)/т при работе на газомазутном топливе;

$\psi_{\text{ТД}} = 7,8$ (кВт ч)/т при работе на угле.

Основными потребителями воды на электростанциях являются конденсаторы турбин (93...96 %), где циркуляционная вода используется для конденсации отработавшего пара и поддержания вакуума. Чем глубже вакуум, тем меньше расход топлива, но дороже ЧНД турбины, конденсатор и система водоснабжения. С увеличением вакуума возрастают выходные потери турбины, из-за чего прирост мощности и КПД установки замедляются. Источниками воды могут быть реки, озера, моря и артезианские скважины, в России – в основном реки. Выбор источника и системы водоснабжения в значительной степени определяется соотношением между требуемым количеством воды в различные периоды года и минимальным расходом воды в реке в это же время. На ТЭС в основном применяют прямоточную и обратную системы технического водоснабжения. Прямоточная система (рис. 4.1) снабжает электростанцию водой непосредственно из реки со сбросом использованной воды обратно в реку ниже водозабора. Такая система обычно обеспечивает наиболее низкую температуру воды и наиболее глубокий вакуум в конденсаторах при относительно недорогих гидротехнических сооружениях.

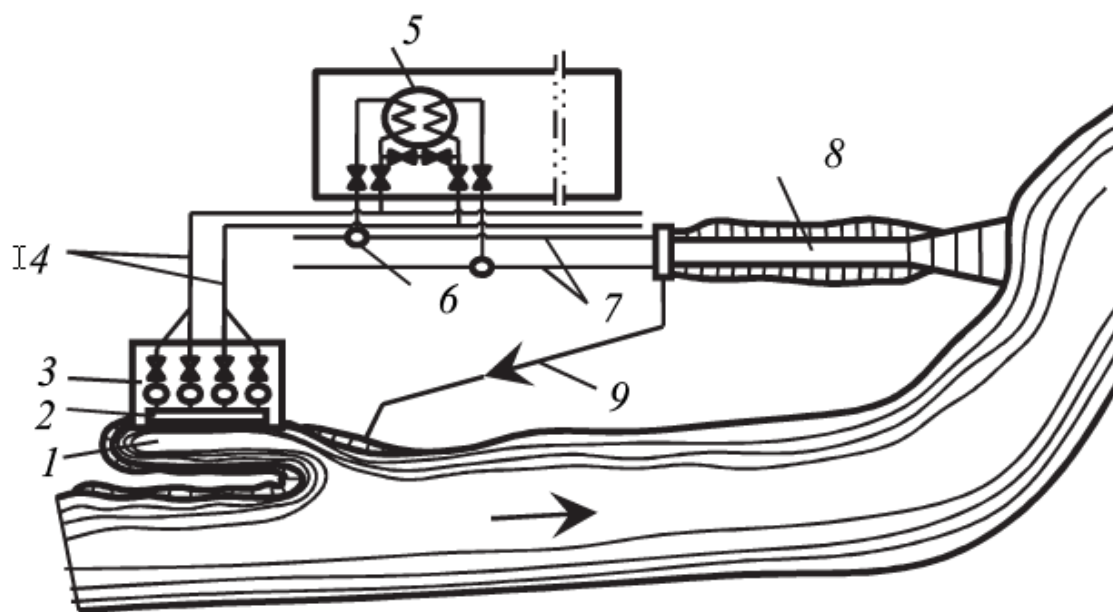


Рисунок 4.1 – Система прямоточного технического водоснабжения:

1 – водозаборный ковш; 2 – водоприемник; 3 – централизованная береговая насосная станция; 4 – магистральные подземные напорные трубопроводы; 5 – конденсатор турбины; 6 – сливной сифонный колодец (гидрозатвор); 7 – отводящие самотечные подземные каналы; 8 – открытый отводящий канал; 9 – трубопровод обогрева водозабора в зимнее время

Оборотная система применяется, когда дебит источника недостаточен для прямоточной системы или когда последняя неэкономична вследствие большой высоты подачи воды

или большого удаления ТЭС от источника. Обратная система имеет искусственные охлаждающие устройства: пруды-охладители или градирни. В них происходит охлаждение циркуляционной воды, нагретой в конденсаторах турбин. Обратная вода охлаждается в основном под влиянием переноса теплоты от воды к воздуху при ее частичном испарении. Пруды (водохранилища) могут быть созданы на реках (на водотоке) (рис. 4.2) и в суходолах (наливные водохранилища).

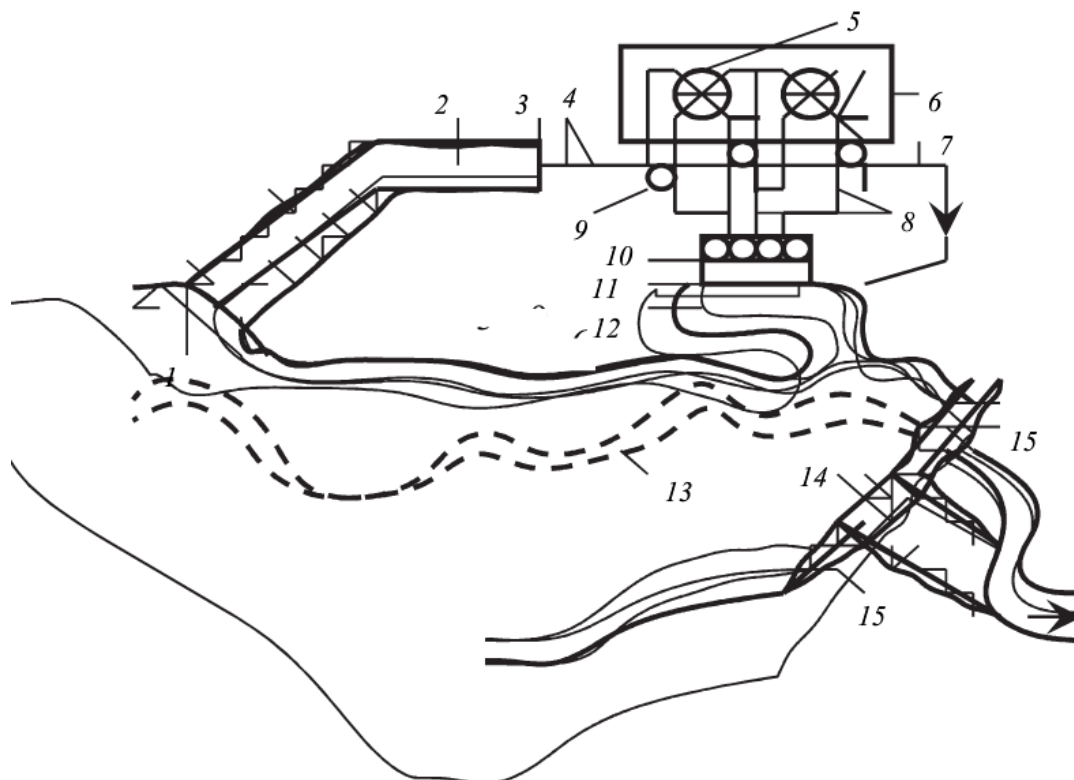


Рисунок 4.2 – Схема оборотного водоснабжения с прудом-охладителем:

1 – струераспределительное сооружение; 2 – открытый отводящий канал; 3 – сооружение для регулирования уровня воды в закрытых отводящих каналах; 4 – закрытые отводящие каналы; 5 – конденсаторы блоков; 6 – главный корпус ГРЭС; 7 – трубопровод обогрева водозабора;

8 – напорные трубопроводы циркуляционной воды к конденсатору блока; 9 – сливной сифонный колодец (гидрозатвор); 10 – блочная береговая насосная; 11 – водоприемник; 12 – открытый подводящий канал;

13 – русло реки; 14 – железобетонный водосброс плотины; 15 – земляная плотина

На подавляющем большинстве ТЭС в качестве охлаждающих устройств могут применяться градирни, отличающиеся большой компактностью. Они не требуют источника воды в виде реки или озера вблизи электростанции (рис. 4.3). В зависимости от способа перемещения воздуха градирни подразделяются на башенные, вентиляторные и открытые.

В башенных градирнях ток воздуха создается вытяжной башней, в вентиляторных – вентилятором, а в открытых – естественным движением воздуха.

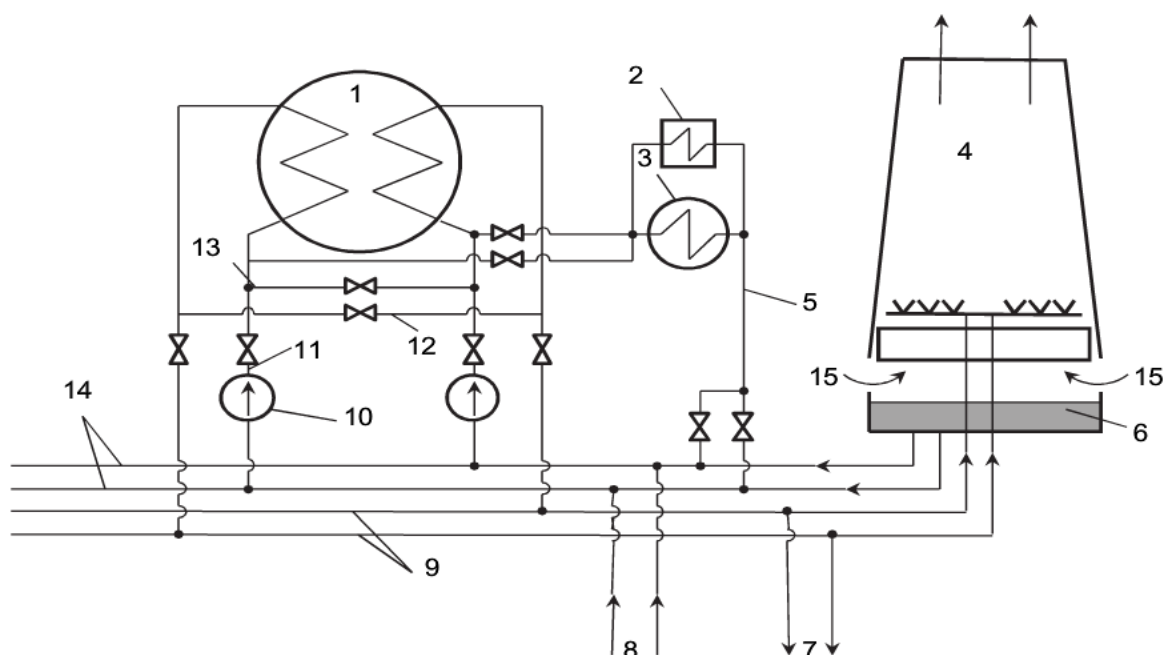


Рисунок 4.3 – Схема оборотного водоснабжения с градирней:

1– конденсатор; 2 – газоохладители генератора; 3 – маслоохладители турбины; 4 – градирня; 5 – трубопровод сбросной воды от охладителей масла и газа в подводящие водоводы; 6 – водосборный бассейн градирни; 7 – трубопроводы продувки циркуляционного контура в систему гидрозолоудаления; 8 – трубопроводы подпитки циркуляционной системы; 9 – сливные напорные трубопроводы к градирням; 10 – циркуляционные насосы; 11 – напорные трубопроводы к конденсаторам турбин; 12 – перемычка между сливными трубопроводами конденсатора; 13 – перемычка между напорными трубопроводами; 14 – подводящие самотечные водоводы к циркуляционным насосам, 15 – вход воздуха

По способу образования поверхности охлаждения градирни подразделяются на пленочные и капельные. В пленочных градирнях оросительное устройство выполняется в виде деревянных дощатых или асбоцементных щитов, устанавливаемых в несколько ярусов вертикально или с небольшим наклоном. В капельных градирнях оросителем служат деревянные горизонтальные планки (бруски) треугольного или прямоугольного сечения, располагаемые в несколько рядов по высоте коридорно, шахматно или каскадно. Основной показатель работы конденсатора – кратность охлаждения, равная отношению расхода охлаждающей конденсатор воды $G_{\text{ц}}$ к пропуску пара в конденсатор $D_{\text{к}}$

$$m_{\text{охл}} = \frac{G_{\text{Ц}}}{D_{\text{К}}}$$

Экономически наивыгоднейшая кратность охлаждения $m_{\text{охл}}$ обычно составляет 40...60. Кратность охлаждения зависит от времени года: зимой она приблизительно вдвое меньше, чем летом. Для прудов-охладителей принимается $m_{\text{охл}} = 40...50$; для испарительной градирни $m_{\text{охл}} = 30...40$; для оборотных систем с вентиляторными градирнями $m_{\text{охл}} = 15...20$. Расход электроэнергии на вентиляторы «сухой» градирни, кВт:

$$N_{\text{ВН}} = 3,6 D_0 (1 - \alpha_R) \gamma_{\text{ВН}} m_{\text{охл}} m_{\text{вз}} :$$

где: D_0 – расход перегретого пара на турбину, кг/с;

α_R – относительный расход пара из отбора турбины на регенерацию; $\gamma_{\text{ВН}} = 0,023$ кВт ч/т охлаждающего воздуха;

$$m_{\text{вз}} = \frac{G_{\text{вз}}}{G_{\text{Ц}}} = \frac{G_{\text{вз}}}{D_{\text{К}} m_{\text{охл}}} = 3...4$$

где: $G_{\text{вз}}$ – расход воздуха через «сухую» градирню.

Насосы тепловых электростанций, как и другие типы машин, служащие для перемещения среды и сообщения ей энергии, характеризуются следующими параметрами: объемной производительностью (подачей), давлением на стороне нагнетания, плотностью перемещаемой среды.

Питательные насосы являются важнейшими из вспомогательных машин паротурбинной электростанции, их рассчитывают на подачу питательной воды при максимальной мощной ТЭС с запасом. На блоках с давлением 13 МПа мощностью до 210 МВт в качестве привода питательного насоса применяют электродвигатели, на энергоблоках 300 МВт и выше – турбопривод.

Конденсатные насосы развивают давление, необходимое для подачи конденсата через ПНД в деаэрактор, и устанавливаются после конденсатора. Производительность конденсатных насосов определяется максимальным расходом конденсата турбины по условиям летнего периода, для теплофикационных турбин – по конденсационному режиму с выключенными теплофикационными отборами при работе с максимальной электрической нагрузкой.

Циркуляционные насосы обеспечивают подачу охлаждающей воды в конденсатор, необходимой для отвода теплоты от отработавшего пара в турбине. Отвод теплоты в конденсаторе производится при постоянном давлении, а следовательно, и температуре.

Для обеспечения стабильного горения в камере сгорания ГТУ природный газ должен поступать к горелочному устройству при определенном давлении, зависящем от типа ГТУ.

При отсутствии на площадке электростанции газопровода высокого давления, требуемого для работы ГТУ, давление топливного газа достигается повышением давления, поступающего на газораспределительный пункт (ГРП) природного газа с помощью дожимных компрессоров (ДК). Необходимость установки этих агрегатов существенно влияет на расход электроэнергии на собственные нужды. Мощность привода дожимного компрессора составляет 1,5...3 % от мощности ГТУ

Контрольные вопросы:

1. Перечислите вспомогательное оборудование энергоблоков ТЭС.
2. Что относится к техническому водоснабжению станции?
3. Какие системы технического водоснабжения применяют на станциях?
4. Что показывает кратность охлаждения?
5. Каким устройством осуществляется размол твердого топлива?
6. Что относится к тягодутьевым устройствам?
7. Назначение циркуляционных насосов.

Практическая работа №7. Показатели эффективности установок. Показатели эффективности установок ТЭС.

Цель: Изучить основные критерии эффективности установок ТЭС

Основы теории:

Тепловая экономичность электростанций характеризуется значениями КПД, удельных расходов теплоты и условного топлива на производство электроэнергии и тепла. В энергетической установке имеются потери теплоты в паровом котле, турбине, генераторе, теплообменных устройствах, паропроводах и др. Эти потери учитываются при определении КПД станции. Расход электроэнергии на собственные нужды зависит от вида топлива, от системы пылеприготовления и технического водоснабжения, а также от режима работы оборудования. Суммарный расход электроэнергии, кВт:

$$N_{CH} = N_{TD} + N_{TP} + N_{ЦН} + N_{ПН} + N_{ВН} + N_{СУ}$$

Коэффициент затрат электроэнергии на собственные нужды:

$$k_{CH} = \frac{N_{CH}}{N_{Г}}$$

где: $N_{Г}$ – электрическая мощность энергоблока, кВт.

КПД собственных нужд:

$$\eta_{CH} = (N_{Г} - N_{CH}) / N_{Г} = 1 - k_{CH}$$

КПД по отпуску электроэнергии:

$$\eta_N = (N_{Г} - N_{CH}) / (BQ_H^P) = \eta_K \eta_{тр} \eta_{CH} \eta_{ТГ}$$

где: B – расход топлива на котел, кг/с;

Q_H – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$\eta_{тр}$ – КПД транспорта тепла, $\eta_{тр} = 0,98...0,99$;

η_K – КПД котла, который можно оценить по следующим выражениям:

при работе парогенератора на газе

$$\eta_K = 0,95 - 3,3 \cdot 10^{-4} (t_{пв} - 270)$$

для угольных парогенераторов

$$\eta_K = 0,93 - 3,3 \cdot 10^{-4} (t_{пв} - 270)$$

где: $t_{пв}$ – температура питательной воды, °С;

$\eta_{ТГ}$ – КПД турбогенераторной установки по производству электроэнергии,

$$\eta_{\text{ТГ}} = N_{\Gamma} / Q_{\text{э}}$$

где: $Q_{\text{э}}$ – теплота, расходуемая на выработку электроэнергии, кВт. Для оценки эффективности работы энергетических установок ТЭС, использующих различные топлива, применяется понятие условное топливо, низшая теплота сгорания которого равна 29,33 МДж/кг (7000 ккал/кг). Удельный расход условного топлива на отпускаемую электроэнергию, кг у.т/(кВт ч):

$$b_N = 3600 / (29\,330 \eta_N) \approx 0,123 / \eta_N$$

КПД по отпуску электроэнергии:

$$\eta_N = (N_{\Gamma} - N_{\text{CH}}) / \left(B Q_{\text{H}}^{\text{P}} - \frac{Q_{\text{т}}}{\eta_{\text{К}} \eta_{\text{СУ}}} \right) = \eta_{\text{К}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{CH}} \eta_{\text{ТГ}}$$

где $\eta_{\text{СУ}}$ – КПД сетевой установки, $\eta_{\text{СУ}} = 0,97 \dots 0,98$;

$Q_{\text{т}}$ – тепло, отпускаемое потребителям тепла, кВт.

КПД по отпуску тепла:

$$\eta_Q = \eta_{\text{К}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{СУ}}$$

Расход топлива на ТЭС разделяют между выработанной электроэнергией и тепловой. Удельный расход условного топлива, кг у.т/(кВт ч):

на отпускаемую электроэнергию

$$b_N = \frac{0,123}{\eta_N}$$

на отпускаемое тепло

$$b_Q = \frac{0,123}{\eta_Q}$$

или на отпуск 1 Гкал тепла

$$b_Q = \frac{143}{\eta_Q}$$

Контрольные вопросы:

1. Что такое условное топливо?
2. Что такое собственные нужды энергоблока?
3. Перечислите показатели эффективности работы ГТУ.
4. Что показывает удельный расход условного топлива?
5. Как влияет на КПД по отпуску электроэнергии коэффициент затрат электроэнергии на собственные нужды?
6. От чего зависит КПД по отпуску тепла?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Барочкин, Е. В. Общая энергетика : учебное пособие / Е. В. Барочкин, М. Ю. Зорин, А. Е. Барочкин. — 3-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 316 с. — ISBN 978-5-9729-0759-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/114940.html>

2. Валеев, И. М. Общая электроэнергетика [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров. — Электрон. текстовые данные. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. — 220 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79339.html>

3. Лебедев, В. А. Теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. — 371 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78140.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Общая энергетика [Электронный ресурс]: учебник: в 2 кн. / В.П. Горелов, С.В. Горелов, В.С. Горелов и др. ; под ред. В.П. Горелова, Е.В. Ивановой. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - Кн. 1. Альтернативные источники энергии. - 434 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447693>

2. Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков; ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : Агрус, 2013. - 212 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277522>

3. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии) : [учебник] / Г.Ф. Быстрицкий, Г.Г. Гасангаджиев, В.С. Кожиченков. - 2-е изд., стер. - М. : КНОРУС, 2014. - 408 с. - (Бакалавриат). - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Библиограф.: с. 403-404. - ISBN 978-5-406-03655-6

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Общая энергетика».
2. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Общая энергетика».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Общая энергетика»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

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

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Общая энергетика»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-5 ПК-1 Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации систем электроснабжения	Знает основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.
	ИД-6 ПК-1 Способен охарактеризовать электротехническое оборудование (типы, функциональное назначение) электроэнергетических систем	Умеет анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения. Владеет навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
4 семестр					
ПК-1 ИД-5ПК-1 ИД-6ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	59,94	6,66	66,6
	Подготовка к лекциям	Собеседование	1,62	0,18	1,8
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	3,24	0,36	3,6
Итого за 4 семестр:			64,8	7,2	72
Итого:			64,8	7,2	72
Заочная форма обучения					
3 семестр					
ПК-1 ИД-5ПК-1 ИД-6ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	84,78	9,42	94,2
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	1,08	0,12	1,2
Итого за 4 семестр:			86,4	9,6	96
Итого:			86,4	9,6	96

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
4 семестр			
1.	Практическое занятие № 2	6 неделя	25
2.	Практическое занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	16 неделя	15
	Итого за 4 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставаемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Что такое удельный объем, удельный вес, плотность?
2. Чему равна температура в °K 0°C?
3. Дайте определения энтропии, энтальпии.
4. Дайте определения или опишите процесс: пара, парообразования, испарения, кипения, конденсации, возгонки, десублимации, насыщенного пара, сухого насыщенного пара, влажного насыщенного пара, перегретого пара.
5. В чем состоит различие между эмпирической и абсолютной температурами?
6. Какими приборами измеряются температура и давление?
7. В чем состоит различие между физической и технической атмосферами?
8. Как связаны между собой степень влажности и степень сухости пара?
9. Опишите преимущества и недостатки блочной схемы ТЭС.
10. Какие виды топлив применяют на тепловых электрических станциях?
11. Что такое теплофикация?
12. Как влияет изменение начальных и конечных параметров на термический КПД цикла?

13. Назначение паровых котлов.
14. Что включает в себя понятие «система регенерации»?
15. Назначение деаэратора.
16. Какие применяют системы очистки уходящих (дымовых) газов?
17. Принцип действия конденсатора паровых турбин.
18. Что такое сетевая установка?
19. Объясните особенности термодинамических циклов ГТУ.
20. От каких показателей ГТУ зависит увеличение полезной удельной работы цикла?
21. В чем особенность схем ГТУ с разрезным валом?
22. Какие существуют способы повышения эффективности ГТУ?
23. Как зависит КПД ГТУ от степени сжатия?
24. В каком оборудовании ГТУ затрачивается работа?
25. Почему действительный процесс сжатия отличается от теоретического в ГТУ?
26. Как влияют тепловые потери на эффективность ГТУ?
27. Какой режим работы ГТУ называют расчетным?
28. По каким параметрам/критериям классифицируют ПГУ?
29. В чем особенность термодинамического цикла ПГУ?
30. Какие основные виды ПГУ получили распространение?
31. Объясните назначение основных элементов тепловой схемы ПГУ с котлом-утилизатором.
32. Почему переход к двухконтурному циклу повышает экономичность?
33. Как определяют температуру газа за турбиной и воздуха за компрессором?
34. Как влияет начальная температура газов на эффективность ПГУ?
35. Перечислите вспомогательное оборудование энергоблоков ТЭС.
36. Что относится к техническому водоснабжению станции?
37. Какие системы технического водоснабжения применяют на станциях?
38. Что показывает кратность охлаждения?
39. Каким устройством осуществляется размол твердого топлива?
40. Что относится к тягодутьевым устройствам?
41. Назначение циркуляционных насосов.
42. Что такое условное топливо?
43. Что такое собственные нужды энергоблока?
44. Перечислите показатели эффективности работы ГТУ.
45. Что показывает удельный расход условного топлива?

46. Как влияет на КПД по отпуску электроэнергии коэффициент затрат электроэнергии на собственные нужды?
47. От чего зависит КПД по отпуску тепла?
48. Каково воздействие на окружающую среду со стороны АЭС?
49. Чем обусловлено применение многоконтурных схем АЭС?
50. Каким образом отводится выделяемое при ядерной реакции тепло из реактора на АЭС?
51. Для чего используются сепараторы в проточных частях энергоустановок?
52. Какие материалы используют в качестве замедлителя ядерной реакции в реакторе АЭС?
53. Какие по величине электрические мощности вырабатывают реакторы современных АЭС?
54. Для каких целей создаются защитные зоны вокруг территорий АЭС?
55. Изобразить трехконтурную схему АЭС.
56. Что такое ТВЭЛ?

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Барочкин, Е. В. Общая энергетика : учебное пособие / Е. В. Барочкин, М. Ю. Зорин, А. Е. Барочкин. — 3-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 316 с. — ISBN 978-5-9729-0759-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/114940.html>
2. Валеев, И. М. Общая электроэнергетика [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров. — Электрон. текстовые данные. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. — 220 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79339.html>
3. Лебедев, В. А. Теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. — 371 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78140.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Общая энергетика [Электронный ресурс]: учебник: в 2 кн. / В.П. Горелов, С.В. Горелов, В.С. Горелов и др. ; под ред. В.П. Горелова, Е.В. Ивановой. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - Кн. 1. Альтернативные источники энергии. - 434 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447693>
2. Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков; ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : Агрус, 2013. - 212 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277522>
3. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии) : [учебник] / Г.Ф. Быстрицкий, Г.Г. Гасангаджиев, В.С. Кожиченков. - 2-е изд., стер. - М. : КНОРУС, 2014. - 408 с. - (Бакалавриат). - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Библиограф.: с. 403-404. - ISBN 978-5-406-03655-6

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Общая энергетика».
2. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Общая энергетика».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks