

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания

по организации практической работы
обучающихся по дисциплине «Общая энергетика» для
студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехникаII
Направленность (профиль) Цифровые технологии в электроэнергетике

Ставрополь, 2025

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Общая энергетика» содержат краткие теоретические сведения о расчетах основных термодинамических процессов, основных способов распространения тепла. Приведен список необходимой литературы и даны примеры решения задач.

Составитель Смирнов С.С.

Рецензент Стоянов Н.И.

Практические занятия предназначены для углубленного изучения предмета. На занятиях студенты получают навыки практического применения знаний, приобретенных студентами при изучении теоретического материала данной дисциплины в лекционном курсе и самостоятельно. Решение практических задач позволяет студентам получить более полное представление об изучаемом предмете в целом, что дает возможность успешно применять знания, навыки и умения в дальнейшей профессиональной деятельности.

Практическое занятие №1

Виды теплообмена. Термодинамические циклы Карно и Ренкина в паровых котлах

Перенос тепла конвекций происходит при омывании поверхности твердых тел жидкостями и газами.

Явление переноса тепла конвекцией при соприкосновении горячих жидкостей или газов с холодными поверхностями твердых тел, или наоборот, называется теплоотдачей. Количество тепла, отдаваемого при теплоотдаче от горячих тел к холодным, определяется по формуле Ньютона

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) F, \text{ Вт} \quad (1.1)$$

или

$$q = \alpha (t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2 \quad (1.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи;

t_1 – температура тела, отдающего тепло;

t_2 – температура тела, воспринимающего тепло;

F – поверхность, м^2 .

Коэффициент теплоотдачи представляет собой мощность теплового потока, проходящего через 1 м^2 стенки при разности температуры между жидкостью и стенкой в 1 градус.

Под режимом движения жидкости подразумевается характер течения жидкости, создающий либо струйчатое, либо завихренное беспорядочное течение, называемое турбулентным.

Экспериментальное изучение явлений теплообмена в большинстве случаев сводится к определению коэффициента теплоотдачи. Уравнения теплоотдачи конвекций обычно представляют в критериальной форме, например: $Nu = f(Re, Gr, Pr)$, где Re , Gr , Pr , соответственно, критерии Рейнольдса, Грасгофа и Прандтля. Применительно к свободной конвекции критериальная зависимость значительно упрощается устранением критерия Рейнольдса

$$Nu = f(Gr, Pr). \quad (1.3)$$

Специальными исследованиями, проведенными в области теплоотдачи, установлены расчетные формулы для определения коэффициента теплоотдачи, в которых зависимость между критериями представлена в виде степенных функций. Например, расчет теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном объеме для вертикальных и горизонтальных плоских и цилиндрических поверхностей производится по уравнению

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (1.4)$$

где c и n – коэффициенты критериального уравнения, определяемые по таблице 3.1; Gr – критерий Грасгофа; Pr – критерий Прандтля.

Таблица 1.1

$Gr \cdot Pr$	Режим движения	c	n
$1,0 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	ламинарный	1,18	1/8

$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	переходный	0,54	1/4
$2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$	турбулентный	0,135	1/3

Пример решения задач

Расчет тепловой изоляции теплообменного аппарата

Определить толщину изоляции трубопровода (теплообменного аппарата) диаметром $d_n=159$ мм, проходящего по цеху (установленного в цехе), с тем, чтобы температура на поверхности изоляции не превышала 40 °С. Изоляционный материал защищен покровным слоем, предохраняющим изоляцию от разрушения и влаги. Толщина покровного слоя $\delta_{п. сл}=10$ мм, а его коэффициент теплопроводности $\lambda_{п. сл} = 0,38$ Вт/(м К). Определить, во сколько раз уменьшатся потери теплоты с поверхности 1 м трубопровода (теплообменного аппарата) после покрытия его тепловой изоляцией, по сравнению с неизолированным трубопроводом, если температура воздуха в помещении $t_b=28$ °С, а температура наружной стенки трубы (теплообменного аппарата) $t_{ст}=180$ °С.

Решение:

3.1 Требуемое суммарное термическое сопротивление изоляции трубопровода:

$$\Sigma R = \frac{t_{cm} - t_e}{q}, \frac{м \cdot К}{Вт}, \quad (1)$$

где q – удельные потери тепла трубопровода (аппарата), которые определяются по формуле:

$$q = \alpha_e \cdot (t_{n.сл} - t_e) \cdot \pi \cdot d_{n.сл} \frac{Вт}{м}; \quad (2)$$

где α_e – коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздуху;

$t_{n.сл}$ – температура покровного слоя.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздуху определяется из критериального уравнения для свободной конвекции:

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (3)$$

где c и n – коэффициенты критериального уравнения, определяемые по таблице 3.1 МУ;

Gr – критерий Грасгофа;

Pr – критерий Прандтля.

$$Nu = \frac{\alpha_e \cdot l}{\lambda},$$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu_V^2},$$

$$Pr = \frac{\nu}{a},$$

где $\beta = \frac{1}{T_{ногр}}$ – коэффициент объёмного расширения, $1/K$;

$$T_{ногр} = \frac{T_{н.сл} + T_{в}}{2} \quad \text{– определяющая температура (температура}$$

пограничного слоя), K ; $T_{ногр} = \frac{T_{н.сл} + T_{в}}{2} =$

$$= \frac{(40 + 273) + (28 + 273)}{2} = 307 K (34^\circ C);$$

g – ускорение свободного падения, $м/сек^2$;

l – определяющий геометрический размер, $l = d_{н.сл} = d_n + 2 \cdot \delta_{из} + 2 \cdot \delta_{н.сл}$
или $l = d_{н.сл} = d_{из} + 2 \cdot \delta_{н.сл}$. Значение наружного диаметра изоляции $d_{из}$
предварительно задается и уточняется последовательным приближением при
 $\delta_{н.сл} = const$. Принимая толщину изоляции слоя $\delta'_{из} = 50$ мм, получаем
 $l = d_{н.сл} = 0,159 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,01 = 0,279$ м.

$\Delta T = T_{н.сл} - T_{в}$ – температурный напор между поверхностью покровного
слоя и воздухом, K .

ν_v – кинематическая вязкость воздуха в пограничном слое, $м^2/с$.

a – коэффициент температуропроводности воздуха, $м^2/с$.

λ_v – коэффициент теплопроводности воздуха, $Вт/(м \cdot град)$.

Значения физических параметров, входящих в выражения критериев
теплообмена, находим в зависимости от температуры воздуха в тепловом
пограничном слое по приложению 4 МУ. При $T_{ногр} = 34^\circ C$ $\nu_v = 16,38 \cdot 10^{-6}$
 $м^2/с$; $a = 23,46 \cdot 10^{-6}$ $м^2/с$; $\lambda_v = 2,71 \cdot 10^{-2}$ $Вт/(м \cdot град)$.

$$Gr = \frac{1}{307} \cdot 9,81 \cdot 0,279^3 \cdot (40 - 28) \cdot \frac{1}{(16,38 \cdot 10^{-6})^2} = 31 \cdot 10^6;$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{16,38 \cdot 10^{-6}}{23,46 \cdot 10^{-6}} = 0,698;$$

$$Gr \cdot Pr = 2,16 \cdot 10^7.$$

Таблица 3.1 – Численные значения коэффициентов c и n для
различных режимов движения

$Gr \cdot Pr$	Режим движения	c	n
$1,0 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	ламинарный	1,18	1/8

$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	переходный	0,54	1/4
$2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$	турбулентный	0,135	1/3

Следовательно, режим движения – турбулентный, $c = 0,135$; $n = 1/3$.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } \alpha_{\theta} &= \frac{Nu \cdot \lambda_{\theta}}{d_{n.сл}} = \frac{c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot \lambda_{\theta}}{d_{n.сл}} = \\ &= \frac{0,135 \cdot (2,16 \cdot 10^7)^{1/3} \cdot 2,71 \cdot 10^{-2}}{0,279} = 3,45 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \end{aligned}$$

Определив α_{θ} , находим удельные линейные потери тепла трубопровода (аппарата) по формуле (2)

$$q = \alpha_{\theta} \cdot (t_{n.сл} - t_{\theta}) \cdot \pi \cdot d_{n.сл} = 3,45 \cdot (40 - 28) \cdot 3,14 \cdot 0,279 = 36,3 \text{ Вт/м.}$$

Требуемое суммарное термическое сопротивление изоляции трубопровода определяем по формуле (1):

$$\Sigma R = \frac{t_{см} - t_{\theta}}{q} = \frac{180 - 28}{36,3} = 4,19 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Требуемое термическое сопротивление изоляции:

$$R_{из} = \Sigma R - (R_{n.сл} + R_n), \quad (4)$$

где $R_{n.сл}$ – термическое сопротивление покровного (защитного) слоя:

$$R_{n.сл} = \frac{\ln(d_{n.сл} / d_{из})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{n.сл}} = \frac{\ln(0,279 / 0,259)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,38} = 0,0312 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}. \quad (5)$$

где $\lambda_{n.сл}$ – коэффициент теплопроводности покровного слоя;

R_n – термическое сопротивление переходу теплоты от поверхности конструкции к воздуху,

$$R_n = 1 / (\pi \cdot d_{n.сл} \cdot \alpha_{\theta}) = 1 / (3,14 \cdot 0,279 \cdot 3,45) = 0,331 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}, \quad (6)$$

где $d_{n.сл}$, $d_{из}$ – наружный диаметр покровного слоя изоляции и наружный диаметр изоляции,

$$d_{n.сл} = d_{из} + 2 \cdot \delta_{n.сл} = 0,279 \text{ м}, \quad (7)$$

$$R_{из} = \Sigma R - (R_{n.сл} + R_n) = 4,19 - (0,0312 + 0,331) = 3,828 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

Значение наружного диаметра изоляции $d_{из}$ предварительно задавали и уточняем последовательным приближением при $\delta_{n.сл} = \text{const}$.

Необходимая толщина изоляции трубопровода (аппарата) определяется по формуле:

$$\delta_{из} = \frac{d_n (e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot R_{из}} - 1)}{2} = 0,159 \cdot \frac{(e^{2 \cdot \pi \cdot 0,065 \cdot 3,828} - 1)}{2} = 0,3 \text{ м}; \quad (8)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции; d_n – наружный диаметр трубопровода (аппарата).

$$\Delta \delta_{из} = \frac{\delta'_{из} - \delta_{из}}{\delta'_{из}} \cdot 100\% = \frac{0,05 - 0,3}{0,05} \cdot 100\% = -500\%$$

Необходимо сделать пересчет при большем $\delta'_{из}$, примем $\delta'_{из} = 0,13$ м.

Второе приближение.

$$\begin{aligned} \delta'_{из} &= 0,13 \text{ м}; \quad d_{из} = 0,159 + 2 \cdot 0,13 = 0,419 \text{ м}; \\ d_{н.сл} &= d_{из} + 2 \cdot \delta_{н.сл} = 0,419 + 2 \cdot 0,01 = 0,439 \text{ м}; \\ q &= \alpha_6 \cdot (t_{н.сл} - t_6) \cdot \pi \cdot d_{н.сл} = 3,45 \cdot (40 - 28) \cdot 3,14 \cdot 0,439 = 57,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}; \end{aligned}$$

$$R_{н.сл} = \frac{\ln(0,439/0,419)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,38} = 0,0195 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_n = 1/(3,14 \cdot 0,439 \cdot 3,45) = 0,21 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$\Sigma R = \frac{t_{см} - t_6}{q} = \frac{180 - 28}{57,1} = 2,66 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_{из} = \Sigma R - (R_{н.сл} + R_n) = 2,66 - (0,0195 + 0,21) = 2,43 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$\delta_{из} = \frac{d_n (e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot R_{из}} - 1)}{2} = 0,159 \cdot \frac{(e^{2 \cdot \pi \cdot 0,065 \cdot 2,43} - 1)}{2} = 0,135 \text{ м}.$$

$$\Delta \delta_{из} = \frac{\delta'_{из} - \delta_{из}}{\delta'_{из}} \cdot 100\% = \frac{0,13 - 0,135}{0,13} \cdot 100\% = -3,8\%.$$

Т. к. полученное значения отличается от ранее принятого не более чем на 10%, то $\delta_{из} = 130$ мм принимаем окончательно.

Определив наружный диаметр изоляции, найдем диаметр покровного слоя $d_{н.сл} = d_{из} + 2 \cdot \delta_{н.сл} = 0,419 + 2 \cdot 0,01 = 0,439$ м и уточняем фактическое термическое сопротивление:

$$\Sigma R_{ф} = R_{из} + R_{н.сл} + R_n = 2,43 + 0,0195 + 0,21 = 2,66 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}. \quad (9)$$

Уточняю величину удельных теплотерь и температуру наружной поверхности изоляции, считая $\alpha_6 = const$.

$$q_{\phi} = \frac{t_{cm} - t_6}{\Sigma R_{\phi}} = \frac{180 - 28}{2,66} = 57,1 \frac{Bm}{m}.$$

$$t_{n.сл.ф} = t_6 + \frac{q_{\phi}}{\alpha_6 \cdot \pi \cdot d_{n.сл}} = 28 + \frac{57,1}{3,45 \cdot 3,14 \cdot 0,439} = 40^{\circ} C.$$

Диаметр изоляции должен быть

$$d_{из} > d_{кр} = (2 \cdot \lambda_{из}) / \alpha_6. \quad (10)$$

$$d_{кр} = (2 \cdot \lambda_{из}) / \alpha_6 = (2 \cdot 0,065) / 3,45 = 0,038 \text{ м.}$$

Следовательно, условие (10) удовлетворяется ($0,419\text{м} > 0,038\text{м}$).
Проверка условия по выбору теплоизоляционного материала

$$\lambda_{из} < (\alpha_6 \cdot d_{из}) / 2. \quad (11)$$

$$0,065 \frac{Bm}{m \cdot K} < 0,723 \frac{Bm}{m \cdot K},$$

следовательно, условие (11) выполняется.

Удельные потери тепла без теплоизоляции.

Определение критерия Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2},$$

$$T_{ногр} = \frac{T_{n.сл} + T_6}{2} = \frac{180 + 28}{2} + 273 = 377 K,$$

$$\Delta T = T_{n.сл} - T_6 = 180 - 28 = 152^{\circ} C,$$

ν_6 – кинематическая вязкость воздуха в пограничном слое, м²/с. При

$$T_{ногр} = 377 K \quad (104^{\circ} C) \quad \nu_6 = 23,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{1/377 \cdot 9,81 \cdot 0,179^3 \cdot 152}{(23,6 \cdot 10^{-6})^2} = 4,07 \cdot 10^7.$$

Определим критерий Прандтля. При $T_{ногр} = 377 K \quad (104^{\circ} C) \quad Pr = 0,6876$.

Найдем коэффициенты c и n , $Gr \cdot Pr = 2,8 \cdot 10^7$. Следовательно, режим движения – турбулентный, $c = 0,135$; $n = 1/3$.

Тогда $Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n = 0,135 \cdot (2,8 \cdot 10^7)^{1/3} = 38,72$. Следовательно,

$$\alpha_s = \frac{Nu \cdot \lambda_g}{d_{n.сл}} = \frac{38,72 \cdot 3,24 \cdot 10^{-2}}{0,179} = 7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Определим удельную потерю тепла трубопровода (аппарата),

$$q_{б.т.из} = \alpha_s \cdot (t_{n.сл} - t_g) \cdot \pi \cdot d_{n.сл} = 7 \cdot (180 - 28) \cdot 3,14 \cdot 0,179 = 598 \text{ Вт/м}.$$

Таким образом, $\frac{q_{б.т.из}}{q_{\phi}} = \frac{598}{57,1} = 10,5.$

Т. е. при изоляции трубопровода с целью снижения температуры его поверхности до 40°C удельные потери по длине снижаются в 10,5 раз.

Цикл паросиловой установки

Идеальный цикл паросиловой установки

Особенностью циклов паросиловых установок (ПСУ) (в отличие от ДВС и ТГУ), является то, что продукты сгорания топлива в них играют роль промежуточного теплоносителя, а рабочим телом служит пар (главным образом водяной пар).

Использование пара в качестве рабочего тела имеет ряд особенностей. Так, например, становится технически возможным применение цикла Карно для пара, так как изотермический подвод или отвод тепла в области влажного пара происходит одновременно, при постоянных значениях давления.

Однако, цикл Карно, осуществляемый в области влажного пара, (рисунок 2.1) будет иметь следующие недостатки:

- в процессах (1–2) и (3–4) производится адиабатическое расширение и адиабатическое сжатие влажного пара, при осуществлении которых в реальных поршневых (или турбинных) машинах возникают большие потери и имеет место износ рабочих органов. Последнее объясняется наличием в рабочем теле больших количеств несжимаемой жидкости, которая имеет высокую плотность и движется со значительной скоростью;

- температурные пределы применения этого цикла ограничены областью влажного пара, так как процесс сжатия (3–4) может быть осуществлен только до линии насыщения, т. е. всегда $T_1 < T_k$.

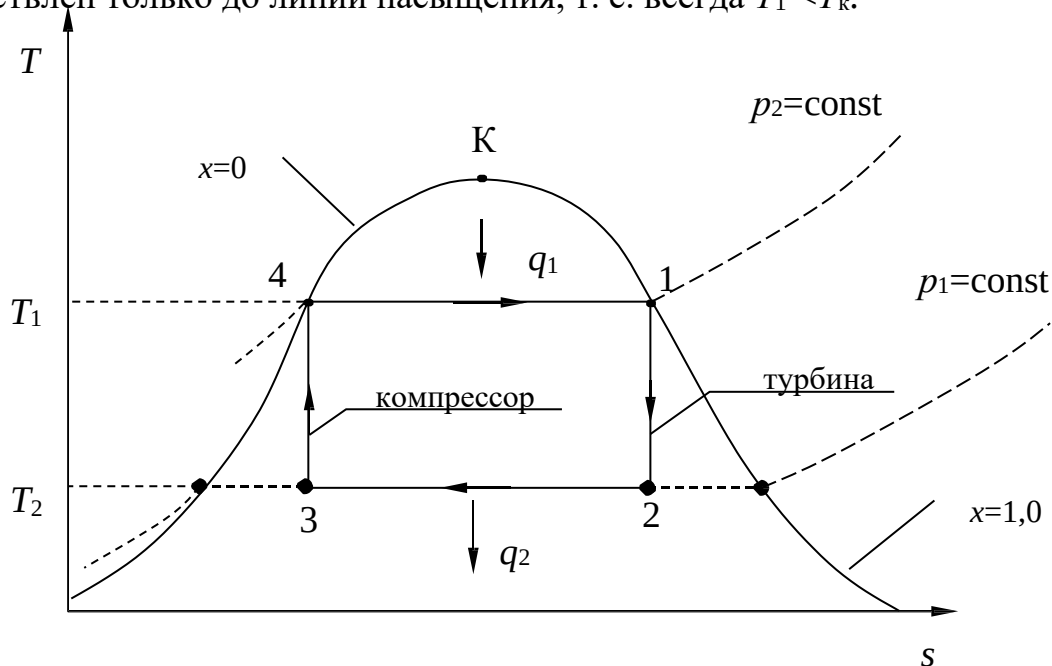


Рисунок 1.1 – Цикл Карно в области влажного пара в диаграмме T – s

Реальный цикл паросиловой установки – цикл Ренкина

Изложенные причины приводят к существенному снижению КПД идеального цикла ПСУ, вследствие наличия больших потерь и ограничивают возможность повышения КПД этого цикла за счет расширения температурного интервала от T_1 до T_2 .

Ввиду низкой практической эффективности идеального цикла ПСУ в промышленной теплоэнергетике широко используется реальный цикл ПСУ, предложенный Ренкиным.

Для устранения недостатков идеального цикла в цикле Ренкина используются следующие технологические приемы:

- перегрев пара при постоянном давлении p_1 с целью увеличения средней температуры подвода тепла и осуществления процесса адиабатного расширения, в основном, в области перегретого (сухого) пара, что предотвращает потери, связанные с расширением двухфазной смеси;
- полная конденсация пара в процессе отвода тепла с целью замены процесса сжатия двухфазной смеси сжатием жидкости в насосе от давления p_2 до давления p_1 , что требует значительно меньшего расхода работы и осуществляется с гораздо меньшими потерями.

На рисунке 1.2 приведена принципиальная схема ПСУ, работающей по циклу Ренкина, и дан вид цикла в диаграмме T – s .

Вода поступает в парогенератор (ПГ), где при постоянном давлении сначала нагревается до температуры кипения (процесс 4–5), а затем испаряется, превращаясь в сухой насыщенный пар (процесс 5–6).

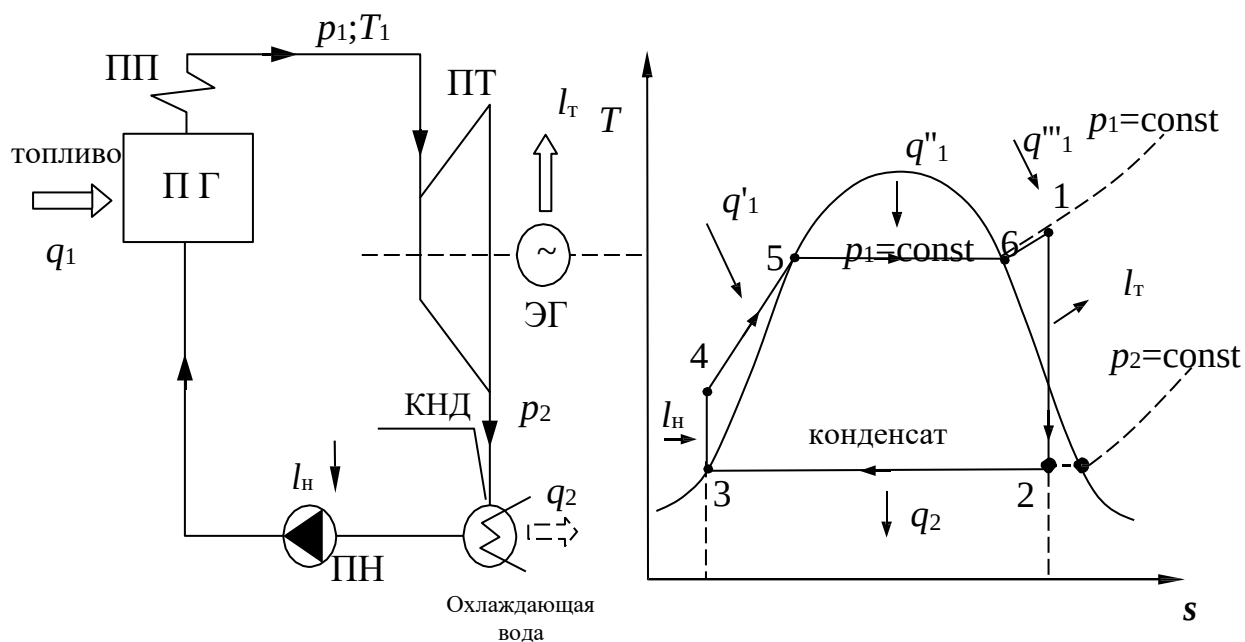


Рисунок 1.2 – Схема и цикл паросиловой установки Ренкина

Насыщенный водяной пар перегревается в пароперегревателе (ПП) (процесс 6–1). С давлением p_1 и температурой T_1 он поступает в паровую турбину (ПТ), где в процессе адиабатического расширения от давления p_1 до давления p_2 (процесс 1–2) совершает полезную работу, которая преобразуется в электрическую энергию в электрогенераторе (ЭГ).

Отработанный пар с давлением p_2 поступает в конденсатор, где охлаждается и конденсируется при $p_2 = \text{const}$ (процесс 2–3). Давление конденсата p_2 поднимается до давления котловой воды p_1 питательным насосом (ПН) (процесс 3–4), после чего она подается в парогенератор (ПГ).

Для нагревания и испарения воды и перегрева пара в парогенератор подводится тепло q_1 , которое получается за счет сжигания органического топлива или в результате тепловыделения от ядерных реакций расщепления тяжелых трансурановых элементов в атомном реакторе.

Конденсатор охлаждается водой, которая отводит в окружающую среду тепло q_2 . В турбине совершается полезная работа (l_T), которая на рабочем валу электрогенератора (ЭГ) превращается в электрическую энергию. Для привода питательного насоса затрачивается энергия l_H , подводимая извне.

Термический КПД цикла Ренкина определяют из выражения:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_T - l_H}{q_1}.$$

Так как процессы подвода и отвода тепла происходят при $p = \text{const}$, а работа расширения в турбине и сжатия в насосе определяются по разности энтальпий, то:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_4) - (h_2 - h_3)}{h_1 - h_4} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}.$$

Если пренебречь работой l_H и принять $h_4 \approx h_3$, то приближенно КПД цикла Ренкина будет равен:

$$\eta_t \approx \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)}.$$

Пример решения задач

Паротурбинная установка работает по теоретическому циклу Ренкина. Давление и температура водяного пара на выходе из парогенератора (перед турбиной): P_1 и t_1 ; давление пара после турбины (в конденсаторе) P_2 .

Определить:

Термический КПД цикла $[\eta_t]$ теоретический удельный расход пара $\left[d, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}\right]$ при следующих условиях работы установки

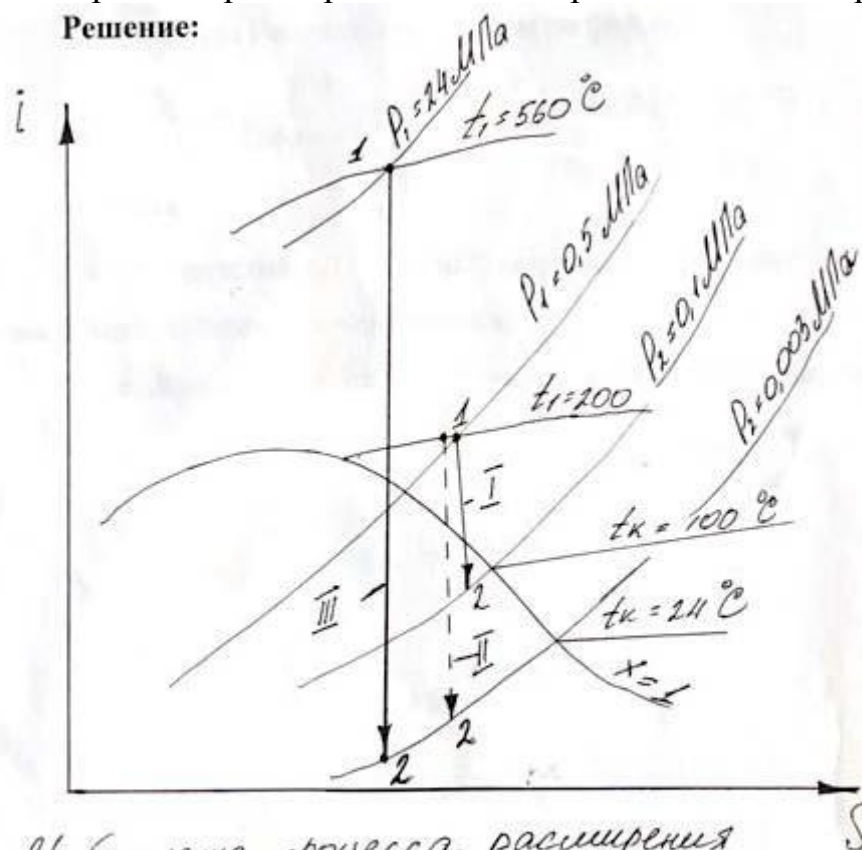
1) $P_1 - 0,5 \text{ МПа}; \quad t_1 - 200 \text{ }^\circ\text{C}; \quad P_2 - 0,1 \text{ МПа}$

2) $P_1 - 0,5 \text{ МПа}; \quad t_1 - 200 \text{ }^\circ\text{C}; \quad P_2 - 0,003 \text{ МПа}$

3) $P_1 = 24 \text{ МПа}$; $t_1 = 560 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_2 = 0,003 \text{ МПа}$

Изображение процесса расширения по 3-м вариантам в i - s диаграмме

Решение:



Изображение процесса расширения по 3-м вариантам в i - s диаграмме

Расчет режима 1

Параметры рабочего тела в характерных точках цикла по 1-аврианту;

$$i_1 = 2860 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \quad i_2 = 2560 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$t_k = 100 \text{ }^\circ\text{C}; \quad i_k = 417 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Энтальпия конденсата по таблицам водяного пара.

Работа цикла Ренкина

$$h_0 = i_1 - i_2 = 2860 - 2560 = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельный расход пара

$$d = \frac{1}{h_0} = \frac{1}{300} = 3,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кДж}}$$

Так как $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж}$, то

$$d^1 = \frac{3600}{h_0} = 12 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

К.П.Д. цикла Ренкина определяем по формуле

$$\eta_t = \frac{h_0}{i_1 - i_k} = \frac{300}{2860 - 417} = 0,123 \quad (\eta_t^1 = 12,3\%)$$

Расчет режима 2 (второй вариант: начальные параметры остаются неизменными, а конечные – снижаются)

По заданному давлению конденсации (P_2) находим параметры точки 2:

$$t_2 = 2080 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad t_k = 24 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_k = 101 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h_0 = i_1 - i_2 = 2860 - 2080 = 780 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$d^2 = \frac{3600}{h_0} = \frac{3600}{780} = 4,62 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$\eta_t = \frac{h_0}{i_1 - i_k} = \frac{780}{2860 - 101} = 0,283 \quad (\eta_t^2 = 28,3\%)$$

Расчет режима 3 (третий вариант: начальные параметры повышаются, а конечное давление остается низким по второму варианту)

Параметры пара в точке 1: $i_1 = 3360 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad t_1 = 560 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad P_1 = 24 \text{ МПа}$

Параметры пара в точке 2: $i_2 = 1840 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad P_2 = 0,003 \text{ МПа};$

$$t_k = 24 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_k = 101 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h_0 = i_1 - i_2 = 3360 - 1840 = 1520 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$d^3 = \frac{3600}{h_0} = \frac{3600}{1520} = 2,37 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$\eta_t = \frac{h_0}{i_1 - i_k} = \frac{1520}{3360 - 101} = 0,466 \quad (\eta_t^3 = 46,6\%)$$

Расчет результатов сводим в таблицу

Показатели	Сравнительные варианты		
	1	2	3
d, кг/кВт*ч	12	4,62	2,37
η_t %	12,3	28,3	46,6

Анализ показывает, что с ростом начальных и снижением конечных параметров технико-экономические характеристики цикла Ренкина повышаются:

- удельный расход пара снижается;
- термический К.П.Д. цикла растет

Практическое занятие №2

Расчет процесса адиабатного расширения водяного пара

Основные закономерности истечения газов

2.1 Теоретическая часть

Турбинные двигатели (составляющие большую часть мощных тепловых двигателей) работают за счет преобразования кинетической энергии рабочего тела в механическую энергию вращения рабочего колеса (ротора) турбинных двигателей.

Возрастание кинетической энергии происходит при ускорении потока в процессах расширения газа с уменьшением давления, осуществляемых в специальных суживающих каналах, называемых соплами. Обратный процесс, торможение потока газа, происходит в расширяющихся каналах, называемых диффузорами.

Для получения расчётных уравнений истечения рассмотрим равновесие элементарного объёма потока газа в канале переменного сечения между сечениями I и II (рисунок 3.1).

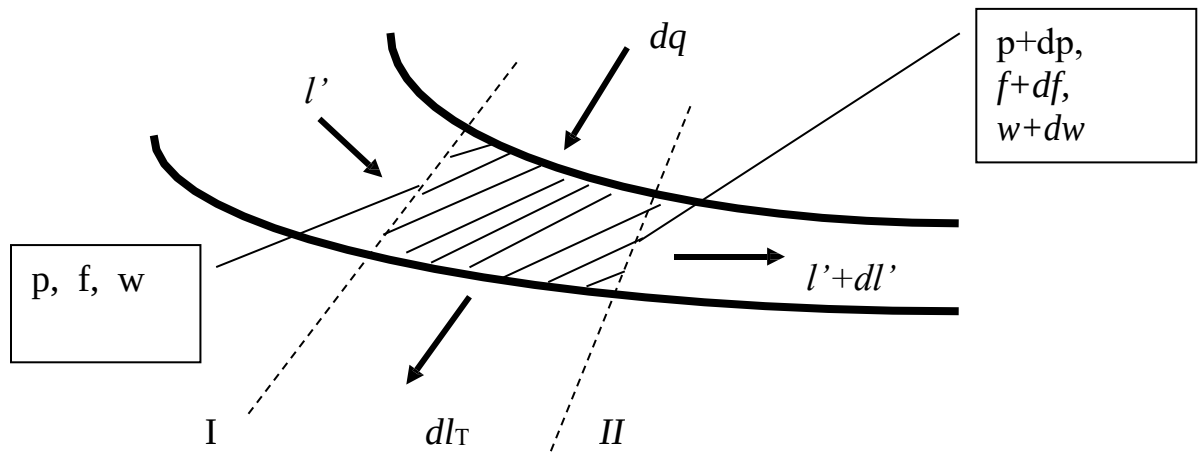


Рисунок 2.1 – Схема канала переменного сечения и изменения параметров по его длине

На рисунке 5.1 приняты следующие обозначения:

p – давление газа в сечении I, Па

f – площадь сечения I, м²;

w – скорость потока газа в сечении I, м/с;

$p+dp, f+df, w+dw$ – значение этих характеристик потока газа в сечении II с учетом их бесконечно малых изменений при перемещении от сечения I к сечению II;

dq – бесконечно малое количество тепла, подводимое к элементарному объёму потока газа из окружающей среды, Дж/кг;

dl_T – бесконечно малое количество технической работы отводимой в окружающую среду, Дж/кг;

Равновесие данного элементарного объема рассматривается в течении единичного промежутка времени равного 1 с, при расходе потока газа в каждом канале $m = 1$ кг/с.

Для упрощения примем следующие условия движения потока:

– условие установившегося движения, т. е. неизменность всех параметров по времени;

– условие неразрывности потока, т. е. постоянство расхода газа m во всех сечениях канала равно:

$$m = \frac{f \cdot w}{v}, \text{ кг/с} \quad \text{или} \quad mv = fw,$$

– условие однородности потока, т. е. постоянство всех параметров во всех точках поперечного сечения потока;

– условие отсутствия сил трения;

– условие отсутствия изменения потенциальной энергии положения (неизменность пьезометрических высот).

Тогда в общем случае, если к данному элементарному объёму подводиться количество тепла dq и им совершается полезная работа, отдаваемая во внешнюю среду dl_T (техническая работа), то известное уравнение I-го закона термодинамики для 1 кг газа (уравнение сохранения энергии) примет вид:

$$dq = du + dl_T + \frac{dw^2}{2} + dl',$$

где dl' – работа совершаемая против внешних сил (работа проталкивания);

$\frac{dw^2}{2}$ – изменение внешней кинетической энергии данного объёма газа.

Работа проталкивания равна алгебраической сумме работ внешних сил, действующих на элементарный объем в сечениях I и II. За время, равное 1 с, элементарная величина dl' равна дифференциалу изменения работы внешних сил в сечениях I и II. Работа l' определяется произведением силы, действующей в сечении (pf) на путь (w), т. е. произведением параметров (pfw), характеризующих для этих сечений. Из изложенного следует:

$$dl' = d(pfw) = d(pmv) = md(pv),$$

т. к. из уравнения (3.1) следует, что $fw = mv$ и принято, что $m = \text{const}$.

Для расхода рабочего тела $m = 1$ кг/с:

$$dl' = d(pv).$$

Подставляя значение dl' в уравнение (3.1), получим уравнение 1-го закона термодинамики для потока газа с расходом $m = 1$ кг/с:

$$dq = du + d(pv) + \frac{dw^2}{2} + dl_T.$$

После соответствующих преобразований получим:

$$dq = d(u + pv) + \frac{dw^2}{2} + dl_T,$$

и т. к. $u + pv = h$, окончательно получим уравнение 1-го закона термодинамики для потока газа в виде:

$$dq = dh + \frac{dw^2}{2} + dl_T$$

Для частного случая адиабатного истечения газа (или пара) в канале без совершения работы (т. е. $dq=0$ и $dl_T=0$) имеем уравнение I-го закона в таком виде:

$$dh + \frac{dw^2}{2} = 0.$$

Это уравнение используют при расчёте процессов истечения газа в соплах и диффузорах.

Кинетическая энергия потока газа всегда может быть превращена в полезную работу и поэтому называется располагаемой работой:

$$dl_{\text{расп}} = \frac{dw^2}{2}.$$

При $dl_T=0$, используя уравнение 1-го закона термодинамики, выраженное через энтальпию $dq=dh-vdp$, а так же уравнение, получим после преобразования:

$$dl_{\text{расп}} = \frac{dw^2}{2} = dq - dh = -vdp.$$

Разные знаки приращения dw и dp в уравнении (3.9) показывают, что при $dp<0$ и $dW>0$ $wdw = -vdp$, т. е. скорость растёт при уменьшении давления и наоборот.

Интегрируя полученное уравнение (3.9) для процесса расширения газа от состояния 1 до состояния 2, получим:

$$l_{\text{расп}} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} = q - (h_2 - h_1) = -\int_{p_1}^{p_2} vdp$$

Из дифференциального уравнения политропы в диаграмме pV следует:

$$npdv = -vdp,$$

откуда:

$$l_{\text{расп}} = n \int_{v_1}^{v_2} pdv = \frac{n}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2),$$

но, т. к. работа расширения газа в процессе равна:

$$l_{\text{расп}} = \int_{v_1}^{v_2} pdv,$$

то

$$l_{\text{расп}} = n l_{\text{расп}}.$$

Следовательно, располагаемая работа в n раз больше работы, получаемой при простом расширении газа в политропном процессе. Для частного случая адиабатного течения газа $dq=0$ и $n=k$, получим из уравнения (3.9):

$$dl_{\text{расп}} = \frac{dw^2}{2} = -dh.$$

Интегрируя от состояния 1 до состояния 2, получим:

$$l_{\text{расп}} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} = h_1 - h_2 = k l_{\text{расп}};$$

$$l_{\text{расп}} = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2).$$

Из уравнений (3.10), (3.11) и (3.14) определяют скорость и расход в выходном сечении сопла при адиабатном истечении газа:

$$w_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) + w_1^2} = \sqrt{2(h_1 - h_2) + w_1^2}.$$

Пренебрегая величиной w_1 и преобразуя, т. к. при истечении обычно известен перепад давлений, получим:

$$w_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}.$$

Расчет истечения водяного пара

Процессы истечения водяного пара рассчитываются с помощью таблиц и диаграмм состояния водяного пара с использованием параметра h по формулам, полученным из уравнения первого закона термодинамики:

$$w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + w_1^2},$$

$$w_K = \sqrt{2(h_1 - h_K)};$$

где значение h - в Дж/кг определяется из диаграмм и таблиц.

Эти уравнения совместно с уравнением пригодны, только если истечение происходит в области перегретого пара при $\kappa = 1,3 = \text{пост.}$

Если процесс адиабатного истечения водяного пара начинается в области перегретого пара, а заканчивается в области влажного пара, то расчет ведется методом последовательного приближения.

Так как при этом h_K для водяного пара заранее неизвестно из-за неизвестности величины k при $\beta = \beta_K$, расчет ведется методом приближения, в следующем порядке.

Задается $k=1,135 \div 1,3$ и определяется величина β_K из уравнения:

$$\beta_K = \frac{p_K}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Затем определяется p_K из таблиц или диаграмм (при $s_K = s_1$), определяется v_K и находится новое значение k по уравнению адиабаты:

$$k = \frac{\lg \frac{p_1}{p_K}}{\lg \frac{v_K}{v_1}}.$$

При несовпадении принятого и полученного значения величины k расчет повторяют до получения погрешности не более $\pm 2\%$.

Расход при истечении водяного пара из суживающихся сопел определяется из формулы неразрывности потока:

$$m = f \frac{w_2}{v_2}, \quad m_K = m_{\text{max}} = f_K \frac{w_K}{v_K}.$$

Пример

Расчет процесса адиабатного расширения водяного пара

Рабочее тело- водяной пар, имеющий в начальном состоянии давление P_1 и температуру t_1 . Масса рабочего тела – M . Пар расширяется до давления P_2 .

Определить:

- 1) Удельный объём и энтальпию пара в начальном состоянии;
- 2) температуру, удельный объём и энтальпию пара в конечном состоянии;
- 3) значения внутренней энергии пара до и после расширения;
- 4) работу расширения.

Построить процесс адиабатного расширения водяного пара в диаграмме i - S .

Исходные данные:

$t_1 = 430^\circ\text{C}$; $P_1 = 10 \text{ МПа}$
 $M = 5 \text{ кг}$; $P_2^{\text{раб}} = 0,003 \text{ МПа}$

Решение:

Изображение процесса в i - S диаграмме



Построить процесс в диаграмме i - S : точку (1) находим на пересечении изобары P_1 с изотермой t_1 :

$$1) i_1 = 3180 \text{ кДж/кг}; \quad \vartheta_1 = 0,028 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Точку (2) находим на пересечении адиабаты выходящей из точки (1) и изобары P_2 :

$$2) \quad t_2 = 24 \text{ }^\circ\text{C}; \quad i_2 = 1860 \text{ кДж/кг}; \quad \vartheta_2 = 34 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

3) Определяем внутреннюю энергию пара до и после процесса расширения

$$U_1 = i_1 - P_1 \cdot \vartheta_1 = 3180 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^6 \cdot 0,028 = 2900 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 2900 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$U_2 = i_2 - P_2 \cdot \vartheta_2 = 1860 \cdot 10^3 - 0,003 \cdot 10^6 \cdot 34 = 1758 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1758 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

4) Работу расширения в процессе адиабатного истечения пара находим по формуле

$$L = h_0 \cdot M = 1320 \cdot 5 = 6600 \text{ кДж}$$

Где $h_0 = i_1 - i_2 = 3180 - 1860 = 1320 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; удельная работа $M=5 \text{ кг}$ — масса пара по заданию.

Практическое занятие 3

Определение скорости истечения водяного пара из силовых устройств

3.1 Теоретическая часть

Истечение газов через комбинированные сверхзвуковые сопла

Так как в суживающемся сопле не может быть достигнута скорость истечения больше критической (или звуковой), для получения скорости истечения больше критической (сверхзвуковой) необходимо рассмотреть закономерности изменения формы сечения канала при изменении перепада давления (β) и скорости истечения (w_2).

Представим уравнение неразрывности в логарифмической форме и продифференцируем его.

Из уравнения $m\upsilon = fw$ при $m = 1$ имеем:

$$\ln \upsilon = \ln f + \ln w ,$$

откуда после дифференцирования получим:

$$\frac{df}{f} = \frac{d\upsilon}{\upsilon} - \frac{dw}{w}$$

Из уравнения адиабаты $p\upsilon^K = C = \text{пост.}$ после логарифмирования имеем:

$$\ln p + k \ln \upsilon = \ln C ,$$

откуда после дифференцирования получим:

$$\frac{dp}{p} + k \frac{d\upsilon}{\upsilon} = 0 \text{ и } \frac{d\upsilon}{\upsilon} = -\frac{1}{k} \frac{dp}{p} .$$

Из уравнения I-го закона термодинамики для адиабатного потока газа:

$$\frac{dw^2}{2} + dh = 0 ,$$

имеем:

$$\frac{2wdw}{2} = -dh .$$

Но т. к. при $dq = 0$ $dh = \upsilon dp$, то:

$$wdw = -\upsilon dp .$$

Разделив обе части уравнения (6.3) на w^2 , получим:

$$\frac{dw}{w} = -\frac{\upsilon}{w^2} dp .$$

Подставляя полученные выражения $\frac{d\upsilon}{\upsilon}$ из уравнения (6.1) и $\frac{dw}{w}$ из уравнения (6.4) в продифференцированное уравнение неразрывности, получим:

$$\frac{df}{f} = -\frac{1}{k} \frac{dp}{p} + \frac{\upsilon}{w^2} dp ,$$

откуда после преобразований получим уравнение, описывающее зависимость изменения площади сечения канала истечения (форма канала) от параметров потока:

$$\frac{df}{f} = \frac{kp\nu - w^2}{kp w^2} dp.$$

Анализ полученного выражения (5.39) для процессов истечения газов в каналах позволяет сделать вывод, что при снижении давления по ходу движения в канале ($dp < 0$) и, соответствующего, увеличения скорости движения потока ($dw > 0$), по уравнению (5.9) знак изменения площади (формы) сечения канала (df) будет зависеть от знака суммы $(kp\nu - w^2)$.

При $kp\nu - w^2 > 0$ или $w < \sqrt{kp\nu}$ и $w < w_k$, где $w_k = \sqrt{kp_k \nu_k}$ - критическая (звуковая) скорость течения в потоке. Из уравнения (6.6) следует, что при этом $df < 0$, т. е. при скорости истечения w_2 меньше критической скорости истечения w_k и, соответственно, $\beta > \beta_k$ и $p_2 < p_k$, площадь сечения канала должна постоянно уменьшаться (суживающийся канал-сопло).

При $kp\nu - w^2 < 0$ или $w > \sqrt{kp\nu}$ и $w > w_k$. При этом условии из уравнения (6.6) следует, что $df > 0$, т. е. если скорость истечения w_2 больше критической скорости истечения w_k и, соответственно, $\beta < \beta_k$ и $p_2 > p_k$, то площадь сечения канала должна постоянно увеличиваться (расширяющаяся часть канала-сопла).

Из изложенного следует, что для достижения сверхкритической скорости истечения канал-сопло должен иметь комбинированную форму. Начальный короткий участок сопла, где скорость не достигает критической, должен иметь суживающуюся форму, а после достижения критической скорости сопло переходит в длинный расширяющийся конический участок. Такое комбинированное сопло называется соплом Лавалья (рисунок 6.1).

При этом в узком сечении скорость потока остается равной критической w_k , а давление $-p_k$. В расширяющейся части происходит дальнейшее падение давления до $p_2 < p_k$ и увеличение скорости газа до $w_2 > w_k$. Выходная скорость течения газа определяется в зависимости от полного перепада давлений $\frac{p_2}{p_1} > \beta_k$ по формуле для w_2 .

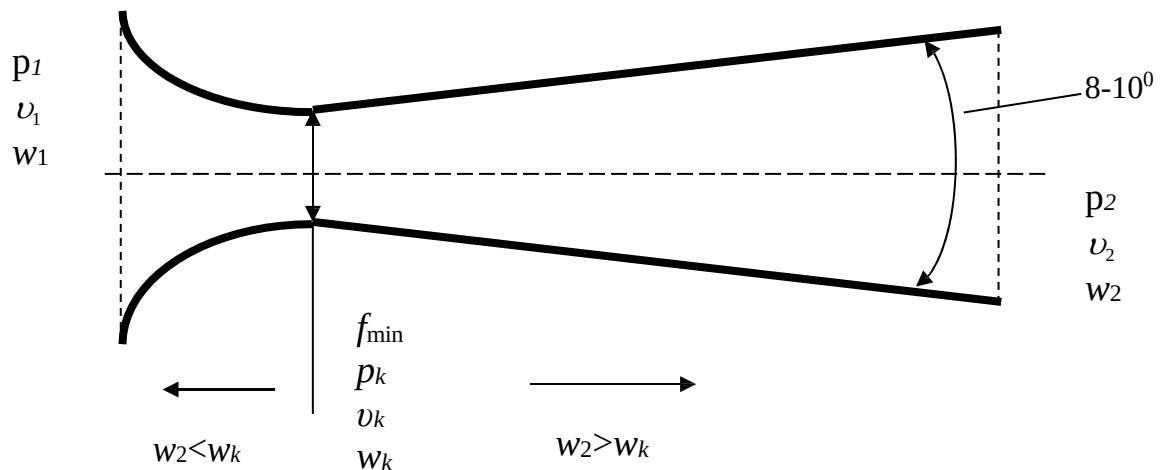


Рисунок 3.1 – Схема комбинированного сопла (сопла Лавалья)

Максимальный расход газа через такое сопло определяется расходом через узкое (критическое) сечение $f_{\min}$ из уравнения неразрывности потока и равен:

$$m_{\max} = f_{\min} \frac{w_K}{v_K},$$

где w_K – критическая звуковая скорость истечения, определяемая по уравнению (5.26);

v_K – удельный объем газа при критических параметрах p_K , определяемый из уравнения адиабаты.

Площадь выходного сечения комбинированного сопла определяется по величине этого максимального расхода из уравнения неразрывности потока:

$$f_2 = \frac{m}{w_2} v,$$

где w_2 – максимальная скорость в выходном сечении комбинированного сопла, определяется по уравнению (6.7) при $p_2 < p_K$;

v_2 – удельный объем газа в выходном сечении комбинированного сопла, определяется по уравнению адиабаты.

Длина конического участка комбинированного сопла определяется из условия, что угол конусности не должен быть больше $8-10^\circ$, исходя из изменения диаметра сопла от $d_{\min}$ в горловине до d_2 в выходном сечении сопла.

Пример решения задач

Определение скорости истечения водяного пара из силовых устройств.

Определить термическую скорость истечения водяного пара из суживающегося сопла и сопла Лавалья. Начальное давление и температура пара: P_1 и t_1 . Давление среды, в которую происходит истечение пара, P_2 .

Исходные данные:

$P_1=0,8$ МПа; $t_1=220$ °С; $P_2=0,008$ МПа

1. Расчет суживающегося сопла

1. Определяем положение точки критического состояния

$\beta_{кр} = 0,546$; $k=1,3$ – для перегретого пара

Отношение давлений

$\frac{P_2}{P_1} = \frac{0,008}{0,8} = 0,01$, то есть оно меньше критического соотношения давлений (0,546). Следовательно, скорость истечения для суживающегося сопла будет равна критической.

$$P_{кр} = P_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр} = 0,8 \cdot 0,546 = 0,44 \text{ МПа}$$

На диаграмме i - S находим точку пересечения $P_{кр}=0,44$ МПа и адиабаты 1-2:
 $i_{кр} = 2750$ кДж/кг

Скорость истечения определяем по формуле

$$\omega_{кр} = 44,76 \cdot \sqrt{i_1 - i_{кр}} = 44,76 \sqrt{2885 - 2750} = 520 \text{ (м/с)}$$

2. Расчет сопла Лавалия

В силу особенности конструкции сопла (после суживающейся части имеется расширяющийся конус) в нем используется полностью располагаемой теплоперепад.

Поэтому скорость истечения определяется по формуле

$$\omega = 44,76 \cdot \sqrt{i_1 - i_2} = 44,76 \sqrt{2885 - 2160} = 1205 \text{ (м/с)}$$

где $i_2 = 2160$ кДж/кг – состояние пара в конце адиабатического расширения при $P_2=0,008$ МПа.

Полученная расчетная скорость превышает критическую.

Заданно состояние пара: $p=1,6$ МПа; $x=0,96$.

Определить остальные параметры, пользуясь диаграммой.

Решение:

На диаграмме i - s находим точку А, характеризующую данное состояние. Проектируя её соответственно на ось ординат и ось абсцисс, находим значение $i_x = 2716$ кДж/кг и $s_x = 6,26$ кДж/(кг·К). величина удельного объема пара определяется по значению изохоры, проходящей через точку А: $v_x = 0,12$ м³/кг. Для определения температуры пара нужно от точки А подняться по изобаре $p=1,6$ МПа до верхней пограничной кривой. Через эту точку проходит изотерма $t = 202$ °С; эта температура и является температурой насыщенного пара при давлении 1,6 МПа.

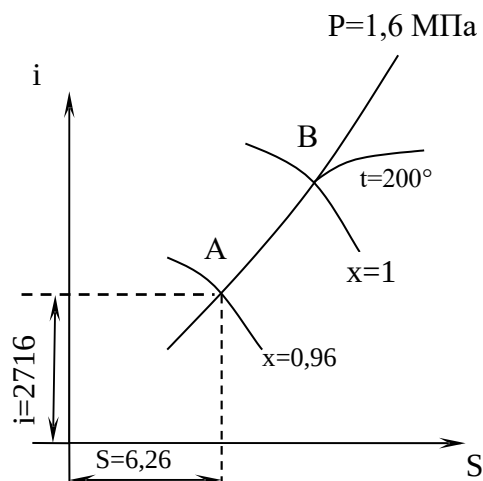


Рисунок 6.2 – Определение параметров пара в i - s диаграмме

Сопоставим полученные значения со значениями этих же параметров, вычисленных при помощи таблиц водяного пара и соответствующих формул. По таблице XIV для пара при давлении 1,6 МПа находим:

$$t_n = 201,36 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad v'' = 0,1238 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$i' = 858,3 \text{ кДж/кг}; \quad r = 1935 \text{ кДж/кг};$$

$$s' = 2,344 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}; \quad s'' = 6,422 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Определяем энтальпию пара:

$$i_x = i' + r x = 858,3 + 0,96 \cdot 1935 = 2715,9 \text{ кДж/кг}.$$

Вычисляем энтропию пара:

$$s_x = s' + (s'' - s') x = 2,344 + (6,422 - 2,344) 0,96 = 6,2589 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Находим значение удельного объема:

$$v_x = v'' x = 0,1238 \cdot 0,96 = 0,1188 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Как видно, совпадение значений параметров вполне удовлетворительное.

Контрольные задачи

Задача 6.1. Сухой насыщенный водяной пар расширяется адиабатно от давления 1 МПа до 0,05 МПа. Определить степень сухости в конце расширения. Задачу решить при помощи диаграммы i s и аналитическим путем.

Задача 6.2. Найти по диаграмме i s адиабатный перепад теплоты и конечное состояние при расширении пара от 1,4 МПа и 300° С до 0,006 МПа.

Задача 6.3. Пар при давлении $p_1 = 1,2$ МПа и $x_1 = 0,9$ дросселируется до $p_2 = 0,1$ МПа. Определить конечную сухость пара.

Вопросы к практическому занятию

1. Основные закономерности истечения и дросселирования водяного пара.

2. Каково содержание и применение паровых таблиц? Диаграммы $I - s$ водяного пара

Практическое занятие 4

Расчет процесса горения

4.1 Теоретическая часть.

Элементарный состав топлива.

Фактически твердое и жидкое топливо состоит из сложных химических соединений указанных элементов и распадается на простейшие компоненты лишь в процессе горения. Однако, т.к. количество выделяющегося при сгорании топлива тепла и состав продуктов сгорания определяется только весовыми долями содержания простейших компонентов (C, H, S, O, N, W), для практических расчетов используются только элементарный состав топлива, определяемый техническим анализом.

Исходный состав топлива (в том виде, как оно поступает в топку котла) называется рабочим элементарным составом, он обозначается (P) и задаётся в % по весу $C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100\%$.

Сухой массой называется состав топлива без учета влаги

$$C^c + H^c + S^c + N^c + O^c + A^c = 100\%.$$

Пересчет рабочей массы в сухую массу производится для каждого элемента по формуле типа

$$C^c = C^P \frac{100}{100 - W^P}.$$

Горючей массой называется состав топлива без учета влаги и золы

$$C^g + H^g + O^g + S^g + N^g = 100\%.$$

Соответствующая формула пересчета для каждого элемента будет по типу

$$C^g = C^P \frac{100}{100 - (A^P + W^P)}.$$

Значение рабочего состава для всех видов топлива приводится в справочниках. Технические расчеты выполняются только на рабочий состав, остальные используются для классификации топлив и их сравнения.

Одной из главных характеристик качества топлива является теплота сгорания топлива, под которой понимают количество тепла выделяющееся при сгорании единицы массы топлива, измеряемая в МДж/кг(нм³).

Высшей теплотой сгорания (Q^P_v) называют полное количество тепла выделяющееся при сгорании единицы массы (1 кг или 1 нм³) топлива и охлаждении полученных продуктов сгорания топлива до исходной температуры.

Низшей теплотой сгорания (Q^P_n) называют количество тепла выделяющееся при сгорании 1 кг (1 нм³) топлива за вычетом тепла, израсходованного на испарение влаги, содержащейся в топливе.

$Q_{рн}$ является фактически используемым количеством тепла, выделяющемся при сгорании топлива в промышленных установках, т. к. теплота испарения паров воды, содержащихся в дымовых газах – продуктах сгорания, обычно не может быть использована.

$Q_{рв}$ определяют в лабораториях с помощью прибора, называемого калориметром.

$Q_{рн}$ определяют расчетом, вычитая теплоту испарения водяных паров по формуле.

$$Q_{рн} = Q_{рв} - 0.0252 (9H^p + W^p), \text{ МДж/кг.}$$

Расчетная низшая теплота сгорания может быть определена по формуле Менделеева.

$$Q_{рн} = 340 C^p + 1030 H^p - 109 (O^p - S^p_{л}) - 25.2 W^p, \text{ кДж/кг.}$$

Значение величины $Q_{рн}$ и $V^{20\%}$ для разных топлив приводятся в справочник вместе с рабочим составом.

Т.к. различные виды топлива имеют сильно различающуюся теплоту сгорания, то для сравнения эффективности использования различных видов топлива в различных установках вводится понятие условного топлива, низшая теплота сгорания для которого принята равной 29.33 МДж/кг (или 7000 ккал/кг).

Тепловым (или калорийным) коэффициентом для любого топлива называют величину

$$\Theta = \frac{Q_{рн}^p}{29.3}.$$

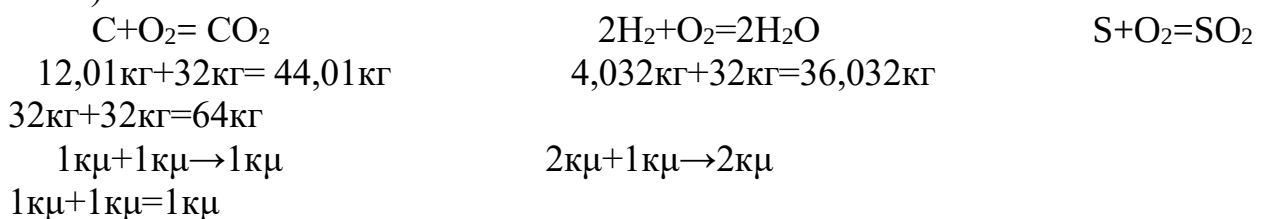
Пересчет действительного рабочего расхода топлива в соответствующий

расход условного топлива производится по формуле: $V_y = V_p \Theta = V_p \frac{Q_{рн}^p}{29.3}$

Исходные данные для расчета процесса горения.

Расчет процессов горения производится на 1кг (1нм³) сжигаемого топлива по его рабочему составу.

Основой расчета является стехиометрическое соотношение реакции горения горючих элементов топлива (для газов, реакции горения горючих газов).



Все объемы используемые и получаемые в расчетах принимаются при нормальных условиях (0°C, 760мм рт.ст., $V_{км} = 22.41\text{м}^3$ и т.д.). Задачей расчетов является определение необходимого для горения количества окислителя (воздуха), состава и количества образующихся газообразных продуктов сгорания (дымовых газов), а так же теплосодержание дымовых газов в зависимости от их температуры.

4.2 Пример решения задач

Задано топливо и паропроизводительность котельного агрегата D . Определить состав рабочей массы топлива, и его низшую теплоту сгорания, способ сжигания топлива, тип топки, значение коэффициента избытка воздуха в топке α_t и на выходе из котлоагрегата α_{yx} по величине присоса воздуха по газовому тракту ($\Delta\alpha$); найти теоретически необходимое количества воздуха для сгорания 1 кг (1 м^3) топлива и объёмы продуктов сгорания при α_{yx} , а также энтальпию уходящих газов при заданной температуре уходящих газов t_{yx} и d_{yx} .

Исходные данные:

$$D = 75 \text{ т/ч}; \quad O_2 = 0;$$

$$\Delta\alpha = 0,20; \quad CO = 0;$$

$$\alpha_t = 1,1; \quad H_2 = 0;$$

$$t_{yx} = 140^\circ\text{C}; \quad H_2S = 0;$$

Состав рабочей массы топлива

$$CH_4 = 84,5\%; \quad C_2H_6 = 3,8\%; \quad C_3H_8 = 1,9\%; \quad C_4H_{10} = 0,9\%; \quad C_5H_{12} = 0,3\%;$$

$$N_2 = 7,8\%; \quad CO_2 = 0,8\%; \quad Q_n^p = 35,8 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$$

Решение:

Коэффициент избытка воздуха на выходе из котла

$$\alpha_{yx} = \alpha_t + \Delta\alpha = 1,1 + 0,2 = 1,3$$

Теоретически необходимое количества воздуха для сжигания 1 м^3 газа определяем по формуле

$$V^o = 0,0478 \left[0,5(CO \cdot H_2) + 1,5 \cdot H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] = 0,0478 \left[0,5 \cdot (0 + 0) + 1,5 \cdot 0 + 2 \cdot 84,5 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 3,8 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 1,9 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,9 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,3 \right] = 0,0478 \cdot (169 + 13,3 + 9,5 + 5,85 + 2,4) = 9,56 \frac{\text{м}^3_{\text{возд}}}{\text{м}^3_{\text{газа}}}$$

Объём 2-х атомных газов (N_2)

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + \frac{N_2}{100} = 0,79 \cdot 9,56 + \frac{7,8}{100} = 7,63 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Объём трехатомных газов (CO_2)

$$V_{CO_2}^o = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \sum m(C_m H_n)] = 0,01 \cdot [0,8 + 0 + 0 + 84,5 + 2 \cdot 3,8 + 3 \cdot 1,9 + 4 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,3] = 1,037 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Объём водяных паров (H_2O)

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \cdot \left[H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n \right] + 0,0161 \cdot V^o = 0,01 \cdot [0 + 0 + 2 \cdot 84,5 + 3 \cdot 3,8 + 4 \cdot 1,9 + 5 \cdot 0,9 + 6 \cdot 0,3] + 0,0161 \cdot 9,56 = 2,097 \frac{м^3}{м^3}$$

Объём сухих газов

$$V_{с.г.}^o = V_{CO_2}^o + V_{N_2}^o = 1,037 + 7,63 = 8,667 \frac{м^3}{м^3}$$

Полный объём продуктов сгорания

$$V_r^o = V_{с.г.}^o + V_{H_2O}^o = 8,667 + 2,059 = 10,726 \frac{м^3}{м^3}$$

Определяем энтальпию уходящих газов при $t_{yx} = 140$ °С и $\alpha_{yx} = 1,3$

$$I_{yx} = [V_{CO_2}^o \cdot C'_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot C'_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot C'_{H_2O} + (\alpha_{yx} - 1) \cdot V^o \cdot C'_{воз}] \cdot t_{yx} = [1,037 \cdot 1,745 + 7,63 \cdot 1,297 + 2,059 \cdot 1,513 + (1,3 - 1) \cdot 9,56 \cdot 1,32] \cdot 140 = 2605 \frac{КДж}{м^3}$$

$$\text{Где } C'_{CO_2} = 1,745 \frac{КДж}{м^3 \cdot К}; C'_{N_2} = 1,297 \frac{КДж}{м^3 \cdot К}; C'_{H_2O} = 1,513 \frac{КДж}{м^3 \cdot К}; C'_{воз} = 1,32 \frac{КДж}{м^3 \cdot К}$$

- средние объёмные теплоемкости компонентов смеси при $t_{yx} = 140$ °С.

Вопрос: Как зависит энтальпия уходящих газов от коэффициента избытка воздуха α_{yx} и температуры t_{yx} .

1. Повышение температуры t_{yx} , как показывает анализ формулы для определения I_{yx} , приводит к увеличению энтальпии уходящих газов. Кроме того, повышение t_{yx} вызывает увеличение значений удельных объёмных теплоёмкостей компонентов, что также способствует возрастанию энтальпии уходящих газов.

2. Увеличение коэффициента избытка воздуха (α_{yx}) приводит к возрастанию объёма продуктов сгорания, что приводит к возрастанию энтальпии уходящих газов.

Практическое занятие 5

Составление уравнения теплового баланса котельного агрегата

5.1 Теоретическая часть

1. Общее уравнение теплового баланса ТГ.

Тепловым балансом ТГ называется равенство между количеством тепла, вносимого в топку ТГ, и суммой полезно использованного тепла и всех потерь ТГ.

Тепловой баланс ТГ составляется на 1 кг сжигаемого топлива по его рабочему составу. Основное уравнение $Q_p = Q_1 + \sum Q_{\text{пот}}$, Дж/кг.т.

Где Q_p - располагаемое тепло,

Q_1 - полезно использованное тепло в ТГ,

$\sum Q_{\text{пот}}$ - сумма потерь тепла в ТГ.

Располагаемое тепло определяется из уравнения

$$Q_p = Q_h + Q_{\text{вн.т.}} + Q_t + Q_{\phi},$$

Где $Q_{\text{вн.т.}}$ - внешнее тепло, вносимое с воздухом подогретым вне ТГ (паровой калорифер),

Q_t - физическое тепло топлива, равное $Q_t = c_t t_t$, Дж/кг.т.;

Q_{ϕ} - тепло, вносимое в топку с паром при паровых форсунках или воздушном дутье, равное $Q_{\phi} = d_{\phi} (i_p - 2500)$, Дж/кг.т.,

Где d_{ϕ} - удельный расход пара, кг/кг.т.

Полезное тепло ТГ определяют из уравнения

$$Q_1 = \frac{1}{B_p} [D_p (i_p + i_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кв}} - i_{\text{пв}})], \text{ Дж/кг.т.,}$$

B_p - расход топлива на ТГ, кг/с;

D_p - расход пара (паропроизводительность ТГ), кг/с.;

$D_{\text{пр}}$ - расход продувной воды из ТГ, кг/с.;

i_p - теплосодержание пара вырабатываемого в ТГ, Дж/кг.т.;

$i_{\text{кв}}$ - теплосодержание котловой воды (продувки), Дж/кг.т.;

$i_{\text{пв}}$ - теплосодержание питательной воды ТГ, Дж/кг.т.

Для водогрейных ТГ

$$Q_1 = \frac{G_{\text{гв}}}{B_p} (i_{\text{гв}}^{\text{ввых}} - i_{\text{гв}}^{\text{вх}}),$$

где $G_{\text{гв}}$ - расход горячей воды через водогрейный ТГ, кг/с;

$i_{\text{гв}}^{\text{вх}}, i_{\text{гв}}^{\text{ввых}}$ - теплосодержание горячей воды на входе и выходе водогрейного ТГ, Дж/кг.

Сумма тепловых потерь ТГ определяется из уравнения

$$\sum Q_{\text{пот}} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_2 - потеря тепла с уходящими газами ТГ, Дж/кг.т.;

Q_3 - потеря тепла от химической неполноты горения топлива, Дж/кг.т.;

Q_4 - потеря тепла от механической неполноты горения топлива, Дж/кг.т.;

Q_5 - потеря тепла в окружающую среду через ограждающие поверхности ТГ,

Q_6 - потеря тепла с физической теплотой шлаков и золы, удаляемых из ТГ.

Уравнение теплового баланса в относительных единицах будет иметь вид

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad \%$$

где $g_1 = \frac{Q_1}{Q_p} \cdot 100\%$ и т. д.

2. Коэффициент полезного действия ТГ и расход топлива.

Коэффициентом полезного действия (КПД) теплогенератора (брутто)

называется отношение $\eta_{Т.Г.}^{bp} = \frac{Q_1}{Q_p} 100\%$.

Из уравнения теплового баланса в относительных единицах

$$\eta_{Т.Г.}^{bp} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$$

Расход топлива на работу теплогенератора, определяется подстановкой в уравнение КПД значения величины Q_1 из уравнения теплового баланса.

$$B = \frac{D_{II}(i_n - i_{nb}) + D_{np}(i_{кв} - i_{нс})}{Q_p^p \cdot \eta_{Т.Г.}^{bp}} 100, \quad \text{кг/с.}$$

Для водогрейных ТГ, расход топлива равен

$$B = \frac{G_{ГВ}(i_{ГВ}^{БЫХ} - i_{ГВ}^{ВХ})}{Q_p^p \cdot \eta_{ТГ}^{bp}} \cdot 100, \quad \text{кг/с.}$$

Расчетный расход топлива равен

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right).$$

Величина КПД ТГ определяется двумя способами. Для работающего ТГ при проведении теплотехнических испытаний определяется КПД ТГ по прямому балансу.

Для проектируемого ТГ или при выполнении поверочного расчета, величина КПД ТГ определяется по обратному балансу.

5.2 Пример решения задач

Из условий предыдущей задачи определить потерю теплоты с уходящими газами q_2 , составить тепловой баланс котельного агрегата и определить его КПД (брутто). Определить часовой расход натурального и условного топлива, испарительность натурального топлива (непрерывной продувкой пренебречь). Давление пара в котле $P_{п.к.}$, температура перегретого пара $t_{п.п.}$ и температура питательной воды $t_{п.в.}$

Исходные данные:

$P_{п.к.} = 4 \text{ МПа}$; $t_{п.п.} = 440 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{п.в.} = 215 \text{ }^\circ\text{C}$

$D = 75 \text{ т/ч}$; $I_{ух} = 2605 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – из предыдущей задачи

Решение:

Составляем уравнение теплового баланса котельного агрегата

$$Q_H^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \text{ или}$$

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5;$$

$$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{брутто}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) - \text{КПД котлоагрегата}$$

$$q_2 = \frac{I_{\text{ух}} - I_{\text{воз}}}{Q_H^P} \cdot (100 - q_4) = \frac{2605 - 492}{35800} \cdot 100\% = 5,9\% - \text{потери тепла с}$$

уходящими газами, где

$$I_{\text{воз}} = \alpha_{\text{ух}} \cdot V^0 \cdot C'_{\text{воз}} \cdot t_{\text{воз}} = 1,3 \cdot 9,56 \cdot 1,319 \cdot 30 = 492 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} - \text{энтальпия}$$

воздуха, поступающего в котлоагрегат при температуре $t_{\text{воз}} = 30^\circ\text{C}$;

$$C'_{\text{воз}} = 1,319 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}} - \text{удельная объёмная теплоёмкость воздуха};$$

$q_4 = 0$ – потери тепла от механической неполноты сгорания при сжигании газообразного топлива;

$$Q_H^P = 35800 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} - \text{низшая теплота сгорания газа по данным предыдущей задачи.}$$

$q_3 = 0,5\%$ - потери теплоты от химической неполноты сгорания;

$q_5 = 0,75\%$ - потери теплоты на наружное охлаждение.

$$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{брутто}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) = 100 - (5,9 + 0,5 + 0,75) = 92,85\%$$

Часовой расход натурального топлива определяем по формуле

$$B = \frac{D \cdot [(i_{\text{п.п}} - i_{\text{п.в}}) + \frac{P}{100} \cdot (i_{\text{к.в}} - i_{\text{п.в}})]}{Q_H^P \cdot \eta_{\text{к.а.}}^{\text{брутто}}}$$

Так как по условию задачи непрерывной продувкой можно пренебречь ($P=0$), то формула принимает вид

$$B = \frac{D \cdot (i_{\text{п.п}} - i_{\text{п.в}})}{Q_H^P \cdot \eta_{\text{к.а.}}^{\text{брутто}}} = \frac{75 \cdot 10^3 \cdot (3320 - 920,7)}{35800 \cdot 0,9285} = 5413,5 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

где $i_{\text{п.п}} = 3320$ кДж/кг – энтальпия перегретого пара при $P_{\text{п.п.}} = 4$ МПа и $t_{\text{п.п.}} = 440^\circ\text{C}$;

$i_{\text{п.в}} = 920,7$ кДж/кг – энтальпия питательной воды при $t_{\text{п.в.}} = 215^\circ\text{C}$;

$i_{\text{к.в.}} = 1087,5$ кДж/кг – энтальпия котловой воды при давлении в котле $P_{\text{п.п.}} = 4$ МПа.

Часовой расход условного топлива составит

$$B_{\text{усл.}} = B \cdot \mathfrak{Z} = 5413,5 \cdot 1,222 = 6614,5 \frac{\text{кг}}{\text{час}},$$

$$\text{где } \mathfrak{Z} = \frac{Q_H^P}{Q_{\text{усл.т}}} = \frac{35,8}{29,3} = 1,222 - \text{коэффициент пересчета}$$

$Q_{\text{усл.т}} = 29,3$ МДж/кг – теплота сгорания условного топлива

Определяем испарительность натурального и условного топлива

$$И = \frac{D}{B} = \frac{75 \cdot 10^3}{5413,5} = 13,85 \frac{\text{кг пара}}{\text{м}^3 \text{ газа}}$$

$$I_{\text{усл}} = \frac{D}{B_{\text{усл}}} = \frac{75 \cdot 10^3}{6614,5} = 11,34 \frac{\text{кг пара}}{\text{кг усл. топл.}}$$

Вопрос: Как измениться часовой расход натурального и условного топлива, если в расчетах учесть непрерывную продувку, приняв ее $P = 3\%$.

$$B' = \frac{D \cdot \left[(i_{\text{пп}} - i_{\text{пв}}) + \frac{P}{100} (i_{\text{кв}} - i_{\text{пв}}) \right]}{Q_{\text{н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{кпл}}^{\text{брутто}}} = \frac{75 \cdot 10^3 \left[(2220 - 920,7) + \frac{3}{100} (1087,5 - 920,7) \right]}{35800 \cdot 0,9285} = 5425 \frac{\text{М}^3}{\text{час}} -$$

расход натурального топлива

$$\Delta B = B' - B = 5425 - 5413,5 = 11,5 \frac{\text{М}^3}{\text{час}} - \text{увеличение расхода топлива с учетом продувки.}$$

$$B'_{\text{усл.}} = B' \cdot \Xi = 5425 \cdot 1,222 = 6629,4 \frac{\text{кг}}{\text{час}} - \text{расход условного топлива с учетом продувки.}$$

$$\Delta B_{\text{усл}} = B'_{\text{усл.}} - B_{\text{усл}} = 6629,4 - 6614,5 = 14,9 \frac{\text{кг}}{\text{час}} - \text{увеличение расхода условного топлива}$$

Практическое занятие №6.
Схемы использования гидравлической энергии
Теоретическая часть

Преобразование гидроэнергетических ресурсов речного водотока в электрическую энергию осуществляется на гидроэлектрических станциях.

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

Гидроэлектрическая станция – это комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия водотока преобразуется в электрическую энергию.

ГЭС состоит из гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание сосредоточенного напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в электрическую энергию.

Основные типы гидроэнергетических установок

По напору ГЭС делятся на высоконапорные (более 80 м), средненапорные (от 25 до 80 м) и низконапорные (до 25 м).

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

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

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

Как уже отмечалось, ГЭС – это предприятие, на котором гидравлическая энергия водотока преобразуется в электрическую.

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются **плотина**, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, то есть напор, и здание ГЭС, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование. В случае необходимости строятся водосбросные и судоходные сооружения, рыбопропускные сооружения и т. д.

Вода под действием силы тяжести по водоводам движется из верхнего бьефа в нижний, вращая рабочее колесо турбины. Гидравлическая турбина соединена валом с ротором электрического генератора. Турбина и генератор вместе образуют **гидрогенератор**.

В турбине гидравлическая энергия преобразуется в механическую энергию вращения на валу агрегата, а генератор преобразует эту энергию в электрическую. Возможно создание на реках каскадов ГЭС. В России построены и успешно эксплуатируются Волжский, Камский, Ангарский, Енисейский и другие каскады ГЭС.

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

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

Пример решения задач

Теоретические (полные) гидроэнергетические ресурсы – это теоретические запасы, определяемые по формуле:

$$\mathcal{E} = 8760 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} 9,81 \cdot Q_i \cdot H_i ,$$

где $\mathcal{E}$ – энергия, кВт·ч;

Q_i – средний годовой расход реки на i -м рассматриваемом участке, м³/с;

H_i – падение уровня реки на этом участке, м;

n – число участков;

8760 – число часов в году.

Теоретические ресурсы подсчитываются в предположении, что весь сток будет использован для выработки электроэнергии без потерь при преобразовании гидравлической энергии в электрическую.

Мировые потенциальные гидроэнергетические ресурсы оцениваются в $35 \cdot 10^3$ млрд кВт·ч в год, потенциальные ресурсы России составляют 2896 млрд кВт·ч.

Практическое занятие №7.

Проблема комплексного использования гидроресурсов

Теоретическая часть

В условиях мирового экономического кризиса, а также устойчивой тенденции роста цен на основные энергоносители, преимущества гидроэнергетики становятся особенно очевидны. Гидроэнергетика – это неиссякаемый, постоянно возобновляемый источник энергии, восполняемый самой природой. Получаемая энергия является экологически чистой, так как ее производство не сопровождается загрязнением окружающей среды.

Однако комплексное использование гидроресурсов России сопряжено с рядом объективных проблем и технических трудностей.

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

Следует отметить, что запасы поверхностного стока на территории России распределены крайне неравномерно, что весьма неблагоприятно для хозяйственной деятельности, в том числе и для энергетики. Реки России, обладающие максимальными объемами стока, расположены за Уралом в Сибири: Обь, Енисей, Лена, Амур. Более 80 % речного стока российских рек приходится на эти еще мало освоенные территории бассейнов Северного Ледовитого и Тихого океанов.

Не смотря на слаборазвитую инфраструктуру этих восточных районов, во второй половине двадцатого века здесь были построены такие энергетические гиганты, как Красноярская, Братская и Саяно-Шушенская ГЭС. Ни одно государство мира не может сравниться по мощности своих гидростанций с этим гидроэнергетическим комплексом. Однако успешное решение энергетической программы по строительству этих ГЭС породило ряд серьезных экономических проблем.

Переброска на большие расстояния в европейскую часть страны огромных количеств выработанной электроэнергии сопряжена с большими потерями. Нормируемые потери электроэнергии в энергетической системе составляют $8 \div 10$ % от ее производства. Строительство же крупных промышленных комплексов, способных потреблять электроэнергию в местах ее производства, требует колоссальных финансовых затрат.

Для сибирских ГЭС эта проблема частично была решена в 70 ÷ 80-х годах двадцатого века, когда эти электростанции стали центрами металлургической (производство алюминия), химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Однако сегодня, в условиях рыночных отношений, распространение такой практики на другие экономические регионы страны является неоправданным и неэффективным.

Кроме того, сибирские ГЭС построены в географическом поясе с суровым северным климатом, где продолжительность зимнего периода составляет $7 \div 8$ месяцев. В этот период наблюдается снижение речного

водостока, а значит и объемов вырабатываемой энергии, в то время как потребность в электроэнергии достигает максимума за счет сокращения светлого периода суток.

Серьезной проблемой строительства ГЭС на равнинных территориях является образование водохранилищ, являющихся следствием возведения высоких плотин. В результате отторгаются и безвозвратно теряются для земледелия большие площади плодородных пахотных земель, а образующиеся водные поверхности, являясь зеркалом испарения, способствуют изменению климата в прилегающих географических районах. Сухой континентальный климат становится влажным морским, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и неблагоприятно сказывается на здоровье людей.

Строительство плотин создает также серьезные трудности для судоходства на реках, поскольку для бесперебойной работы речного транспорта требуется сооружение дорогостоящих обводных шлюзов.

Плотина является еще и непреодолимой преградой для сезонных миграций рыбы и поэтому для успешного воспроизводства рыбных запасов требуется строительство специальных дополнительных водоводов – каналов для пропуска рыбы. Строительство высоких плотин в сейсмически опасных районах создает также потенциальную угрозу затопления обширным регионам, расположенным ниже по течению реки в случае разрушения плотины при землетрясении.

Однако существующие водохранилища играют и важную положительную роль в регулировании речного стока по временам года и развитии орошаемого земледелия в засушливых районах. Водохранилища способны аккумулировать огромные запасы воды во время весенних паводков, а затем обеспечивать подпитку системы орошения сельскохозяйственных культур в засушливый летний период.

Практическое занятие №8.

Расчет геотермальных установок

Теоретическая часть

Важное значение в энергообеспечении, прежде всего теплом в мире, и особенно в России, займет геотермальная энергетика. Конечно, уникальные запасы органического топлива гарантируют собственную энергетическую безопасность страны, однако в условиях открытого рынка сегодня не выгодно сжигать газ и мазут на электростанциях.

Россия располагает не только большими запасами органического топлива, но также и геотермальными ресурсами, энергия которых в 10-12 раз превышает весь потенциал органического топлива.

Наряду с высокопотенциальными ресурсами Камчатки и Курильских островов, позволяющими непосредственно вырабатывать электроэнергию из геотермального пара, практически на всей территории России имеются запасы теплоэнергетических вод, которые могут быть использованы для теплоснабжения населенных пунктов, а также в промышленности и сельском хозяйстве. Особо следует выделить район Северного Кавказа (Ставропольский и Краснодарский края, Дагестан, Чечня, Адыгея, Кабардино-Балкария и Карачаево-Черкессия), чрезвычайно богатый термальными водами, температура которых достигает здесь 125-130 °С. Использование геотермального теплоносителя с такими параметрами возможно не только для целей теплоснабжения, но и позволяет вырабатывать эффективно электроэнергию на бинарных электростанциях (БЭС).

В зависимости от температуры геотермального теплоносителя области использования тепла Земли могут быть самые различные.

Пример решения задач

Выявленные общие закономерности распространения геотермальных вод в России и условия их залегания позволяют выделить районы практического использования в различных целях. Практика показывает, что возможны следующие основные направления использования ТЭВ:

1. теплоснабжение (отопление и горячее водоснабжение) гражданских и промышленных зданий и сооружений,

2. теплоснабжение сельскохозяйственных объектов (теплиц и парников как круглогодичного, так и сезонного времени действия, рыборазводные водоемы, птичьи фермы и пр.),

3. удовлетворение в тепле технологических процессов промышленных предприятий (сушка древесины для мебельного производства, ферментация чайного листа и пр.),

4. удовлетворение коммунально-бытовых нужд населения (бани, плавательные бассейны, прачечные и пр.),

5. бальнеологические цели,

6. производство электроэнергии.

Для первых пяти направлений использования применяются воды низко – (температура до 70 °С) и среднепотенциальные (температура 70 –

100 °С), для выработки электричества – только высокопотенциальные (температура свыше 100 °С).

В конце XX века были разведаны месторождения теплоэнергетических вод: **Казьминское (совместно с Малоказьминским) и Нижне-Зеленчукское в Кочубеевском, Терско-Галюгаевское в Курском районах и Георгиевское (г.Георгиевск).** Суммарные запасы по категории **A+B+C₁** составили **12200 м³/сут.** Воды указанных месторождений имеют на устьях скважин температуру 55 – 120°С, давление 0,3 – 1,2 МПа. Химический состав вод позволяет использование их как для горячего водоснабжения (Георгиевское месторождение), так и для выработки электроэнергии в генераторах бинарного типа (Казьминское и Нижне-Зеленчукское месторождения).

Кроме того, геологоразведочные работы были проведены на Беломечетской, Джемухской, Нагутской, Левокумской, Новопавловской и Каясулинской площадях. Практически на всех площадях, кроме Джемухской и Каясулинской работы не дали положительного результата из-за очень незначительного объема проведенных работ.

На Джемухской площади была получена высокотермальная (температура на устье 85 – 87 °С) минеральная (минерализация 9 – 10 г/л) вода сульфатно-хлоридно-натриевого состава, борная (H_3BO_3 55 – 75 мг/л), кремнистая (H_2SiO_3 125 – 140 мг/л), которую рекомендовано ГКЗ МПР (протокол № 814 от 19 марта 2003 г) использовать исключительно для бальнеологических целей. Тем же протоколом запасы воды по категории В утверждены в объеме 107 м³/сут.

На Каясулинской площади лабораторией геотермальной энергетики института ЭНИН им. Г.М. Кржижановского проводились опытные работы по использованию тепла геотермальной воды, получаемой из скважины с глубины 4200 температурой 165 °С, для выработки электроэнергии в генераторе бинарного цикла мощностью 3 МВт. Практически за время с 1989 г работы из стадии опытных не вышли по причине очень сильного и резкого зарастания ствола скважины отложениями солей, выпадающими из воды при резком падении давления на устье скважины.

Как уже указывалось выше, разведанные запасы по категории **A+B+C₁** по состоянию на 01.01.1990 г составили **12200 м³/сут**, прошедшее время в связи с полным прекращением разведочных работ на теплоэнергетические воды величина разведанных запасов не изменилась. Прогнозные ресурсы по Ставропольскому краю по состоянию на то же время составили **83 000 м³/сут.** Эти ресурсы учитывались по караган-чокракским и нижнемеловым термоводоносным продуктивным горизонтам.

В настоящее время практически все разведочные скважины находятся в консервации, за исключением нескольких скважин Казьминского и скважины № 7 Нижне-Зеленчукского месторождений.

Теплоэнергетические воды Ставрополя по своей физико-химической характеристике могут использоваться в народном хозяйстве в различных целях. Воды Кавминводской группы используются как лечебные при

заболевании желудочно – кишечного тракта и желез внутренней секреции или как столовые минеральные, используются в бальнеологии. Воды Казьминского и Нижне – Зеленчукского месторождений могут быть использованы для выработки электроэнергии в генераторах бинарного цикла, для отопления и горячего водоснабжения жилищно – коммунальных объектов, для отопления теплично – парниковых комбинатов (зимние и весенне – летние теплицы), для сушки древесины в мебельном производстве и др. технологических целях.

В этих же целях (кроме выработки электричества) могут быть использованы воды и других известных месторождений.

Интересным с точки зрения решения научно – технических задач может быть использование вод Георгиевского месторождения для регулирования сезонных циклов теплопотребления – подземное аккумулирование тепла в недрах (ПАТ). В странах Запада строительство ПАТ (включая геологоразведочные работы, решение инженерно – физических задач и собственно строительство) началось в 70 – десятых годах XX столетия. К концу XX века в США, Канаде, Франции, ФРГ, Швеции и др. странах было создано более 40 ПАТ.

На рисунке дана расчетная схема скважины в цилиндрической системе координат и график изменения температур теплоносителя t_0 и t_2 и грунта t_{cp} .

Нейтральный слой, расположенный на глубине L_n , характеризуется постоянной температурой грунта $t_{n.c}$, которая не зависит от колебаний температуры наружного воздуха в различное время. Температура грунта выше нейтрального слоя имеет различные расчетные значения для летнего $t'_{ф.л.}$ и зимнего периодов $t'_{ф.з.}$.

По глубине скважина разделяется на две зоны. В зоне 1 температура грунтов ниже температуры теплоносителя, движущегося по межтрубному пространству, т. е. $t_{cp} < t_0$, а в зоне 2 – $t_{cp} > t_0$.

На глубине z выделим элементарный участок скважины dz для любого произвольного значения времени τ . Составим уравнения теплопередачи и теплового баланса в частных производных:

(1)

$$\begin{aligned}\partial Q_{1i} &= k_{1i} \cdot \Theta_{1i} \cdot \partial z \\ \partial Q_{2i} &= k_{2i} \cdot \Theta_{2i} \cdot \partial z ;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial t_{2i}} &= m \cdot c \quad (2) \\ &= W \\ &\frac{\partial t_{2i}}{\partial \tau}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \partial_{2i} Q_{2i} = m \cdot c \cdot \overline{\partial_z} \cdot \frac{\partial t}{\partial t_{0i}} \cdot \frac{\partial z}{\partial t_{1i}}, \\ & + \partial_{p1} \cdot \partial_z = W_1 \\ & Q_{1i} \cdot \partial_z \end{aligned}$$

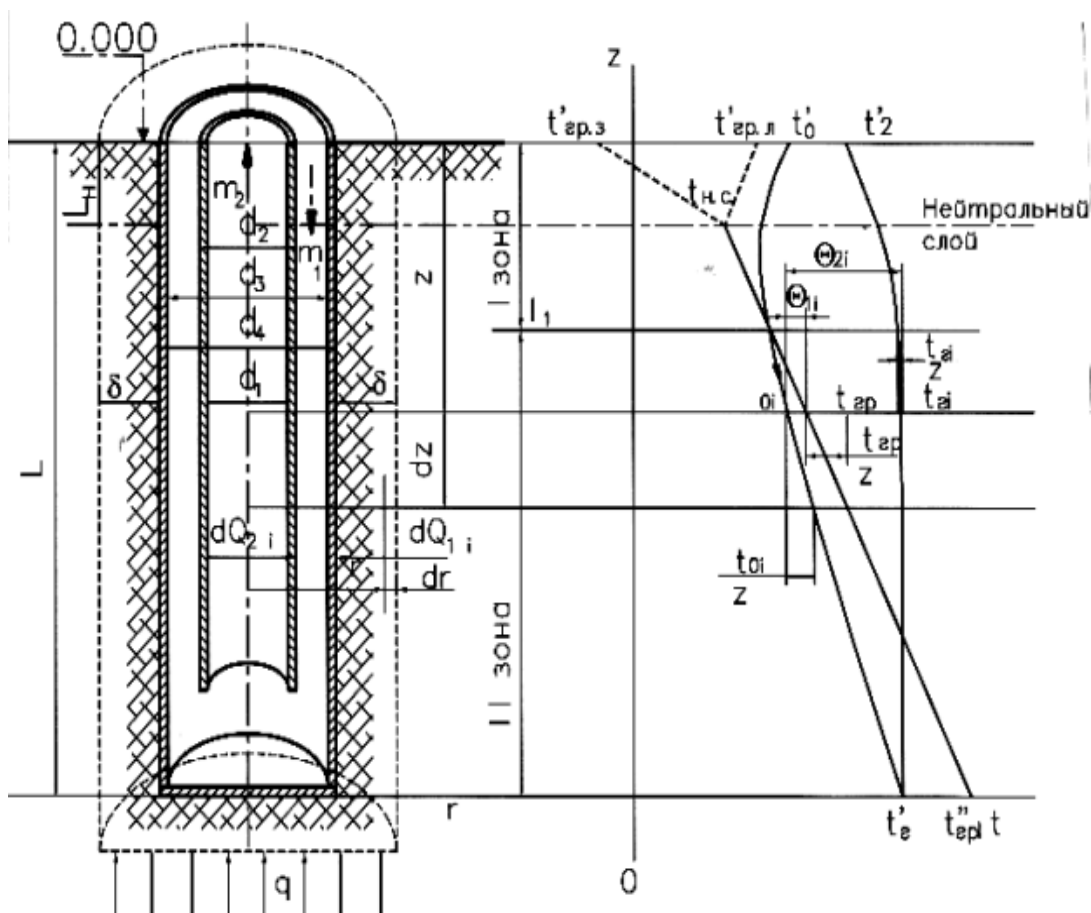


Рисунок – Расчетная схема скважины в цилиндрической системе координат и график изменения температур теплоносителя и грунта

где Q_1 – количество тепла, получаемое теплоносителем, движущимся в межтрубном пространстве, от грунтов в единицу времени;

Q_2 – количество тепла, получаемое теплоносителем, движущимся в межтрубном пространстве, от теплоносителя, движущегося по внутренней трубе;

K_{1i} , K_{2i} – коэффициенты теплопередачи через стенки наружной и внутренней труб;

Θ_{1i} , Θ_{2i} – температурные напоры, определяемые по формулам:

$$\Theta_{1i} = t_{gpi} - t_{oi}; \quad \Theta_{2i} = t_{zi} - t_{oi};$$

t_{gpi} – температура грунтов на границе соприкосновения с наружной трубой;

t_{oi} – температура теплоносителя в межтрубном пространстве;

t_{zi} – температура теплоносителя во внутренней трубе;

m и C_{p1} , C_{p2} – массовый расход и теплоемкость теплоносителя в межтрубном пространстве и во внутренней трубе;

W_1 , W_2 – водяные эквиваленты.

Согласно закону сохранения энергии при остывании элементарного объема грунтов с внутренним источником тепла:

$$\begin{aligned} \partial Q_{1i} &= c_{\rho} \rho_{\rho} \pi \cdot (r+dr)^2 \cdot \left(\frac{\partial t_{\rho i}}{\partial \tau} \right) d\tau + \frac{q \cdot \pi \cdot (r+dr)^2}{z} dz = \\ &= \pi \cdot (r+dr)^2 dz \cdot \left(c_{\rho i} \rho_{\rho i} \cdot \frac{\partial t_{\rho i}}{\partial \tau} d\tau + q/z \right) \end{aligned} ,$$

где q – плотность геотермального теплового потока;

$\rho_{\rho i}, C_{\rho i}$ – плотность грунта и его теплоемкость;

r – текущая цилиндрическая координата зоны термического влияния скважины;

$d\tau$ – бесконечно малый отрезок времени, равный:

$$d\tau = \frac{f_1 \cdot \rho_1}{m} dz = \frac{f_2 \cdot \rho_2}{m} dz ; ,$$

f_1, f_2 – площади сечения межтрубного пространства и внутренней трубы;

ρ_1, ρ_2 – плотность теплоносителя в межтрубном пространстве и во внутренней трубе;

$\left(\frac{\partial t_{\rho i}}{\partial \tau} \right) d\tau$ – изменение температуры грунта во времени, определяемое

из дифференциального уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial t_{\rho i}}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t_{\rho i}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_{\rho i}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 t_{\rho i}}{\partial z} \right) + \frac{q}{z \cdot \rho_{\rho i} \cdot c_{\rho i}} ;$$

$$a = \frac{\lambda_{\rho i}}{C_{\rho i} \rho_{\rho i}} \quad \text{проводности грунта;}$$

э
ф
ф
и
ц
и
е
н
т
е
м
п
е
р
а
т
у
р

λ_{epi} – коэффициент теплопроводности грунта;

dr – элементарное увеличение зоны термического влияния скважины за время $d\tau$.

Для решения уравнения необходимо установить граничные условия.

Временными граничными условиями будут значения:

$$\tau=0, \quad \tau_j = \sum_{j=1}^n \frac{L \cdot f_2 \cdot \rho_2}{m} = \sum_{j=1}^n \frac{L \cdot f_1 \cdot \rho_1}{m}.$$

При $\tau = 0$ начальные условия будут следующие:

- температура обратной воды, t_0 ;
- начальное распределение температуры грунта по глубине скважины, $t_{zpi} = (z_i - L_n) \cdot \text{grad}T + 15^\circ\text{C}$;
- при $z_i = L$, $t_{0i} = t_{2i}$, а $\Theta_{2i} = 0$;
- в уравнении (3.2) границей зоны 1 является условие $t_{0i} = t_{zpi}$, а $\Theta_{1i} = 0$.

При $\tau_n \rightarrow \infty$, $Q_1 = q\pi r^2$ и устанавливается стационарный режим теплопередачи от грунтов к скважине.

Практическое занятие №9. Расчет экономии топлива за счёт использования ВЭР

Теоретическая часть

При топливном направлении использования ВЭР экономия топлива
ВЭК (т.у.т.) составит:

$$B_{ЭК} = \frac{m \cdot M \cdot Q_H^P \cdot \eta_y \cdot \sigma \cdot 10^{-3}}{Q_y^P}, \quad (17.1)$$

где m – выход ВЭР на единицу продукции, кг/кг ($\text{м}^3/\text{кг}$);

M_P – выход основной продукции за данный период, кг;

Q_H, Q_y – теплотворная способность ВЭР и условного топлива, кДж/кг ($\text{кДж}/\text{м}^3$);

η_y – КПД утилизационной установки;

– коэффициент использования теплоты, вырабатываемой в утилизационной установке.

За счёт тепловых ВЭР возможна выработка теплоты в виде пара или горячей воды в утилизационной установке

$$Q_m = (i_1 \cdot G_1 - i_2 \cdot G_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi), \quad (17.2)$$

или холода

$$Q_X = Q_m \cdot \varepsilon, \quad (17.3)$$

где G_1, G_2 – количество энергоносителя на входе в утилизационную установку и на выходе из неё;

i_1, i_2 – энтальпия энергоносителя на входе в утилизационную установку и на выходе из неё;

β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и агрегата – источника ВЭР;

ξ – коэффициент потерь тепла в утилизационной установке;

ε – холодильный коэффициент холодильной машины.

Экономия топлива при этом составит:

$$B_{ЭК} = Q_m / Q_y^P$$

При силовом использовании ВЭР:

$$B_{ЭК} = v \cdot m \cdot M \cdot L_{\max} \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_{\varepsilon} = v \cdot W, \quad (17.4)$$

где ν – удельный расход топлива на выработку электроэнергии;

$L_{\max}$ – техническая работа адиабатного расширения в утилизационной турбине;

η_{oi} – относительный внутренний КПД турбины;

η_m – механический КПД;

$\eta_{\text{э}}$ – КПД электрогенератора;

W – возможная выработка электроэнергии в утилизационной установке за счёт ВЭР.

Список рекомендуемой литературы.

10.1.1 Перечень основной литературы:

1. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика. Производство тепловой и электрической энергии Текст учебник для вузов по направлениям "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и "Электроэнергетика" Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. - 2-е изд., стер. - М.: КНОРУС, 2016. - 407 с. ил.

2. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. — 5-е изд., стер. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 464 с., ил.

10.1.2 Перечень дополнительной литературы:

1. Теплотехника: Учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. – М. Высшая школа, 2002. – 671 с.

2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика: Учебное пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 2000. –261с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «Общая энергетика»
для студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Цифровые технологии в электроэнергетике

Ставрополь, 2025

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин, реализуемых на кафедре теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

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

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за

развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

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 обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРМ должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРМ важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- 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 курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;

б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;

- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;

- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;

- составление плана и тезисов ответа;

- составление таблиц для систематизации учебного материала;

- ответы на контрольные вопросы;

- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;

- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;

- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.

- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;

- грамотная формулировка задания для исполнения;

- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить опiski, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует

применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в форме собеседования.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации является зачет с оценкой

Зачет с оценкой как отдельное контрольное мероприятие не проводится, а выставляется накопительно при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценивание уровня сформированности компетенции по дисциплине осуществляется на основе «Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам

магистратуры - в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «северо-кавказский федеральный университет» в актуальной редакции.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.