

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«Термодинамика и теплотехника»

для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело,
направленность (профиль) Бурение нефтяных и газовых скважин

Ставрополь, 2026

Практическое занятие № 1

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

1.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Смесь, состоящая из M_1 киломолей азота и M_2 киломолей кислорода с начальными параметрами $P_1 = 1 \text{ МПа}$ и $T_1 = 1000 \text{ К}$ расширяется до давления P_2 . Расширение может осуществляться по изотерме, адиабате и политропе с показателем n . Определить газовую постоянную смеси, ее массу и начальный объем, конечные параметры смеси, работу расширения и теплоту, участвующую в процессе.

Дать сводную таблицу результатов и ее анализ. Показать процессы на PV и TS диаграммах.

Указание: Показатель адиабаты, а следовательно и теплоемкости принять постоянными, не зависящими от температуры.

Исходные данные к задаче

$$M_1 = 0,3 \text{ кмоль};$$

$$M_2 = 0,7 \text{ кмоль};$$

$$P_1 = 0,43 \text{ МПа};$$

$$n = 1,2.$$

1.2 Последовательность выполнения задания

1. Газовая постоянная смеси

$$R_{\text{см}} = \frac{R}{M_{\text{см}}};$$

$$R_i = \frac{R}{M_i} = \frac{8314}{M_i};$$

$$R_{N_2} = \frac{8314}{28} = 296,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$R_{O_2} = \frac{8314}{32} = 259,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$d_i = r_i \cdot g_i \cdot \frac{M_{CM}}{M_i}; \quad g_i = r_i \cdot \frac{M_i}{M_{CM}};$$

$$M_{CM} = \sum_{i=1}^n r_i \cdot M_i = 0,3 \cdot 28 + 0,7 \cdot 32 = 30,8 \text{ кг / моль}.$$

Массовая доля азота:

$$g_{N_2} = 0,3 \cdot \frac{28}{30,8} = 0,27;$$

Массовая доля кислорода:

$$g_{O_2} = 0,7 \cdot \frac{32}{30,8} = 0,73;$$

$$R_{CM} = 296,9 \cdot 0,27 + 259,8 \cdot 0,73 = 269,79 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$$

2. Масса смеси:

$$m_{CM} = M_{CM} \cdot \mu_{CM} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 30,8 = 30,8 \text{ кг}.$$

3. Начальный объем смеси:

$$V_{CM} = \nu_{CM} \cdot m_{CM} = 0,27 \cdot 30,8 = 8,31 \text{ м}^3,$$

где

$$\nu_{CM} = \frac{R_{CM} \cdot T_{CM}}{P_{CM} \cdot V_{CM}} = \frac{269,79 \cdot 1000}{1 \cdot 10^6} = 0,27 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

4. Конечные параметры смеси в зависимости от вида термодинамического процесса.

4.1. Изотермический процесс ($T = \text{const}$).

$$P_1 \cdot \nu_1 = P_2 \cdot \nu_2 \Rightarrow \nu_2 = \frac{P_1 \cdot \nu_1}{P_2} = \frac{1 \cdot 0,27}{0,43} = 0,63 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

$$T_1 = T_2 = 1000 \text{ K}.$$

4.2. Адиабатный процесс (без подвода и отвода тепла).

$$dq = 0, \quad pv^k = \text{const}, \quad k = \frac{C_p}{C_v}.$$

$$C_p = \frac{C_p}{C_m} = \frac{C_{pi} g_i}{C_m} = \frac{32,245 \cdot 0,73 \cdot 30,42 \cdot 0,27}{30,8} = 1,03 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$C_v = C_p - R_{cm} = 0,76 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Показатель адиабаты:

$$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1,03}{0,76} = \frac{23,93 \cdot 0,73 \cdot 22,106 \cdot 0,27}{30,8} = 1,36.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^K = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{K}} = 0,27 \cdot \frac{1}{0,43}^{1,36} = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^K = \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{1}{K}} = \frac{T_1}{T_2};$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{1}{K}} = 1000 \cdot \frac{0,5}{0,27}^{1,36} = 801 \text{ K};$$

4.3. Политропный процесс.

$$pv = \text{const}.$$

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} = 0,27 \cdot \frac{1}{0,43}^{1,2} = 0,55 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\frac{1}{n}} = 1000 \cdot \frac{0,55}{0,27}^{1,2} = 869 \text{ K};$$

4.5. Изменение внутренней энергии смеси:

$$U_{12} = C_v (T_2 - T_1);$$

изотермический: $U_{12} = 0$ т.к. $T_2 = T_1$;

адиабатный: $U_{12} = 0,76 \cdot 801 \cdot 1000 \cdot 151,24 \text{ кДж / кг};$

☐ политропный: $U_{12} = 0,76 \cdot 869 \cdot 1000 = 99,56 \text{ кДж/кг}.$

4.6. Изменение энтальпии смеси:

$$i_{12} = C_p (T_2 - T_1);$$

☐ изотермический: $i_{12} = 0$ т.к. $T_2 = T_1$;

☐ адиабатный: $i_{12} = 1,03 \cdot 801 \cdot 1000 = 204,97 \text{ кДж/кг};$

☐ политропный: $i_{12} = 1,03 \cdot 869 \cdot 1000 = 134,93 \text{ кДж/кг}.$

4.7. Изменение энтропии смеси:

☐ изотермический: $S_{12} = R \ln \frac{v_2}{v_1} = 269,79 \ln \frac{0,63}{0,27} = 229 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$

☐ адиабатный: $S_{12} = 0$ т.к. тепло не подводится и не отводится;

☐ политропный: $s_{12} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - C_v \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1}$

$$= 0,76 \cdot \frac{1,36}{1} \ln \frac{869}{1000} = 0,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

4.8. Работа расширения и теплота, участвующая в процессе:

☐ изотермический:

$$l_{12} = R T \ln \frac{P_1}{P_2} = 269,79 \cdot 1000 \ln \frac{1}{0,43} = 227695 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{12} = T (S_2 - S_1) = 1000 \cdot 229 = 229000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

☐ адиабатный:

$$l_{12} = \frac{1}{k-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

$$= \frac{269,79}{1,36-1} \cdot 1000 = 801 \cdot 149134 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{12} = 0;$$

☐ политропный:

$$l_{12} = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{269,79}{1,2-1} \cdot 1000 = 869 \cdot 176713 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$q_{12} = C_v \frac{n-k}{n-1} \frac{T_2}{T_1} \left(0,76 \frac{1,2-1,36}{1,2-1} \right) \frac{869-1000}{80} \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Проверка для каждого процесса.

$$q = Q.$$

Таблица исходных данных

№ варианта	M ₁ , кМоль	M ₂ , кМоль	p ₂ , МПа	n
1	0,2	0,8	0,34	0,9
2	0,3	0,7	0,37	1,1
3	0,1	0,9	0,31	1,3
4	0,4	0,6	0,27	1,2
5	0,6	0,4	0,39	0,8
6	0,8	0,2	0,41	0,6
7	0,9	0,1	0,46	0,7
8	0,7	0,3	0,44	1,4
9	0,5	0,5	0,29	1,3
10	0,2	0,8	0,33	0,8
11	0,4	0,6	0,38	0,5
12	0,8	0,2	0,35	0,9
13	0,1	0,9	0,26	0,7
14	0,5	0,5	0,23	1,1
15	0,8	0,2	0,43	1,5
16	0,3	0,7	0,40	1,2
17	0,7	0,3	0,48	0,8
18	0,2	0,8	0,37	1,3
19	0,6	0,4	0,32	1,2
20	0,9	0,1	0,27	1,4
21	0,1	0,9	0,24	0,7
22	0,5	0,5	0,44	0,5
23	0,3	0,7	0,47	0,3
24	0,2	0,8	0,36	0,6
25	0,4	0,6	0,31	0,4
26	0,6	0,4	0,45	1,2
27	0,7	0,3	0,49	0,9
28	0,9	0,1	0,33	1,1
29	0,2	0,8	0,25	1,5
30	0,4	0,6	0,28	1,3

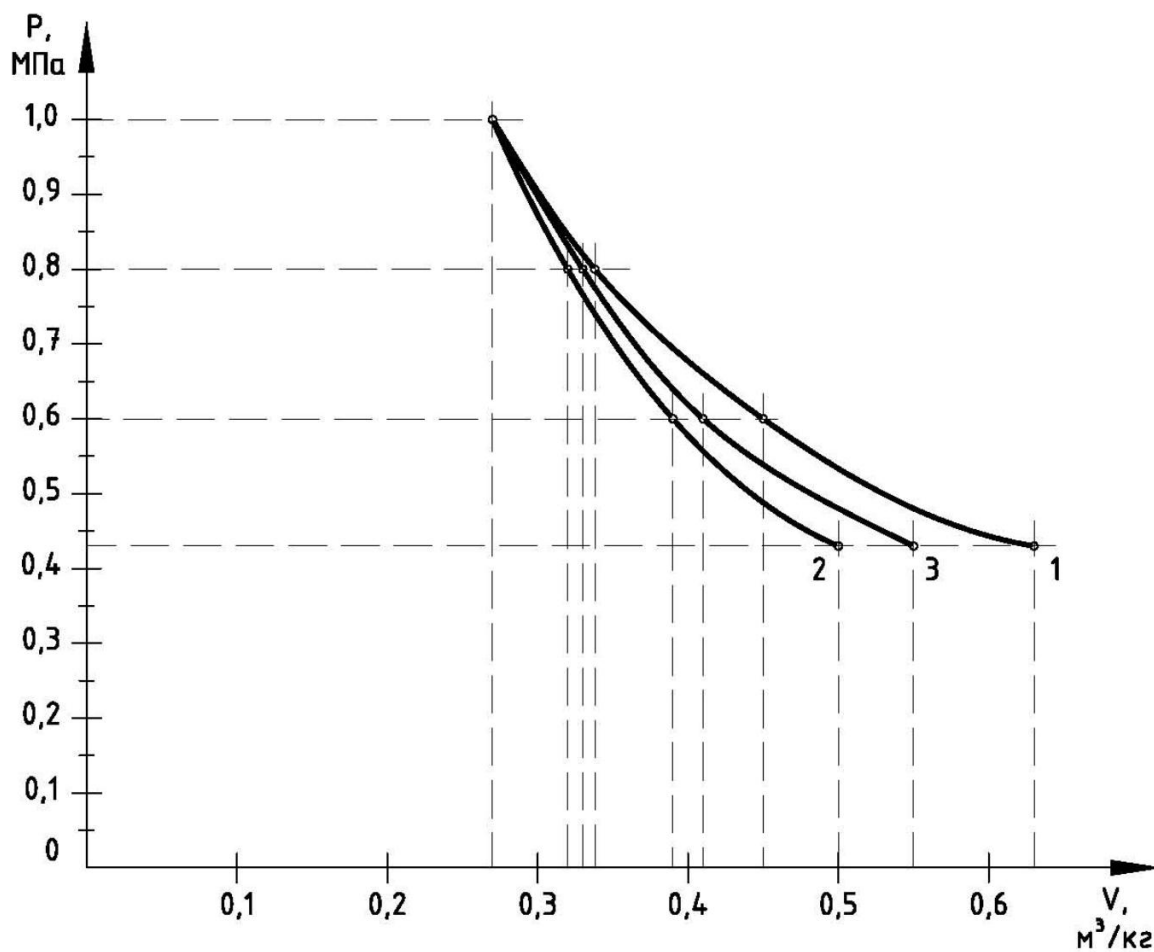


Рисунок 1. $P-v$ диаграмма

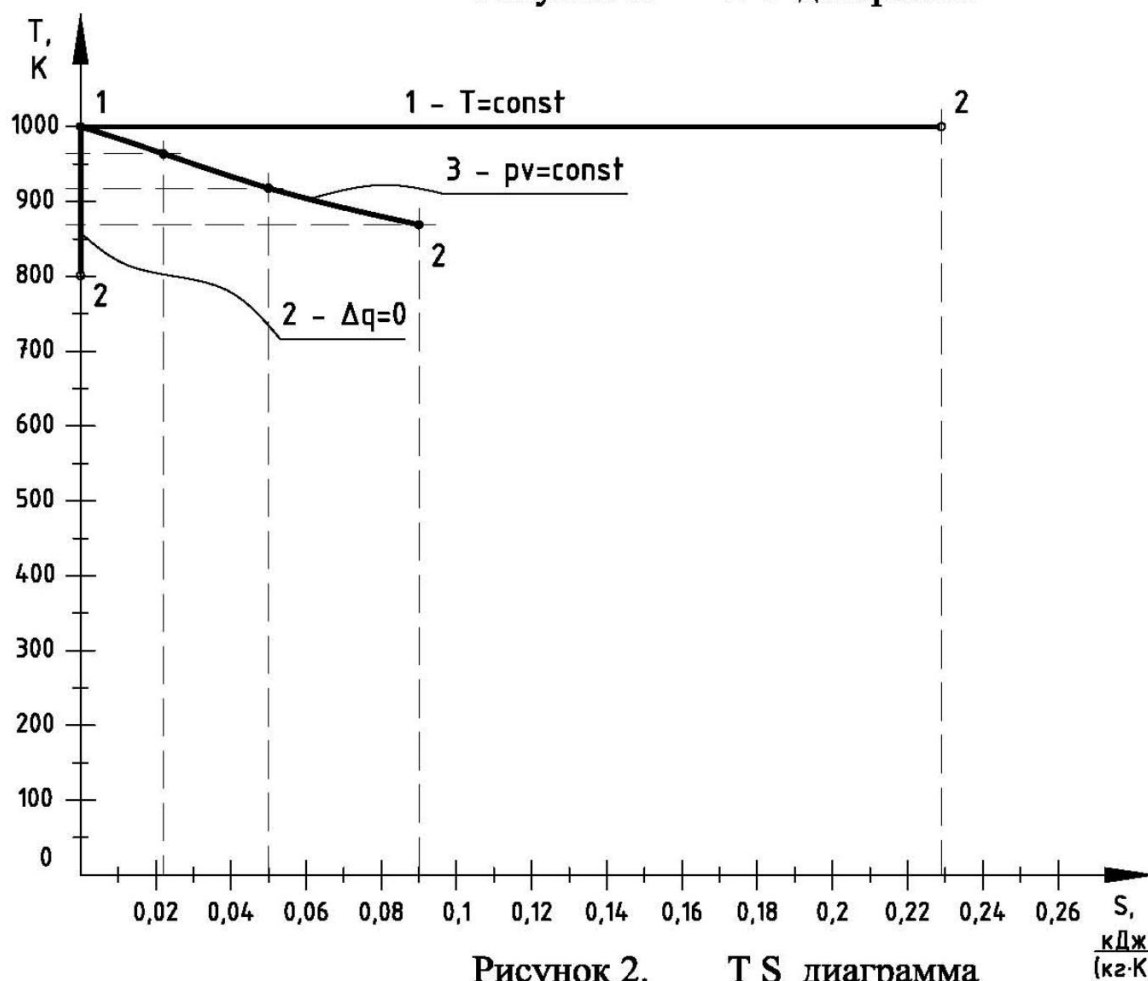


Рисунок 2. $T-S$ диаграмма

Практическое занятие № 2

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

2.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Боковая плоская стенка топочной камеры выполнена из четырех слоев. Первый слой из шамотного кирпича (толщина слоя δ_1), второй - из огнеупорной изоляции диатомит (толщина слоя δ_2), третий - основной изоляционный слой - шлаковые плиты (толщина слоя δ_3), четвертый - защитная штукатурка (толщина слоя δ_4).

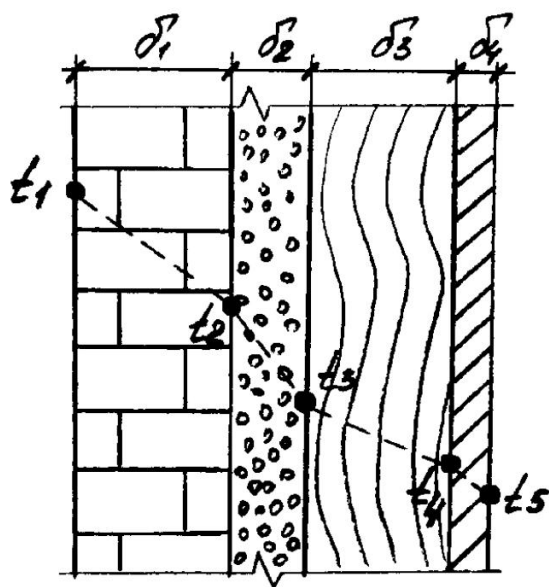
1. Определить требуемую толщину основного слоя изоляции ($\delta_3 = ?$), при заданной температуре на внутренней поверхности стенки t_1 , на наружной поверхности стенки t_5 и тепловом потоке через стенку q .
2. Построить график изменения температуры в этом слое изоляции.

Таблица 1 – Исходные данные

№№ n/n	Размеры стены, мм			q_0 , $Вт/м^2$	№№ n/n	t_1 , $^{\circ}C$	t_5 , $^{\circ}C$	q_m , $Вт/м^2$
	δ_1	δ_2	δ_4					
1	2	3	4	5	1	2	3	4
1	200	40	30	400	1	900	30	800
2	220	50	20	440	2	950	40	750
3	240	30	20	480	3	1000	50	850
4	180	60	30	520	4	850	30	700
5	260	30	10	560	5	800	40	870
6	280	20	10	380	6	920	50	680
7	300	20	10	420	7	980	30	650
8	250	40	20	360	8	820	40	780
9	150	60	30	460	9	880	50	830
0	320	20	10	340	0	940	40	770

Общие исходные данные: $\alpha_1 = 0,81(1 + 0,0008t)$, $\alpha_2 = 0,13 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$,
 $\alpha_3 = 0,046(1 + 0,0048t)$, $\alpha_4 = 0,38 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

2.2 Последовательность выполнения задания



$\alpha_1 =$	$\alpha_1 =$
$\alpha_2 =$	$\alpha_2 =$
$\alpha_3 =$	$\alpha_3 =$
$\alpha_4 =$	$\alpha_4 =$
$t =$	$t =$
1	5
$q =$	$q =$
0	m

Удельный тепловой поток через многослойную плоскую стенку определяется выражением:

откуда

Рисунок 1 - Эскиз боковой стенки топочной камеры

$$q_0 = \frac{t_1 - t_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4},$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\alpha_3} \quad \frac{t_1 - t_5}{q_0} = R_1 + R_2 + R_4$$

и требуемое значение толщины изоляционного слоя:

$$\delta_3 = \frac{t_1 - t_5}{q_0} (R_1 + R_2 + R_4) \alpha_3$$

Термическое сопротивление отдельных слоев стенки топки равны:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\alpha_1}, \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\alpha_2} \quad \text{и} \quad R_4 = \frac{\delta_4}{\alpha_4}$$

Коэффициенты теплопроводности 1-го и 3-го слоя определяют по средней температуре в данном слое равной:

$$t_1^{cp} = 0,5(t_1 + t_2) \quad t_3^{cp} = 0,5(t_3 + t_4)$$

Температуры t_2 , t_3 , и t_4 определяют из уравнений:

$$\begin{aligned} t_2 &= \sqrt{\frac{t_1^2}{b_1} + \frac{2q_0}{b_1 t_1}} - \frac{1}{b_1}, \\ t_3 &= t_2 + q_0 R_2, \\ t_4 &= t_5 + q_0 R_4, \end{aligned}$$

где a_0 и b_1 - коэффициенты в уравнении переменного коэффициента теплопроводности 1-го слоя.

Найденное значение толщины слоя изоляции δ_3 округляют до ближайшего большего значения, кратного 0,01 м.

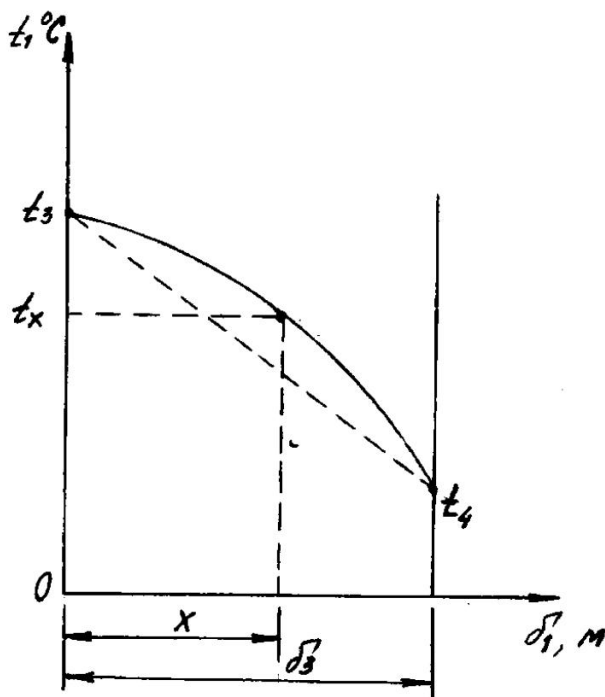


График изменения температуры в слое изоляции δ_3 (Рис. 2) строится по уравнению

$$t_x = \sqrt{\frac{t_1^2}{b_3} + \frac{2q_0}{b_3 t_1} x} - \frac{1}{b_3},$$

где x , текущая координата в слое от

$$x=0 \text{ до } x=\delta_3 \text{ м;}$$

t_x , переменная температура в слое, от $t_x=t_3$ до $t_x=t_4$;

Рисунок 2 – График изменения температуры

7	377	9	146	1,5	7	-30	12	55	170
8	426	10	144	1,6	8	-32	14	65	150
9	529	12	142	1,3	9	-25	15	75	220
0	273	8	160	1,0	0	-35	5	85	140

Общие исходные данные: $\alpha_1 = 0,06 + 0,00019t$, $\alpha_2 = 0,3 \text{ Вт/(м·К)}$,
 $\delta = 20 \text{ мм}$, $\alpha_m = 42 \text{ Вт/(м·К)}$.

3.2 Последовательность выполнения задания

Исходные данные:

$$\begin{array}{ll}
 d = & t = \\
 \alpha_m = & W_2 = \\
 t_1 = & \alpha_1 = \\
 W_1 = & \alpha_2 = \\
 \alpha_m = & \alpha_2 = \\
 & \alpha =
 \end{array}$$

1 часть

Удельный тепловой поток потерь теплоты на 1 погонный метр длины неизолированного трубопровода равен

$$q_{1n} = \frac{t_1 - t_2}{\alpha_1 R_{\alpha_1} + \alpha_m R_{\alpha_m} + \alpha_2 R_{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}$$

где

$$\begin{aligned}
 R_{\alpha_1} &= \frac{1}{\alpha_1 d_{вн1}}, \quad R_{\alpha_m} = \frac{1}{2\alpha_m \ln\left(\frac{d_{нар}}{d_{вн}}\right)}, \\
 R_{\alpha_2} &= \frac{1}{\alpha_2 d_{нар}} \text{ и } d_{вн} = d_{нар} - 2\delta
 \end{aligned}$$

- термические сопротивления при теплопередаче от воды к наружному воздуху через стенку трубы.

Снижение температуры горячей воды на длине трубопровода l , м, определяется выражением:

$$t_1(l) = \frac{q_{1n} l}{C_1 G_1}$$

где $G_1 = \frac{W_1 d_{вн}^2}{4}$, кг/с - расход воды в трубопроводе;

C_1 - теплоемкость воды в трубопроводе при ее начальной температуре

$t = t_1$, Дж/кг · К

ρ_1 - плотность воды при температуре $t = t_1$, кг/м³

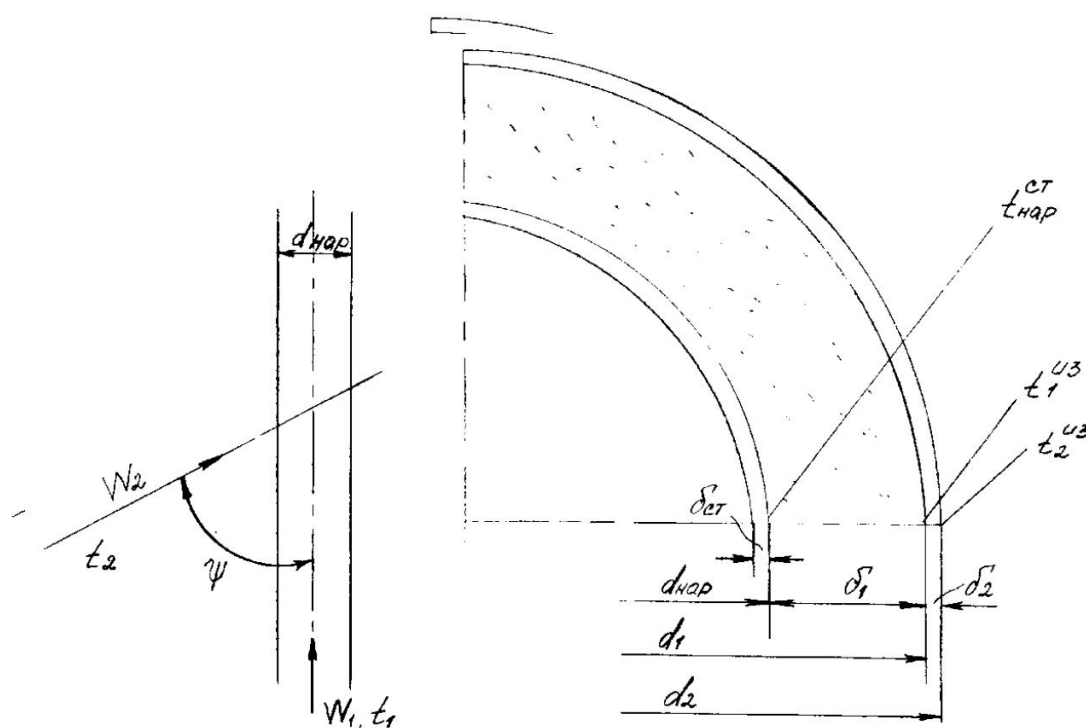


Рисунок 3 - Эскиз расположения трубопровода и тепловой изоляции на трубе

Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности стенки трубы $\alpha_{вн}$ определяют по критериальному уравнению для турбулентного режима течения жидкости внутри трубы (при $Re > 10^4$):

$$Nu_{вн} = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43}$$

где $Nu_{вн} = \frac{\alpha_{вн} d_{вн}}{\lambda_{вн}}$, $Re = \frac{W_1 d_{вн}}{\nu_{вн}}$, $Pr = \frac{c_p \mu_{вн}}{\lambda_{вн}}$ -

критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля, соответственно;

- $\lambda_{вн}, \mu_{вн}, c_{p,вн}$ - физические параметры воды, определяемые при ее температуре $t = t_1$

Средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху $\alpha_{н}$ при поперечном обтекании под углом атаки ψ определяют из критериального уравнения (при $Re = 10^3 - 2 \cdot 10^5$):

$$Nu_{н} = 0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38}$$

где Re, Pr, Nu - критерии подобия для воздуха, берутся по формулам указанным выше и определяются по скорости воздуха W_2 , температуре t_2 и наружному диаметру трубы d_n .

При обтекании трубы под углом атаки ψ учитывается поправочный коэффициент ϵ_ψ : $\alpha_{н} = \alpha_{н0} \epsilon_\psi$

ψ°		90	80	70	60	50	40	30
ϵ_ψ		1	1	0,99	0,93	0,87	0,76	0,66

Физические свойства воды на линии насыщения [2 и 13]

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$i, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^3, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{Н/м}$	Pr
0	1,013	999,9	0,00	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,004	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,801	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,653	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,6	1037,5	4,766	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,94	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,1	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,45	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	98,70	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,65	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	146,08	610,1	1594,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,16	1,60
360	186,74	528,0	1761,5	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	109	20,21	2,35
370	210,53	450,5	1892,5	40,321	33,7	1,86	56,9	0,126	264	4,709	6,79

Физические свойства сухого воздуха ($B=760$ мм рт. ст. $\approx$
 $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Па) [13]

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/}$ $(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/}$ $(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,23	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

2 часть

Удельный тепловой поток потерь теплоты на 1 погонный метр длины изолированного трубопровода (многослойной цилиндрической стенки) равен:

$$q_{2n} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{dm} + R_1 + R_2 + R_3}$$

где $R_2 = \frac{1}{2\alpha_2} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$

- термическое сопротивление 2-го наружного слоя изоляции,

$$R_1 = \frac{1}{2\alpha_1} \ln\left(\frac{d_{нар}}{d_1}\right)$$

- термическое сопротивление основного слоя изоляции,

$$\alpha_2 = \frac{1}{d_2} \quad - \text{термическое сопротивление при теплоотдаче от}$$

наружного слоя изоляции к воздуху.

Значения R_2 и R_{dm} принимаются такими же, как и в 1 части работы.

Первоначально необходимо выбрать предварительное значение наружного диаметра трубопровода d_2 с основным слоем теплоизоляции с определяемой толщиной δ_1 и наружным слоем с заданной толщиной δ_2 из следующего диапазона:

$$1,5 d_{нар} \leq d_2 \leq 2,5 d_{нар}$$

После этого необходимо произвести расчет значений $R_{\lambda 1}$ и $R_{\lambda 2}$, приняв $d_1 = d_2 - 2\delta_2$.

Расчет значения коэффициента теплопроводности основного слоя изоляции произвести при среднем значении температуры $t_{1cp} = 0,5(t_1 + t_2)$

Коэффициент теплоотдачи α_2 рассчитывается аналогично, как и при отсутствии теплоизоляции, в качестве основного размера принимается наружный диаметр изолированного трубопровода d_2 .

После расчета значения плотности теплового потока потерь $q_{2п}$ производится проверка соответствия полученного значения следующему диапазону:

$$0,8q_0 \leq q_{2п} \leq q_0 .$$

В случае выхода рассчитанного значения за пределы данного диапазона необходимо изменить предварительное значение d_2 (не ограничиваясь предложенным диапазоном значений), после чего повторить заново расчет всех значений. Данный расчет необходимо проводить до получения искомого результата, т.е. соответствия значений $q_{2п}$ указанному диапазону.

Для облегчения всех расчетов рекомендуется воспользоваться программой Microsoft Excell.

Окончательное значение толщины слоя основной теплоизоляции определить из выражения: $\delta_1 = 0,5(d_1 - d_n)$

Практическое занятие № 4

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА ИЗЛУЧЕНИЕМ.

4.1 Формулировка задания и исходные данные для расчета

Наружная часть боковой стенки топочной камеры из красного кирпича закрыта обшивкой из стального листа с зазором 30 мм, что позволят считать эти поверхности плоско-параллельными и пренебречь конвективным теплообменом между ними. Температуры кирпичной стенки t_1 , степень черноты ϵ_1
Температура стальной обшивки t_2 , степень черноты ϵ_2

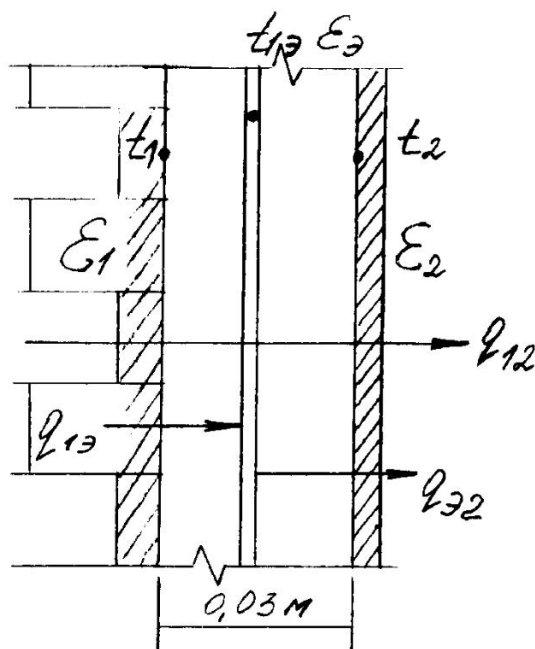
1. Определить удельный тепловой поток в окружающую среду за счет лучистого теплообмена между этими поверхностями, а также значение собственного, эффективного и отраженного излучения от обеих поверхностей.

2. Определить изменение указанных величин, если между указанными поверхностями разместить экран из алюминиевого листа со степенью черноты ϵ_3

Таблица 3 – Исходные данные

№№ n/n	t_1 °C	ϵ_1	ϵ_3	№№ n/n	t_2 °C	ϵ_2
1	2	3	4	1	2	3
1	110	0,88	0,11	1	36	0,70
2	120	0,82	0,12	2	32	0,72
3	130	0,84	0,13	3	34	0,74
4	140	0,86	0,14	4	36	0,76
5	150	0,90	0,15	5	38	0,78
6	115	0,92	0,16	6	40	0,80
7	125	0,91	0,17	7	42	0,73
8	135	0,89	0,18	8	44	0,75
9	145	0,87	0,19	9	46	0,77
0	155	0,85	0,15	0	48	0,79

4.2 Последовательность выполнения задания



Исходные данные

$$t = \begin{matrix} 1 \\ \square_1 \end{matrix}$$

$$t = \begin{matrix} 2 \\ \square_2 \end{matrix}$$

Результирующий тепловой поток при теплообмене излучением между двумя параллельными поверхностями определяется из уравнения

$$q_{12} = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{\frac{1}{\epsilon_{p1}} + \frac{1}{\epsilon_{p2}} - 1} C_0 \frac{T_1^4 - T_2^4}{100^4} \quad \text{Вт/м}^2$$

Рисунок 4 - Эскиз разреза боковой стенки топочной камеры с обшивкой и экраном

где $T_1 = t_1 + 273$, $T_2 = t_2 + 273$ - абсолютные температуры первой и второй поверхности, К;

$C_0 = 5,67$ - коэффициент лучеиспускания для абсолютно черного тела, Вт/(м² К);

$$\frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{p1}} + \frac{1}{\epsilon_{p2}} - 1}, \text{ приведенная степень черноты системы 1-ой и 2-ой поверхностей.}$$

Собственное излучение каждой поверхности, их эффективное и отраженное излучение определяют из уравнений

$$\begin{aligned} E_{сoб1} &= \epsilon_{p1} C_0 \frac{T_1^4}{100^4}, & E_{эф1} &= \frac{E_{сoб1} + \epsilon_{сoб2} E_{эф2}}{1 - \epsilon_{сoб1} \epsilon_{сoб2}}, \\ E_{сoб2} &= \epsilon_{p2} C_0 \frac{T_2^4}{100^4}, & E_{эф2} &= \frac{E_{сoб2} + \epsilon_{сoб1} E_{эф1}}{1 - \epsilon_{сoб1} \epsilon_{сoб2}}, \\ E_{отр1} &= (1 - \epsilon_{п1}) E_{эф2}, & E_{отр2} &= (1 - \epsilon_{п2}) E_{эф1} \end{aligned}$$

При наличии между поверхностями одного плоского экрана результирующий тепловой поток будет равен

$$q_{12} = \frac{q_{13} - q_{32}}{\frac{1}{\epsilon_{п1}} + \frac{1}{\epsilon_{п2}} - 1} C_0 \frac{T_1^4 - T_2^4}{100^4}$$

где $\frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{п1}} + \frac{1}{\epsilon_{п2}} - 1}$, приведенная степень черноты системы 1-ая

поверхность - экран;

$$\frac{\rho_{p2} \cdot \rho_1}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}}, \text{ приведенная степень черноты системы экран - 2-ая}$$

поверхность.

Литература

Основная литература

1. Теплотехника: Учеб. для вузов/В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред В.Н. Луканина. – М. Высшая школа, 2012. – 671 с.
2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика.. Учеб. пособие для втузов. М.: Высш. шк., 2011. – 261 с.

Дополнительная литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – Москва: Энергия, 1981. – 416 с.
2. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики. М., Энергия, 1973 г.
3. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. М., Машиностроение, 1972 г.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М., Высш. шк. 1988 г.
5. Теплотехнический справочник т.1, М., Энергия, 1975 г.
6. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. М., Машиностроение, 1973 г.
7. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М., Энергия, 1975 г.

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

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Термодинамика и теплотехника»
для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело,
направленность (профиль) Бурение нефтяных и газовых скважин

Ставрополь, 2026

В современный период востребованы высокий уровень знаний, академическая и социальная мобильность, профессионализм специалистов, готовность к самообразованию и самосовершенствованию. В связи с этим должны измениться подходы к планированию, организации учебно-воспитательной работы, в том числе и самостоятельной работы аспирантов. Прежде всего, это касается изменения характера и содержания учебного процесса, переноса акцента на самостоятельный вид деятельности, который является не просто самоцелью, а средством достижения глубоких и прочных знаний, инструментом формирования у студентов активности и самостоятельности.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности учебного процесса, в том числе благодаря самостоятельной работе, в которой студент становится активным субъектом обучения, что означает:

- способность занимать в обучении активную позицию;
- готовность мобилизовать интеллектуальные и волевые усилия для достижения учебных целей;
- умение проектировать, планировать и прогнозировать учебную деятельность;
- привычку инициировать свою познавательную деятельность на основе внутренней положительной мотивации;
- осознание своих потенциальных учебных возможностей и психологическую готовность составить программу действий по саморазвитию.

Виды самостоятельной работы студентов

Репродуктивная самостоятельная работа

Самостоятельное прочтение, просмотр, конспектирование учебной литературы, прослушивание лекций, магнитофонных записей, заучивание, пересказ, запоминание, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала и др.

Познавательная-поисковая самостоятельная работа

Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам, написание рефератов, контрольных, курсовых работ и др.

Творческая самостоятельная работа

Написание рефератов, научных статей, участие в научно-исследовательской работе, подготовка дипломной работы (проекта). Выполнение специальных заданий и др., участие в научной конференции.

Организация и контроль самостоятельной работы

Для успешного выполнения самостоятельной работы студентов необходимо планирование и контроль со стороны преподавателей. Аудиторная самостоятельная работа выполняется студентами на лекциях, семинарских занятиях, и, следовательно, преподаватель должен заранее выстроить систему самостоятельной работы, учитывая все ее формы, цели, отбирая учебную и научную информацию и средства (методических) коммуникаций, продумывая роль студента в этом процессе и свое участие в нем.

Вопросы для самостоятельной работы студентов, указанные в рабочей программе дисциплины, предлагаются преподавателями в начале изучения дисциплины. Студенты имеют право выбирать дополнительно интересующие их темы для самостоятельной работы.

Не умаляя значения аудиторной самостоятельной работы, в данных методических рекомендациях акцентируется внимание на проблемах, связанных с внеаудиторной самостоятельной работой и ее организацией. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (далее самостоятельная работа) – планируемая учебная, учебно-исследовательская,

научно-исследовательская деятельность студентов, осуществляемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным работам и др.) и выполнение соответствующих заданий;
- самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-тематическими планами;
- написание рефератов, докладов, эссе;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение предусмотренных ими заданий;
- выполнение письменных контрольных и курсовых работ;
- подготовку ко всем видам контрольных испытаний, в том числе к комплексным экзаменам и зачетам;
- подготовку к итоговой государственной аттестации, в том числе выполнение выпускной квалификационной (дипломной) работы (проекта);
- работу в студенческих научных обществах, кружках, семинарах и др.;
- участие в работе факультативов, спецсеминаров и т.п.;
- участие в научной и научно-методической работе кафедры;
- участие в научных и научно-практических конференциях, семинарах, конгрессах и т.п.;
- другие виды деятельности, организуемой и осуществляемой вузом, или кафедрой.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение студентами следующих этапов:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи;
- выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения);
- планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи;
- реализация программы выполнения самостоятельной работы.

Методические советы и рекомендации к заданиям

Все типы заданий, выполняемых студентами, в том числе в процессе самостоятельной работы, так или иначе содержат установку на приобретение и закрепление определенного Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объема знаний и уровня компетенций, а также на формирование в рамках этих знаний некоторых навыков мыслительных операций - умения оценивать, анализировать, сравнивать, комментировать и т.д. Некоторые задания требуют пояснения:

1. Прокомментировать высказывание - объяснить, какая идея заключена в отрывке, о какой позиции ее автора она свидетельствует.
2. Сравнить – выявить сходство и различие позиций по определенным признакам.
3. Обосновать один из нескольких предложенных вариантов ответа – привести аргументы в пользу правильности выбранного варианта ответа и указать, в чем ошибочность других вариантов.
4. Аргументировать (обосновать, доказать, объяснить) ответ – значит: а) оправдать (опровергнуть) некоторую точку зрения; б) обосновать свою точку зрения, опираясь на теоретические или практические обобщения, данные и т.д.
5. Провести анализ – разложить изучаемые явления на составные части, сопоста-

вить их с целью выявления в них существенного, необходимого и определяющего.

6. Тезисно изложить идею, концепцию, теорию – используя материал учебных пособий и другой литературы, кратко, но не в ущерб содержанию сформулировать основные положения учения.

7. Дать характеристику, охарактеризовать явления – значит назвать существенные, необходимые признаки какого-либо явления (положения какой-либо теории) и выявить особенности.

8. Изобразить схематически – значит раскрыть содержание ответа в виде таблицы, рисунка, диаграммы и других графических форм.

Работа с литературой

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки является работа с литературой ко всем видам занятий: семинарским, практическим, при подготовке к зачетам, экзаменам, тестированию, участию в научных конференциях.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно заучить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее краткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым. Их отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объеме.

Преимущество плана состоит в следующем.

Во-первых, план позволяет наилучшим образом уяснить логику мысли автора, упрощает понимание главных моментов произведения.

Во-вторых, план позволяет быстро и глубоко проникнуть в сущность построения произведения и, следовательно, гораздо легче ориентироваться в его содержании.

В-третьих, план позволяет – при последующем возвращении к нему – быстрее обычного вспомнить прочитанное.

В-четвертых, с помощью плана гораздо удобнее отыскивать в источнике нужные места, факты, цитаты и т. д.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точно-

стью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и даталогические сведения. В отдельных случаях — когда это оправданно с точки зрения продолжения работы над текстом — вполне допустимо заменять цитирование изложением, близким к дословному. Тезисы — сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме. Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем. Во-первых, тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала. Во-вторых, в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями. В-третьих, чаще всего тезисы записываются близко к оригинальному тексту, т. е. без использования прямого цитирования. Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности, а также для подготовки выступлений на защите, докладов и пр. Аннотация — краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление. К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация. Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста. Резюме — краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов. Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов. Но, как и в случае с аннотацией, резюме излагается своими словами — выдержки из оригинального текста в нем практически не встречаются. Конспект — сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему. Для работы над конспектом следует: определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста; в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись наиболее существенного содержания оригинального текста — в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу; выполнить анализ записей и на его основе — дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, "фактурой", заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках); завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Кстати, этой процедуре должны подвергаться и материалы из Интернета во избежание механического скачивания готовых текстов. В записях и конспектах студенту очень важно указывать названия источников, авторов, год издания. Это организует его, а главное, пригодится в последующем обучении. Безусловно, студент должен взять за правило активно работать с литературой в библиотеке не только СКФУ, но и в других, библиотеках, используя, в том числе, их компьютерные возможности (электронная библиотека в сети Интернет).

Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, студенты должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке СКФУ, получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

Помимо учебной, научной литературы студентами должны активно использоваться хрестоматии – сборники текстов, иллюстрирующих содержание учебника, а также словари, справочники. В хрестоматиях собраны материалы, которые позволяют расширить кругозор. При подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам следует в полной мере использовать академический курс учебника, рекомендованного преподавателем. Они дают более углубленное представление о проблемах, получивших систематическое изложение в учебнике. Работа с хрестоматией позволит студенту самостоятельно изучить документы, фрагменты источников, другие произведения, разъясняющие сущность изучаемого вопроса.

Основными функциями экзамена, зачета являются: обучающая, оценочная и воспитательная. Экзамены и зачеты позволяют выработать ответственность, трудолюбие, принципиальность. При подготовке к экзамену студент повторяет, как правило, ранее изученный материал. В этот период сыграют большую роль правильно подготовленные заранее записи и конспекты.