

Перечень заданий для практических работ по дисциплине «Теплотехника»

Задача № 1.

Расставьте единицы измерения давления: физ. атм., бар, атм., МПа, кПа в порядке убывания. (Рекомендация: перечисленные размерности следует перевести в мм рт. ст.)

Задача № 2.

Определите, все ли соотношения правильные для рабочего тела, давление которого выше атмосферного:

$$a) p > p_u; \quad b) p > p_o; \quad c) p_u \leq p_o; \quad d) p_u \geq p_o.$$

Определите, все ли соотношения правильные для рабочего тела, давление которого меньше атмосферного:

$$a) p_o > p; \quad b) p_o > p_p; \quad c) p_p \leq p; \quad d) p_p \geq p.$$

Задача № 3.

Абсолютное давление кислорода p , бар, его температура t , °C (см. табл. 1). Выразить давление в паскалях, физических атмосферах, технических атмосферах, миллиметрах ртутного столба, метрах водяного столба. Определить значения температуры по шкалам Кельвина, Реомюра, Фаренгейта, Ренкина. Исходные данные определить по табл. 1.

Таблица 1

Последняя цифра номера зачетки	t , °C	Предпоследняя цифра номера зачетки	p , бар
0	320	0	10
1	410	1	11
2	480	2	13
3	515	3	14
4	545	4	16
5	605	5	18
6	660	6	19
7	720	7	23
8	790	8	24
9	830	9	26

Теоретические сведения:

Абсолютное давление (p) отсчитывается от 0. Избыточное давление (p_u) отсчитывается от уровня атмосферного давления и измеряется манометром (жидкостным или пружинным). Атмосферное давление (p_o) измеряется барометром. Приборы для измерения давления ниже атмосферного называются вакуумметрами и измеряют разрежение (p_p).

Абсолютное давление (p) отсчитывается от 0. Избыточное давление (p_u) отсчитывается от уровня атмосферного давления и измеряется манометром (жидкостным или пружинным).

Атмосферное давление (p_0) измеряется барометром. Приборы для измерения давления ниже атмосферного называются вакуумметрами и измеряют разрежение (p_p).

Связи между абсолютным давлением p и давлениями, измеренными с помощью приборов (рис. 1):

$$p = p_u + p_0,$$

$$p = p_0 + p_p.$$

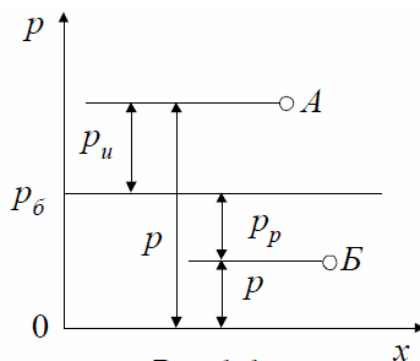


Рис. 1. Связь между давлениями

В Международной системе единиц (СИ) давление выражается в паскалях ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Используются и другие единицы измерения давления (бар, мм рт. ст., ат...):

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа} = 750 \text{ мм рт.ст.} = 10,2 \text{ м вод.ст.},$$

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 735,6 \text{ мм рт. ст.},$$

$$1 \text{ физ. атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

Абсолютная температура измеряется
в градусах Кельвина (К)

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

в градусах Реомюра ($^{\circ}\text{R}$)

$$t_{\text{R}} = 0,8t,$$

в градусах Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$)

$$t_{\text{F}} = 1,8t + 32,$$

в градусах Ренкина ($^{\circ}\text{Ra}$)

$$t_{\text{Ra}} = 1,8(t + 273,15),$$

где t – температура, выраженная в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$).

Задача № 4.

Определите массу газа, содержащегося в емкости, объемом V при температуре t и давлении p . Сравните полученную массу газа с массой воды в этой же емкости. При расчете газ считать идеальным. Исходные данные определить по табл. 2.

Таблица 2

Последняя цифра номера зачетки	Вид газа	$t, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$p, \text{бар}$	$V, \text{дм}^3$
0	воздух	20	0	1,0	1,5
1	метан	10	1	2,3	3,2
2	водород	80	2	1,3	1,7
3	азот	15	3	2,6	4,1
4	кислород	45	4	1,6	2,0
5	углекислый газ	25	5	1,1	2,5
6	азот	60	6	1,9	6,4
7	воздух	30	7	1,4	5,5
8	кислород	90	8	2,4	4,8
9	метан	40	9	1,8	3,7

Теоретические сведения

Масса воздуха определяется по уравнению состояния идеального газа (уравнения Клапейрона):

$$pV = MRT,$$

где p – давление в Па; V – объем в м^3 ; T – температура в градусах Кельвина; M – искомая масса в кг; R – газовая постоянная любого газа, определяемая по формуле через универсальную газовую постоянную:

$$R = 8314/\mu,$$

где μ – молярная масса искомого газа (для воздуха равна 29, для азота 28, для кислорода 32, для углекислого газа 44, для метана 16, для водорода 2).

Задача № 5.

Газовая смесь состоит из двух компонентов. Давление смеси p , парциальное давление первого компонента смеси p_1 . Рассчитайте молярную массу газовой смеси (μ). Исходные данные определить по табл. 3.

Таблица 3

Последняя цифра номера зачетки	Первый компонент смеси	Второй компонент смеси	Предпоследняя цифра номера зачетки	$p, \text{бар}$	$p_1, \text{бар}$
0	азот	диоксид углерода	0	5,0	1,5
1	метан	этан	1	5,3	3,2
2	водород	гелий	2	6,3	1,7
3	пропан	бутан	3	8,6	4,1
4	кислород	азот	4	4,6	2,0
5	гелий	оксид углерода	5	3,1	2,5
6	метан	пропан	6	6,9	3,4
7	водород	азот	7	4,4	2,5
8	кислород	бутан	8	5,4	1,8
9	азот	водород	9	3,8	0,7

Теоретические сведения

Молярную массу газовой смеси можно рассчитать по формуле:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot r_i,$$

где μ_i – молярная масса каждого компонента смеси, кг/кмоль; r_i – объемная доля каждого компонента смеси.

Для определения объемных долей каждого компонента можно воспользоваться следующими формулами:

парциальный объем смеси, м³:

$$V = \frac{V_i}{r_i},$$

парциальное давление смеси, Па:

$$p = \frac{p_i}{r_i},$$

массовая доля каждого компонента смеси, кг:

$$m_i = \frac{\mu_i \cdot r_i}{\mu},$$

масса смеси, кг:

$$M = \frac{M_i}{m_i},$$

где V_i – парциальный объем компонента м³; p_i – парциальное давление компонента, Па; M_i – масса компонента, кг.

Задача №6

Смесь метана и азота, находящаяся в баллоне автогазозаправщика, имеет массовый состав g_{CH_4} и g_{N_2} . Объем баллона V . При температуре газовой смеси t давление в баллоне равно p . Вычислить давление в баллоне, если смесь газов нагрелась до t_2 . Определить количество подведенной теплоты при нагреве. Исходные данные определить по табл. 4.

Таблица 4

Последняя цифра номера зачетки	g_{CH_4}	g_{N_2}	Предпоследняя цифра номера зачетки	V , литр	t , °C	t_2 , °C	p , бар
0	0,9	0,1	0	450	10	30	150
1	0,87	0,13	1	480	15	28	320
2	0,7	0,3	2	320	12	26	170
3	0,74	0,26	3	550	8	24	410
4	0,81	0,19	4	610	14	31	200
5	0,92	0,08	5	580	13	29	250
6	0,85	0,15	6	430	11	23	340
7	0,79	0,21	7	515	17	32	250
8	0,73	0,27	8	600	9	21	180
9	0,93	0,07	9	490	16	25	270

Теоретические сведения

1. Молярная масса газовой смеси (через значение массового состава):

$$\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}},$$

где μ_i – молярная масса каждого компонента смеси, кг/кмоль; g_i – объемная доля каждого компонента смеси.

2. Вычислить газовую постоянную указанной смеси газов.

3. Вычислить, используя уравнение идеального газа (уравнения Клапейрона), массу смеси в баллоне.

4. Вычислить, используя уравнение идеального газа (уравнения Клапейрона), давление смеси при повышении температуры до t_2 .

5. Для определения количества подведенной теплоты используем выражение:

$$Q = Mc(T_2 - T_1),$$

где M – масса газа (или смеси газов), кг; $(T_2 - T_1)$ – разница температур до и после нагрева, К; c – массовая теплоемкость газа (смеси газов), кДж/(кг·К) при имеющихся массовых долях газов $c = \sum_{i=1}^n c_i \cdot g_i$. В случае изохорного процесса вместо c в формулу подставляют c_V – массовую теплоемкость при постоянном объеме (уравнение Майера):

$$c_V = c_p - R,$$

где c_p – массовую теплоемкость при постоянном давлении (определяется по справочным таблицам, приведенным ниже, с использованием метода интерполяции для среднего значения интервала температуры), кДж/(кг·К); R – газовая постоянная указанной смеси газов.

В случае необходимости массовую теплоемкость можно выразить через объемную теплоемкость c' :

$$c = \frac{c'}{\rho_n},$$

при имеющихся объемных долях газов $c' = \sum_{i=1}^n c'_i \cdot r_i$,

где c_i и c'_i – массовая и объемная теплоемкость отдельных компонентов смеси.

Например, необходимо определить значение массовой теплоемкости при постоянном давлении для пропана при изменении температуры от 10 до 20 °С, т. е. среднее значение равно $x_1 = 15$ °С. В указанной ниже таблице выбираем два справочных значения, между которыми лежит наша средняя температура. Это $x_0 = 0$ °С и $x_2 = 100$ °С. Соответствующие эти температурам значения c_p обозначим $y_0 = 1,53$ и $y_2 = 1,96$. Значение массовой теплоемкости при температуре 15 °С определим по формуле:

$$y_1 = y_0 + \frac{(x_1 - x_0) \cdot (y_2 - y_0)}{(x_2 - x_0)},$$

$$y_1 = 1,53 + \frac{(15 - 0) \cdot (1,96 - 1,53)}{(100 - 0)} = 1,595.$$

Истинная массовая теплоемкость углеводородов
при $p = \text{const}$ (c_p , кДж/кг·К)

$t, ^\circ\text{C}$	Метан CH_4	Этан C_2H_6	Пропан C_3H_8	Бутан C_4H_{10}	Ацетилен C_2H_2
0	2,12	1,69	1,53	1,38	1,49
100	2,45	2,11	1,96	1,89	1,70
200	2,80	2,52	2,38	2,32	1,88
300	3,13	2,93	2,79	2,71	2,05
400	3,48	3,25	3,12	3,06	2,18
500	3,84	3,58	3,43	3,35	2,28
600	4,15	3,83	3,70	3,60	2,37
700	4,42	4,07	3,95	3,82	2,45

Истинная массовая теплоемкость газов при
 $p = \text{const}$ (c_p , кДж/кг·К)

$t, ^\circ\text{C}$	O_2	N_2	H_2	CO	CO_2	H_2O	Воздух
0	0,915	1,039	14,195	1,040	0,815	1,859	1,004
100	0,934	1,043	14,564	1,045	0,913	1,892	1,012
200	0,963	1,053	14,620	1,058	0,993	1,942	1,026
300	0,994	1,069	14,649	1,080	1,057	2,002	1,046
400	1,024	1,092	14,684	1,106	1,110	2,066	1,070
500	1,048	1,116	14,779	1,132	1,155	2,134	1,094
600	1,069	1,140	14,896	1,157	1,192	2,203	1,116
700	1,088	1,162	15,049	1,179	1,223	2,275	1,137
800	1,100	1,182	15,236	1,199	1,249	2, 347	1,157
900	1,112	1,199	15,434	1,216	1,272	2,417	1,172
1000	1,122	1,216	15,642	1,231	1,290	2,485	1,186
1100	1,132	1,229	15,861	1,244	1,306	2,548	1,199
1200	1,140	1,242	16,077	1,255	1,320	2,606	1,210
1300	1,148	1,253	16,295	1,265	1,331	2,661	1,220
1400	1,156	1,262	16,500	1,273	1,341	2,711	1,229
1500	1,164	1,270	16,697	1,280	1,350	2,758	1,237
1600	1,171	1,277	16,881	1,287	1,358	2,800	1,244
1700	1,179	1,283	17,057	1,292	1,364	2,840	1,250
1800	1,186	1,289	17,225	1,298	1,370	2,876	1,256
1900	1,193	1,294	17,381	1,303	1,375	2,910	1,262
2000	1,200	1,299	17,528	1,307	1,379	2,940	1,267
2100	1,207	1,303	17,666	1,311	1,382	2,963	1,272
2200	1,214	1,307	17,802	1,314	1,385	2,996	1,276
2300	1,221	1,311	17,926	1,377	1,387	3,020	1,280

Задача №7

Грузовой газобаллонный автомобиль осуществил заправку газового баллона до максимального значения в V литров пропан – бутановой смесью с объемными соотношениями $r_{\text{C}_3\text{H}_8}$ и $r_{\text{C}_4\text{H}_{10}}$. Температура газовой смеси в момент заправки была t давление в баллоне равно p . Определить давление в баллоне при нагреве смеси газов от солнечных лучей до t_2 . Значение плотности смеси при изменении температуры остается постоянной. Определить на сколько необходимо увеличить объем газового баллона для сохранения заданного значения давления. Исходные данные определить по табл. 5.

Таблица 5

Последняя цифра номера зачетки	r_{C3H8}	r_{C4H10}	Предпоследняя цифра номера зачетки	V , литр	t , °C	t_2 , °C	p , кг/см ²
0	0,1	0,9	0	150	11	30	15
1	0,13	0,87	1	180	16	28	12
2	0,3	0,7	2	20	13	26	7
3	0,26	0,74	3	55	9	24	14
4	0,19	0,81	4	61	15	31	10
5	0,08	0,92	5	58	14	29	16
6	0,15	0,85	6	43	12	23	9
7	0,21	0,79	7	51	18	32	11
8	0,27	0,73	8	60	10	21	8
9	0,93	0,07	9	49	16	25	17

Теоретические сведения

Для определения значения объема газового баллона необходимо воспользоваться законом Гей-Люссака (при постоянном давлении удельные объемы газа изменяются прямо пропорционально абсолютным температурам):

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

где v – удельный объем, м³/кг (обратная величина плотности вещества).

Задача №8

Кислород массой один кг из начального состояния 1 изотермически сжимается до состояния 2, а затем в изохорном процессе охлаждается до состояния 3, в котором $p_3 = p_1$. В точке 2 параметры кислорода t_2 и p_2 , в точке 3 температура t_3 . Определить значение удельного объема в точках 1,2,3, значение давления в точках 1 и 3, изменение энтропии между точками 1-2 и 2-3. Изобразить процесс 1-2-3 в $p-v$ и $T-s$ – координатах. Исходные данные определить по табл. 6.

Таблица 6

Последняя цифра номера зачетки	p_2 , МПа	Предпоследняя цифра номера зачетки	t_2 , °C	t_3 , °C
0	6,0	0	1300	310
1	6,2	1	1200	290
2	5,8	2	1400	280
3	5,4	3	1100	250
4	5,2	4	900	200
5	4,9	5	1000	210
6	6,3	6	1500	320
7	6,1	7	1250	270
8	5,3	8	1350	260
9	5,7	9	1150	220

Теоретические сведения

При решении данной задачи необходимо воспользоваться расчетом характеристик процессов представленных в таблице ниже.

Полиτροпный	Изобарный	Изохорный	Изотермический	Адиабатный
$c_x = const$	$c_x = c_p$	$c_x = c_v$	$c_x = \pm \infty$	$c_x = 0$
$pv^n = const$ $\Delta s = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1}$	$p = const$ $\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$v = const$ $\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$pv = const$ $\Delta s = R \ln \frac{p_1}{p_2}$	$pv^\kappa = const$ $\Delta s = 0$
$n = \frac{c_x - c_p}{c_x - c_v}$	$n = 0$	$n = \pm \infty$	$n = 1$	$n = \kappa$
$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n; \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}$	$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^\kappa; \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$
$l_p = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$ $l_\tau = n \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$	$l_p = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$ $l_\tau = 0$	$l_\tau = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$ $l_p = 0$	$l_p = RT_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$ $l_\tau = RT_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$	$l_p = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$ $l_\tau = n \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$
$q = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} (T_2 - T_1)$	$q = c_p (T_2 - T_1) = i_2 - i_1$	$q = c_v (T_1 - T_2) = u_1 - u_2$	$q = T_1 (s_2 - s_1)$	$ds = 0; dq = 0$
$\alpha = \frac{n-1}{n-\kappa}; \zeta = \frac{1-\kappa}{n-\kappa}$	$\alpha = \frac{1}{\kappa}; \zeta = \frac{\kappa-1}{\kappa}$	$\alpha = 1; \zeta = 0$	$\alpha = 0; \zeta = 1$	$\Delta u + l_p = 0$

Задача №9

В баллоне емкостью V литров содержится газ при давлении p_1 и температуре t_1 . Определить количество теплоты, которое следует подвести к газу, чтобы повысить температуру до t_2 . Каково будет конечное давление газа в баллоне? Исходные данные определить по табл. 7.

Таблица 7

Последняя цифра номера зачетки	Вид газа	V, литр	Предпоследняя цифра номера зачетки	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$p_1, \text{МПа}$
0	азот	15	0	-11	30	15
1	метан	18	1	-16	28	12
2	водород	20	2	-13	26	7
3	пропан	45	3	-9	24	14
4	кислород	51	4	-15	31	10
5	гелий	48	5	-14	29	16
6	метан	33	6	-12	23	9
7	бутан	41	7	-18	32	11
8	двуокись углерода	50	8	-10	21	8
9	окись углерода	39	9	-16	25	17

Обозначения и отдельные физические величины некоторых газов						
Газ	Химическая формула	Молярная масса μ , кг/кмоль	Газовая постоянная R , Дж/(кг·К)	Плотность ρ , кг/м ³	Теплоемкость при 0 °С c_p , кДж/(кг·К)	$\kappa = c_p / c_v$ при 0 °С
Азот	N_2	28,02	296,7	1,250	1,039	1,401
Аммиак	NH_3	17,03	488,3	0,771	2,060	1,336
Аргон	Ar	39,94	208,2	1,782	0,523	1,667
Ацетилен	C_2H_2	26,02	319,6	1,171	1,612	1,260
Бутан	C_4H_{10}	58,12	143,0	2,703	2,146	1,144
Воздух (сухой)		28,96	287,1	1,293	1,005	1,401
Водород	H_2	2,016	4124	0,090	14,195	1,407
Водяной пар (100 °С)	H_2O	18,02	462,3	0,804	1,859	1,330
Гелий	He	4,003	2078	0,178	5,233	1,630
Двуокись углерода	CO_2	44,01	188,9	1,977	0,815	1,300
Кислород	O_2	32,00	259,8	1,429	0,915	1,400
Метан	CH_4	16,03	318,7	0,717	2,541	1,309
Оксид углерода	CO	28,01	296,8	1,250	1,040	1,297
Пропан	C_3H_8	44,09	188,6	2,020	2,116	1,164
Сернистый газ	SO_2	64,06	129,8	2,926	0,817	1,260
Фреон R-22 ($t_{кип}$)	CHF_2Cl	86,47	96,15	4,706	0,659	1,180
Фтор	F_2	38,00	218,8	1,696	0,823	1,362
Хлор	Cl_2	70,91	117,2	3,214	0,519	1,360
Этан	C_2H_6	30,07	276,5	1,356	1,796	1,198

Задача №10

Газовая смесь в газовом баллоне автомобиля состоит из метана, этана и пропана. Масса смеси M , давление p , температура t . Объёмные доли компонентов метана (r_{CH_4}), этана ($r_{C_2H_6}$), пропана ($r_{C_3H_8}$) известны. Определить массы компонентов, их парциальные объёмы, парциальные давления. Вычислить молярную массу и газовую постоянную смеси. Найти количество теплоты, необходимое для нагрева газовой смеси на температуру $\Delta t = 10$ °С. Газовую смесь в целом и её отдельные компоненты считать идеальными газами. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 8.

Таблица 8

Последняя цифра номера зачетки	r_{CH_4}	$r_{C_2H_6}$	$r_{C_3H_8}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	M , кг	p , МПа	t , °С
0	0,76	0,14	0,1	0	25	1,16	10
1	0,98	0,01	0,01	1	27	1,13	32
2	0,78	0,11	0,11	2	29	1,1	14
3	0,96	0,03	0,01	3	30	1,01	31
4	0,94	0,02	0,04	4	33	0,99	16
5	0,8	0,12	0,08	5	36	0,96	29
6	0,82	0,1	0,08	6	38	0,95	28
7	0,93	0,05	0,02	7	45	0,93	19
8	0,85	0,09	0,06	8	42	0,91	22
9	0,87	0,07	0,06	9	54	0,83	25

Задача №11

Газ находился в цилиндре с поршнем диаметром D . После того, как газ нагрели, сообщив ему количество теплоты в Q , поршень сдвинулся на расстояние L . Как изменилась внутренняя энергия газа, если его давление осталось равным 2 МПа. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 9.

Таблица 9

Последняя цифра номера зачетки	D , мм	Q , Дж	Предпоследняя цифра номера зачетки	L , мм
0	76	$1,5 \cdot 10^5$	0	200
1	98	$1,2 \cdot 10^5$	1	120
2	78	$2,1 \cdot 10^5$	2	150
3	96	$1,8 \cdot 10^5$	3	190
4	94	$0,95 \cdot 10^5$	4	220
5	80	$1,6 \cdot 10^5$	5	95
6	82	$1,9 \cdot 10^5$	6	145
7	93	$1,0 \cdot 10^5$	7	180
8	85	$1,1 \cdot 10^5$	8	70
9	87	$1,4 \cdot 10^5$	9	250

Теоретические сведения

Согласно первому закону термодинамики изменение внутренней энергии зависит от значения подведенной теплоты и совершаемой работы:

$$\Delta U = Q - A,$$

где ΔU – изменение внутренней энергии, Дж; Q – подведенная теплота или изменение энтальпии (ΔH) (теплосодержания), Дж; A – выполненная работа, Дж.

Изменение внутренней энергии может определяться по следующим формулам:

$$\Delta U = \frac{i p \Delta V}{2} = \frac{i M R \Delta T}{2 \mu} = \frac{M c_v \Delta T}{2 \mu},$$

где i – число степеней свободы (для одноатомных газов $i = 3$, для двухатомных газов $i = 5$, для трехатомных и более газов $i = 6$).

Подведенная теплота определяется:

$$Q = \Delta H = M c_{v(p)} (T_2 - T_1).$$

Выполненная работа определяется:

$$A = p \Delta V.$$

Задача №12

Газ нагрели при постоянном давлении p . Объем газа увеличился с V_1 до V_2 . Определить изменение внутренней энергии кислорода, работу, совершенную газом, и количество теплоты, сообщенное ему. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 10.

Таблица 10

Последняя цифра номера зачетки	Вид газа	p , кПа	Предпоследняя цифра номера зачетки	V_1 , м ³	V_2 , м ³
0	азот	76	0	1	3
1	метан	98	1	0,9	4
2	водород	78	2	1,2	3,5
3	пропан	96	3	1,3	3,8
4	кислород	94	4	1,8	4,2
5	гелий	80	5	1,6	3,3
6	метан	82	6	1,5	3,1
7	бутан	93	7	1,9	3,9
8	двуокись углерода	85	8	2,0	4,1
9	окись углерода	87	9	1,4	3,7

Задача №13

В закрытой емкости объемом V_1 находится газ при температуре T_1 . Какая установится температура газа, если произойдет смешивание имеющегося объема газа с добавленным этого же вида газа в объеме V_2 при температуре T_2 ? Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 11.

Таблица 11

Последняя цифра номера зачетки	Вид газа	T_1 , °C	T_2 , °C	Предпоследняя цифра номера зачетки	V_1 , дм ³	V_2 , дм ³
0	азот	15	66	0	100	30
1	метан	18	68	1	90	40
2	водород	12	58	2	120	35
3	пропан	14	56	3	130	38
4	кислород	19	64	4	180	42
5	гелий	13	50	5	160	33
6	метан	16	52	6	150	31
7	бутан	10	53	7	190	39
8	двуокись углерода	20	65	8	200	41
9	окись углерода	21	77	9	140	37

Теоретические сведения

Объем, имеющий меньшую температуру t_1 , обозначим через V_1 , объем, имеющий большую температуру t_2 , обозначим через V_2 . При смешении количество теплоты, которое отдается от горячего объема равно количеству теплоты, которое получает холодный объем (уравнение теплового баланса):

$$Q_1 = Q_2.$$

После смешения весь объем газа будет иметь температуру t . Тогда

$$M_1 c_p (T - T_1) = M_2 c_p (T_2 - T).$$

Если выразить массу через плотность и провести преобразования уравнения можно определить искомую температуру.

Задача №14

При заполнении воздушным компрессором ресиверов пневматического тормозного привода автомобиля давлением p температура воздуха поднялась с T_1 до T_2 . Определить значение изменения внутренней энергии, подведенной теплоты и работы при накачке воздухом, если объем ресиверов равен V . Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 12.

Таблица 12

Последняя цифра номера зачетки	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$p, \text{кг/см}^2$	$V, \text{литр}$
0	15	36	0	7,6	100
1	18	38	1	9,8	140
2	12	28	2	7,8	135
3	14	26	3	9,6	148
4	19	34	4	9,4	122
5	13	30	5	8,0	113
6	16	32	6	8,2	151
7	10	33	7	9,3	139
8	20	35	8	8,5	131
9	21	37	9	8,7	157

Задача №15

Шина, наполненная азотом, имеет не герметичный золотник. Азот, первоначально находившийся при давлении p очень медленно выходит из шины при температуре T . Чему равно изменение энтропии, приходящееся на 1 кг азота? Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 13.

Таблица 13

Последняя цифра номера зачетки	$T, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$p, \text{кг/см}^2$
0	15	0	7,6
1	18	1	9,8
2	12	2	7,8
3	14	3	9,6
4	19	4	9,4
5	13	5	8,0
6	16	6	8,2
7	10	7	9,3
8	20	8	8,5
9	21	9	8,7

Задача №16

Найти приращение энтропии газа, массой m :

1. При нагревании его в изобарном процессе от 20 до 400 $^\circ\text{C}$.
2. При нагревании его в изохорном процессе от 20 до 880 $^\circ\text{C}$.
3. При изотермическом расширении с увеличением его объема в 15 раз.

Теплоемкость в процессах принимать при средних температурах. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 14.

Таблица 14

Последняя цифра номера зачетки	Вид газа	Предпоследняя цифра номера зачетки	m , кг
0	азот	0	10
1	метан	1	9
2	водород	2	12
3	пропан	3	13
4	кислород	4	18
5	гелий	5	16
6	метан	6	15
7	бутан	7	19
8	двуокись углерода	8	20
9	окись углерода	9	14

Теоретические сведения

В случае, если масса вещества более 1 кг, то формулы по расчету энтропии имеют вид:

для изобарного процесса $\Delta s = Mc_p \ln \frac{T_2}{T_1}$,

для изохорного процесса $\Delta s = Mc_v \ln \frac{T_2}{T_1}$,

для изотермического процесса $\Delta s = MR \ln \frac{p_1}{p_2}$,

где c_p и c_v – массовые теплоемкости при постоянном давлении и объеме соответственно.

Задача №17

Парогенератор, предназначенный для выпаривания цистерн бензовозов, использует перегретый пар с температурой T_1 600 °С. В холодильник парогенератора может подаваться обратная вода с температурой T_2 или водопроводная вода с температурой T_3 . Чему равен максимальный коэффициент полезного действия, который может быть получен в заданных условиях при использовании каждого из двух вариантов подачи воды? Какой вариант наиболее эффективен? Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 15.

Таблица 15

Последняя цифра номера зачетки	T_1 , °С	Предпоследняя цифра номера зачетки	T_2 , °С	T_3 , °С
0	650	0	36	15
1	680	1	38	18
2	620	2	28	12
3	640	3	26	14
4	690	4	34	19
5	630	5	30	13
6	660	6	32	16
7	600	7	33	10
8	720	8	35	20
9	750	9	37	21

Теоретические сведения

Как известно максимальный КПД имеет тепловая система (машина), работающая по циклу Карно. КПД цикла Карно выражается формулой:

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Задача №18

Один киломоль воздуха совершает цикл Карно двигателя Стирлинга в интервале температур от T_2 до T_1 . Известно, что максимальное за цикл давления p_{\max} , минимальное p_{\min} , а давление в конце изотермического расширения равно p . Определить количество теплоты Q_1 , полученного от нагревателя за цикл, КПД цикла (η_t), количество теплоты Q_2 , отданного холодильнику за цикл, работу, совершенную за цикл (A). При расчете параметров использовать диаграмму цикла Карно в координатах p, V (см. рисунок).

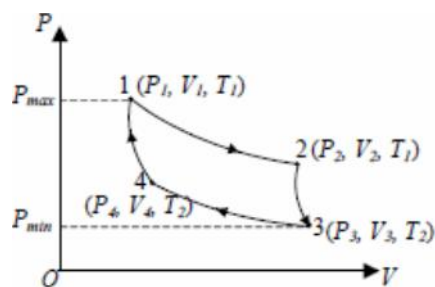


Рисунок – Цикл Карно

Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 16.

Таблица 16

Последняя цифра номера зачетки	p_{\max} , МПа	p_{\min} , МПа	p , МПа	Предпоследняя цифра номера зачетки	T_1 , °C	T_2 , °C
0	10	2	7	0	350	70
1	10,5	1,9	6,5	1	380	68
2	11	2,1	7,2	2	320	58
3	12	2,4	7,5	3	340	56
4	11,5	2,2	6,8	4	390	64
5	12,1	2,3	6,9	5	430	50
6	11,3	1,8	6,3	6	460	52
7	10,8	2,5	6,1	7	400	53
8	10,9	2,6	7,4	8	420	65
9	11,7	1,7	7,7	9	370	77

Теоретические сведения

Отношение массы вещества к его молярной массе дает значение киломолей вещества. Максимальное значение давления и температуры соответствует точке 1, минимальное значение давления и температуры соответствует точке 3. На участке 1-2 происходит изотермическое расширение с подводом теплоты Q_1 , 2-3 – адиабатное расширение, 3-4 – изотермическое сжатие с отводом теплоты Q_2 , 4-1 – адиабатное сжатие. Согласно первому закону термодинамики $Q_1 = \Delta U + A$, но для изменения внутренней энергии требуется изменение температуры, чего не наблюдается в изотермических процессах. Соответственно $Q_1 = A$. Значение работы при изотермическом процессе можно определить по формуле:

$$A = \frac{M}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Для изотермического процесса применим закон Бойля-Мариотта, согласно которому

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}.$$

Для определения теплоты Q_2 необходимо воспользоваться формулой для определения КПД цикла Карно через изменения теплоты:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Работа, совершенная за цикл, определяется через КПД цикла $A = Q_1 \cdot \eta_t$.

Задача №19

Для поддержания в салоне автомобиля температуры t_2 кондиционером, работающим по обратному циклу Карно, ежедневно дополнительно расходуется 0,5 литра бензина (плотность 0,76 кг/дм³). Определить температуру t_1 окружающей среды и количество отводимого тепла из салона автомобиля Q_2 , если холодильный коэффициент ε . При расчете параметров использовать схему теплообмена (см. рисунок).

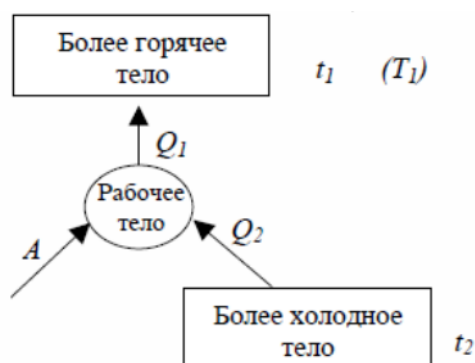


Рисунок – Схема теплообмена

Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 17.

Таблица 17

Последняя цифра номера зачетки	ε	Предпоследняя цифра номера зачетки	$t_2, ^\circ\text{C}$
0	20	0	18
1	19	1	20
2	18	2	22
3	21	3	24
4	22	4	19
5	23	5	23
6	17	6	21
7	19,5	7	23,5
8	20,5	8	22,5
9	18,5	9	21,5

Теоретические сведения

Более холодным телом является салон автомобиля, более горячим телом является окружающая среда, в которую отводится тепло.

Количество теплоты, получаемое при сгорании топлива определяется по формуле:

$$Q_1 = M_T \cdot H_T,$$

где M_T – масса топлива, кг; H_T – низшая теплота сгорания топлива (для бензинов 44000 кДж/кг).

Для определения деления теплоты Q_2 необходимо воспользоваться формулой для определения холодильного коэффициента:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

Работа, совершенная за цикл, определяется через холодильный коэффициент цикла $A = Q_2 \cdot \varepsilon$.

Задача № 20

При определении состояния влажного воздуха было зафиксировано, что «сухой» термометр показывает температуру T_1 , а «мокрый» T_2 . Используя h, d - диаграмму влажного воздуха определить значение влагосодержания d , относительной влажности φ , энтальпии h , а также температуру точки росы этого воздуха. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 18.

Таблица 18

Последняя цифра номера зачетки	$T_1, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$T_2, ^\circ\text{C}$
0	20	0	15
1	25	1	18
2	45	2	19
3	60	3	26
4	55	4	14
5	70	5	30
6	80	6	22
7	65	7	23
8	35	8	25
9	75	9	27

Задача № 21

Воздух температурой T_1 и относительной влажностью φ нагревают до T_2 . Необходимо определить параметры нагретого воздуха (влагосодержание d , относительную влажность φ , энтальпию h). Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 19.

Таблица 19

Последняя цифра номера зачетки	$T_1, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$T_2, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
0	20	0	35	70
1	25	1	40	10
2	45	2	50	20
3	38	3	54	5
4	55	4	60	60
5	50	5	58	50
6	23	6	45	30
7	28	7	52	80
8	35	8	64	40
9	44	9	56	90

Задача № 22

Воздух температурой T_1 и относительной влажностью φ охлаждают до T_2 . Необходимо определить параметры охлажденного воздуха (влажность d , относительную влажность φ , энтальпию h). Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 20.

Таблица 20

Последняя цифра номера зачетки	$T_1, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$T_2, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
0	50	0	20	70
1	55	1	25	10
2	65	2	45	20
3	68	3	38	5
4	70	4	55	60
5	60	5	50	50
6	46	6	23	30
7	52	7	28	80
8	69	8	35	40
9	72	9	44	90

Задача № 23

Внешний воздух в холодный период года с температурой T_1 , энтальпией h и расходом M_1 смешивается с воздухом внутри помещения с температурой T_2 , влажностью φ и расходом M_2 . Определить параметры смешанного воздуха (d г/кг, t $^\circ\text{C}$, φ %, h кДж/кг). Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 21.

Таблица 21

Последняя цифра номера зачетки	$T_1, ^\circ\text{C}$	$h, \text{кДж/кг}$	$M_1, \text{кг/час}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$T_2, ^\circ\text{C}$	$M_2, \text{кг/час}$	$\varphi, \%$
0	0	2	200	0	20	500	70
1	-5	-2	180	1	25	520	10
2	-8	-6	230	2	26	450	20
3	-6	-2	150	3	28	480	5
4	2	10	220	4	24	510	60
5	1	6	170	5	20	550	50
6	-7	-3	160	6	23	490	30
7	-3	1	190	7	27	460	80
8	-4	4	210	8	21	540	40
9	-1	8	240	9	29	530	90

Теоретические сведения

Для этого на диаграмме находим точки, соответствующие параметрам внутреннего и наружного воздуха, и обозначаем их как т. А ($t = -10^\circ$, $h = -8$ кДж/кг) и В ($t = 26^\circ$, $\varphi = 60\%$) и соединяем их между собой.

Далее для определения параметров в точке С необходимо линейкой измерить длину отрезка АВ. И не забываем о соотношении $M_a/M_b = BC/AC$. Теперь необходимо решить систему уравнений:

Например, если длина нашего отрезка 146 мм, то есть $BC + AC = 146$, тогда $AC = 146 - BC$. Подставляем значение BC в второе уравнение: $(146 - BC)/BC = M_a/M_b$ (M_a – расход внешнего воздуха, M_b – расход внутреннего воздуха) после решения уравнения получаем значение отрезка BC и AC . Отмеряем от точки А полученное значение и ставим точку С и

определяем по h, d - диаграмму влажного воздуха все параметры т. С.

Задача №24

Подобрать производительность вентилятора для учебной аудитории, чтобы обеспечить комфортные условия (температуру помещения $t_{\text{вн}} = 20$ °С и относительную влажность $\varphi_{\text{вн}} = 60$ %) для работы студентов в количестве N человек. Наружный воздух имеет температуру $t_{\text{н}}$ и относительную влажность $\varphi_{\text{н}}$. Плотность воздуха составляет $\rho_{\text{в}}$. Каждый студент выделяет теплоту в размере 163 Вт, а влаги в размере 105 г/ч. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 22.

Таблица 22

Последняя цифра номера зачетки	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	N , чел.	Предпоследняя цифра номера зачетки	$\rho_{\text{в}}, \text{кг/м}^3$	$\varphi_{\text{н}}, \%$
0	6	20	0	1,269	70
1	8	18	1	1,247	90
2	2	17	2	1,292	80
3	0	22	3	1,292	85
4	7	10	4	1,269	75
5	10	14	5	1,247	88
6	11	12	6	1,247	82
7	12	11	7	1,247	77
8	9	13	8	1,247	74
9	5	15	9	1,269	73

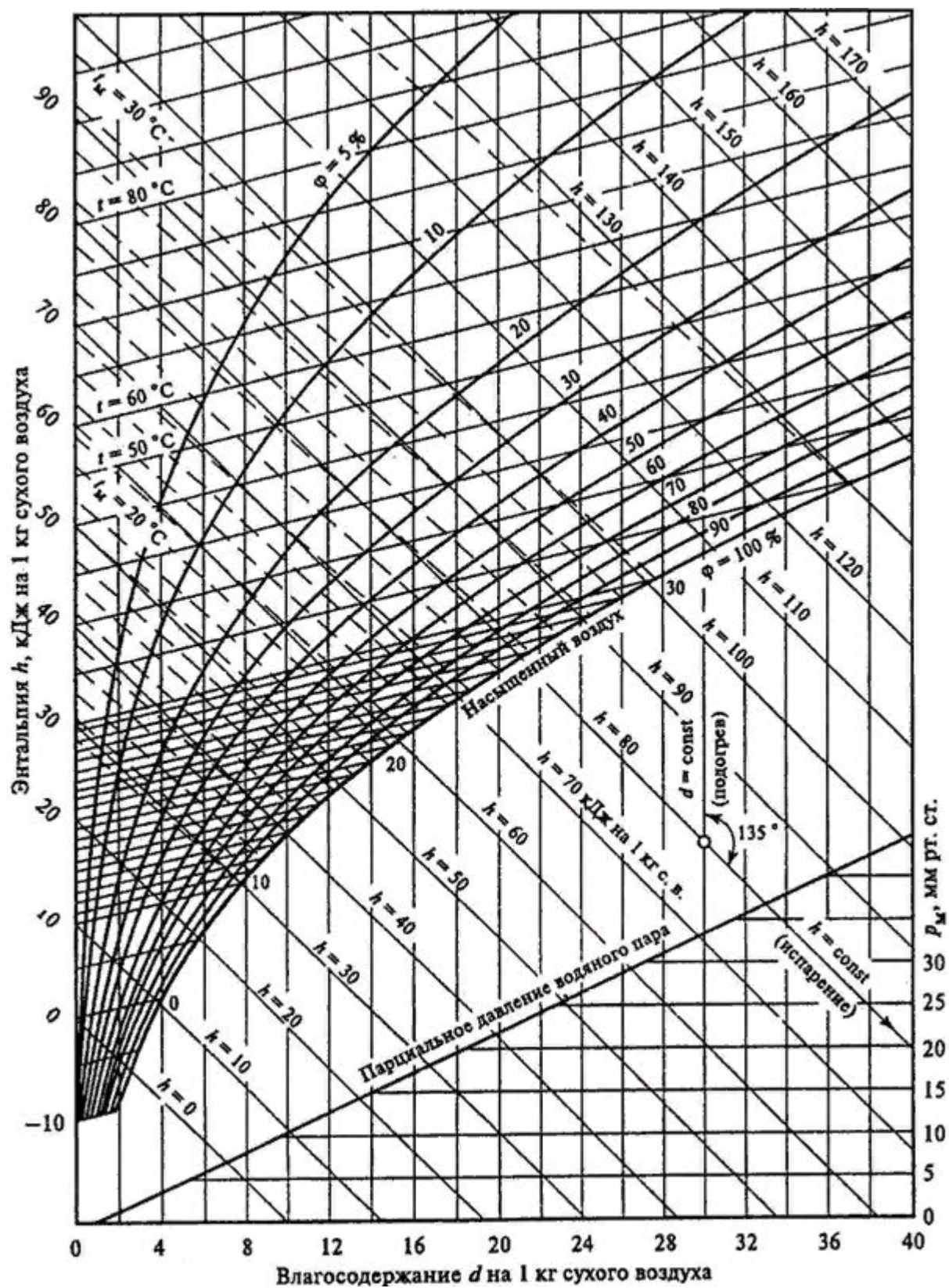
Теоретические сведения

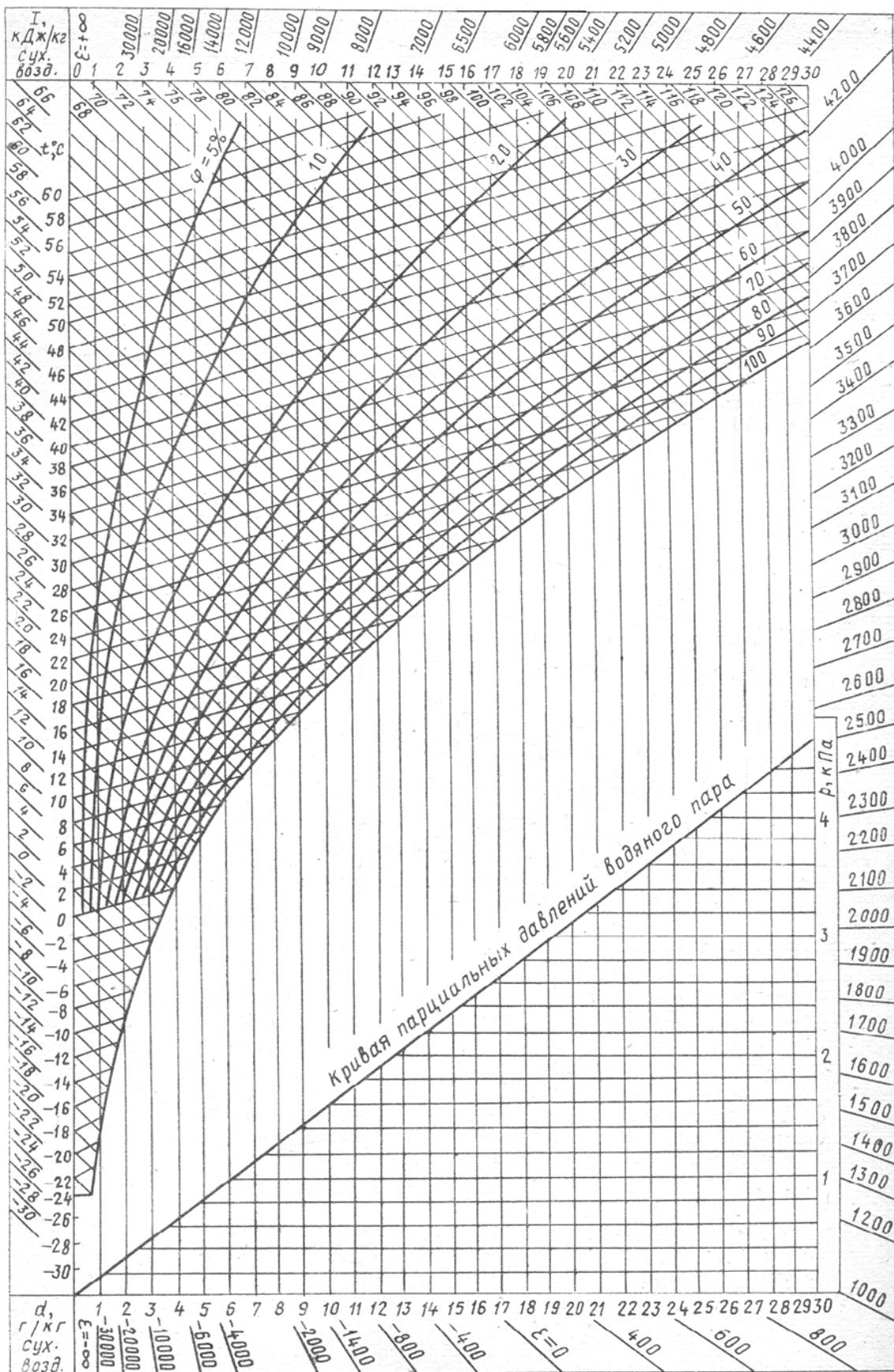
1. Определяем значение энтальпии и влагосодержания для наружного воздуха и воздуха в помещении.
2. Определяем количество производимой теплоты ($Q_{\text{изб}}$) и влаги ($W_{\text{изб}}$) всеми студентами.
3. Определяем необходимую производительность вентилятора для удаления образующейся теплоты:

$$V_{Q_{\text{изб}}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{изб}}}{\rho_{\text{в}}(h_{\text{вн}} - h_{\text{н}})}.$$

4. Определяем необходимую производительность вентилятора для удаления образующейся влаги:

$$V_{W_{\text{изб}}} = \frac{1000 \cdot W_{\text{изб}}}{\rho_{\text{в}}(d_{\text{вн}} - d_{\text{н}})}.$$





h, d - диаграмма влажного воздуха

Задача №25

Воздух из колеса автомобиля с постоянным давлением p_0 и температурой T_0 вытекает в атмосферу с давлением $p = 1$ атм через трубку внутренним диаметром d . Определить скорость истечения и секундный массовый расход воздуха. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 23.

Таблица 23

Последняя цифра номера зачетки	p_0 , атм	T_0 , К	Предпоследняя цифра номера зачетки	d , мм
0	10	293	0	5,0
1	8	298	1	3,0
2	4	288	2	3,5
3	5	283	3	4,2
4	7	295	4	4,8
5	9	273	5	3,8
6	8,5	270	6	4,9
7	6	290	7	4,0
8	5,5	277	8	4,4
9	9,3	292	9	3,9

Теоретические сведения.

При вытекании воздуха через трубку небольшого сечения процесс считается адиабатным, а трубка суживающимся соплом.

Для выбора расчетных формул необходимо определить коэффициент отношения давлений $\beta = p/p_0$. Если, если $\beta > \beta_{кр}$ (критический коэффициент отношения давлений), то режим истечения газа будет дозвуковой и в любом сечении потока при известном давлении скорость движения (ω , м/с) и секундный массовый расход (m' , кг/с) определяются по формулам (величины давлений в формулах подставляют в Па):

$$\omega = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 v_0 \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]},$$

$$m' = F \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_0}{v_0} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} = F \frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]},$$

где k – показатель адиабаты для данного компонента (см. табл. ниже); R – газовая постоянная компонента, Дж/кг·К; F – площадь поперечного сечения сопла, м²; v_0 – удельный объем, м³/кг; ρ_0 – плотность, кг/м³.

Газ, среда	k
Воздух, водород, окись углерода, азот, кислород	1,4
Метан, углекислый газ	1,3
Пары воды	1,135
Аргон, гелий	1,67
Ацетилен	1,24
Хлор	1,36
Сернистый газ	1,29
Сероводород	1,34

Если $\beta < \beta_{кр}$, то режим истечения газа через суживающееся сопло будет звуковой. Тогда при известном давлении скорость движения (ω , м/с) и секундный массовый расход (m' , кг/с) определяются по формулам:

$$\omega = \omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_0} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} p_0 v_0} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{p_0}{\rho_0}},$$

$$m' = F \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_0}{v_0} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}} = F \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot p_0 \rho_0 \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}}.$$

Значения критического коэффициента отношения давлений для различных значений показателя адиабаты можно определить по формуле:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Задача №26

Колесо автомобиля закачивается из ресивера компрессора воздухом до абсолютного давления p . Объем колеса V , внутренний диаметр штуцера для подачи воздуха d . Давление воздуха в ресивере p_p , температура 18 °С. Определить время закачки колеса, приняв среднюю температуру воздуха в нём 29°С. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 24.

Таблица 24

Последняя цифра номера зачетки	p , бар	V , литр	Предпоследняя цифра номера зачетки	d , мм	p_p , МПа
0	3,8	32	0	5,0	0,6
1	2,5	64	1	3,0	0,8
2	1,4	28	2	3,5	0,7
3	3,5	71	3	4,2	0,65
4	2,7	55	4	4,8	0,55
5	1,9	60	5	3,8	0,75
6	1,5	50	6	4,9	0,62
7	2,6	45	7	4,0	0,74
8	3,0	49	8	4,4	0,72
9	2,3	69	9	3,9	0,79

Задача №27

Определить размеры сечения форсунки пескоструйного аппарата, которая должна работать при максимальной скорости струи воздуха с максимальным расходом воздуха. Расчет провести в двух вариантах выполнения форсунки: в виде суживающегося сопла и в виде сопла Лавали (дополнительно определить диаметр выходного сечения и длину сопла Лавали). Пескоструйный аппарат запитан от компрессора развивающего давление p бар и производительностью G л/мин. Температура воздуха t °С. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 25.

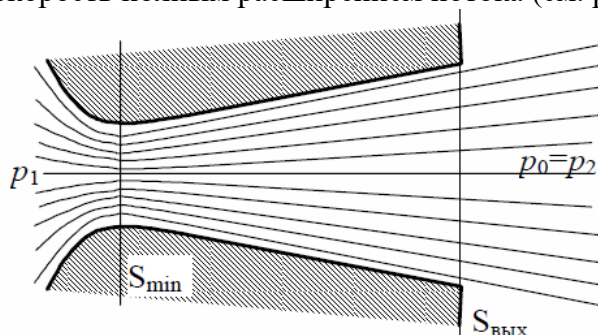
Таблица 25

Последняя цифра номера зачетки	p , бар	G , л/мин	Предпоследняя цифра номера зачетки	t , °C
0	8	250	0	20
1	7,5	300	1	30
2	9	320	2	15
3	9,2	280	3	29
4	9,5	390	4	17
5	7,8	370	5	28
6	7,9	260	6	27
7	8,2	270	7	21
8	8,4	330	8	24
9	8,7	340	9	26

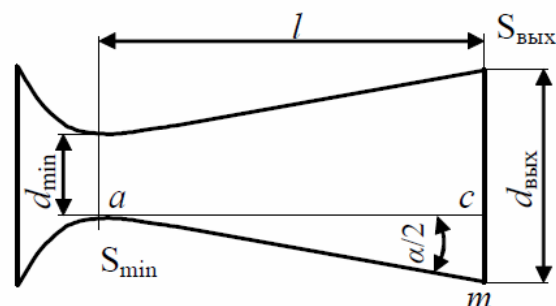
Теоретические сведения.

При вытекании воздуха через трубку небольшого сечения процесс считается адиабатным. Если форсунка является суживающимся соплом, то для расчета применяем формулы, представленные выше.

Сопло Лавalia – это сопло, позволяющее на выходе развить сверхкритическую скорость полным расширением потока (см. рисунок).



Характер режима истечения газа или пара через сопло Лавalia при $p_0/p_1 < \beta$



Профилирование сопла Лавalia

Площадь минимального сечения сопла Лавalia, м²:

$$S_{min} = \frac{m_{max}}{\sqrt{k \cdot \frac{p_1}{v_1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}} = \frac{m_{max}}{\sqrt{k \cdot p_1 \rho_1 \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}}$$

где m_{max} – максимальный секундный массовый расход (кг/с).

Площадь выходного сечения сопла Лавalia можно вычислить по формуле:

$$S_{вых} = \frac{m_{max}}{\sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} = \frac{m_{max}}{\sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot p_1 \rho_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}}$$

где p_1 – давление на входе сопла Лавalia, Па; p_2 или p_0 – давление на выходе из сопла Лавalia, Па; v_1 – удельный объем на входе сопла Лавalia, м³/кг; ρ_0 – плотность на входе сопла Лавalia, кг/м³.

Угол α выбирается в пределах 10...12°. При больших значениях угла α происходит отрыв струек потока от стенки сопла и образование вихрей. При меньших значениях α длина расширяющейся части сопла l получается излишне большой, что увеличивает потери на трение между потоком и стенками сопла и поэтому уменьшается скорость истечения рабочего тела.

Длину расширяющейся части сопла можно определить по формуле:

$$l = \frac{d_{\text{вых}} - d_{\text{min}}}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где $d_{\text{вых}}$ – диаметр выходного сечения сопла Лавала, м; d_{min} – диаметр минимального сечения сопла Лавала, м.

Задача № 28

Стена печи сложена из огнеупорного материала толщиной δ , коэффициент теплопроводности λ . При работе печи в стационарных условиях температура на внутренней стенке T_1 , на внешней T_2 . Определить тепловой поток через участок стены шириной S и длиной L . Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 26.

Таблица 26

Последняя цифра номера зачетки	δ , мм	λ , Вт/(м·°C)	T_1 , К	Предпоследняя цифра номера зачетки	T_2 , К	S , м	L , м
0	150	0,8	400	0	250	0,5	1,2
1	300	0,7	620	1	300	0,8	1,5
2	320	0,6	550	2	150	0,55	1,7
3	280	0,65	650	3	290	0,73	2,0
4	390	0,75	500	4	170	0,6	1,6
5	370	0,85	420	5	280	0,65	2,2
6	260	0,62	450	6	270	0,75	1,3
7	270	0,73	490	7	210	0,58	2,1
8	330	0,81	520	8	240	0,7	2,4
9	340	0,76	540	9	260	0,68	1,9

Теоретические сведения.

Плотность теплового потока внутри твердой стенки, Вт/м²:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2).$$

Потери тепла через площадь F , Вт:

$$Q = q \cdot F.$$

Задача № 29

Воздух помещения нагрет до температуры T_1 . В помещении установлена холодильная установка с площадью радиатора F коэффициент теплопередачи на поверхности радиатора α . Температура поверхности радиатора T_2 . Определить тепловой поток через радиатор охлаждения. Численные значения исходных данных принять по таблице табл. 27.

Таблица 27

Последняя цифра номера зачетки	α , Вт/(м·°C)	T_1 , °C	Предпоследняя цифра номера зачетки	T_2 , °C	F , м ²
0	11	30	0	10	1,5
1	10,7	33	1	9	2,8
2	12,6	25	2	8	3,5

Последняя цифра номера зачетки	α , Вт/(м·°C)	T_1 , °C	Предпоследняя цифра номера зачетки	T_2 , °C	F , м ²
3	11,5	26	3	11	1,7
4	9,7	27	4	7	2,6
5	9,8	28	5	12	2,5
6	10,6	34	6	6	3,7
7	11,3	32	7	13	1,8
8	10,1	29	8	14	2,7
9	11,7	31	9	15	1,6

Теоретические сведения.

Плотность теплового потока от горячего теплоносителя к поверхности определяется уравнением теплопередачи, Вт/м²:

$$q = \alpha(t_{\text{ж}} - t_{\text{с}}).$$

Задача № 30

Наружная стена помещения выполнена из красного кирпича, имеющего коэффициент теплопроводности $\lambda_2 = 0,44$ Вт/(м·°C), изнутри стена покрыта слоем гипсовой штукатурки с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 0,3$ Вт/(м·°C), снаружи – облицовочным материалом с коэффициентом теплопроводности $\lambda_3 = 1,75$ Вт/(м·°C). Площадь стены F , м². Температура воздуха в помещении 22 °C. Коэффициент теплопередачи на внутренней поверхности стены $\alpha_1 = 10$ Вт/(м·°C). Определить суточные потери теплоты через стену. Вычислить температуры на поверхностях слоев и построить график изменения температуры по толщине стены. Толщины слоев штукатурки δ_1 , кирпича δ_2 , внешней облицовки δ_3 , а также температуру наружного воздуха $t_{\text{ж}2}$ и коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности стены α_2 определить по табл. 28.

Таблица 28

Последняя цифра номера зачетки	δ_1 , мм	δ_2 , мм	δ_3 , мм	Предпоследняя цифра номера зачетки	$t_{\text{ж}2}$, °C	α_2 , Вт/(м·°C)	F , м ²
0	5	150	30	0	-20	5	10
1	7	170	31	1	-21	7	12
2	9	190	32	2	-23	8	8
3	11	220	33	3	-24	11	16
4	13	240	34	4	-26	12	15
5	14	260	35	5	-27	15	14
6	15	270	36	6	-28	16	22
7	16	300	37	7	-30	20	21
8	17	330	38	8	-32	18	20
9	18	360	39	9	-34	14	19

Теоретические сведения.

Плотность теплового потока через многослойную плоскую стенку, каковой можно считать стену помещения, определяют по формуле, Вт/м²:

$$q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где i – номер слоя; n – число слоев стенки.

При стационарном режиме теплопередачи температуры на внешних поверхностях стены и на границах между слоями могут быть последовательно найдены из выражений плотности теплового потока.

Плотность теплового потока на поверхности стены, Вт/м²:

$$q = \alpha(t_{ж} - t_c).$$

Плотность теплового потока внутри твердой стенки, Вт/м²:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2).$$

Общее количество теплоты переданной через стену, Дж:

$$Q_{\tau} = q \cdot F \cdot \Delta\tau,$$

$\Delta\tau$ – продолжительность теплообмена, сек.

Задача № 31

Радиатор отопления помещения выполнен из труб с внешним диаметром $d_2 = 130$ мм, длиной L (м) и толщиной стенки 6 мм. Определить количество теплоты выделяемое радиатором отопления в течении суток и вычислить температуры на поверхностях радиатора. Температура воздуха помещения t_b , температура теплоносителя (воды) $t_{ж}$, коэффициент теплопередачи на внутренней поверхности радиатора α_1 , коэффициент теплопередачи на внешней поверхности радиатора α_2 , коэффициент теплопроводности материала труб λ . Значения коэффициентов определить по табл. 29.

Таблица 29

Последняя цифра номера зачетки	$t_b, ^\circ\text{C}$	$L, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	Предпоследняя цифра номера зачетки	$\alpha_1, \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha_2, \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	$t_{ж}, ^\circ\text{C}$
0	15	1,1	30	0	1000	5	60
1	17	1,2	31	1	1100	7	62
2	19	1,4	32	2	1150	8	64
3	21	2,8	33	3	1260	11	66
4	23	2,3	34	4	1310	12	68
5	24	3,2	35	5	1420	15	70
6	25	2,9	36	6	1560	16	71
7	26	1,9	37	7	1630	20	73
8	27	1,6	38	8	1725	18	74
9	28	1,7	39	9	1800	14	75

Теоретические сведения.

Плотность теплового потока от горячего теплоносителя к поверхности определяется уравнением теплопередачи:

$$q = \alpha_1(t_{\text{ж}} - t_{\text{рвнут}})\pi r_1;$$

внутри твердой стенки по уравнению теплопроводности:

$$q = \frac{2\pi\lambda}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}(t_{\text{рвнут}} - t_{\text{рвнеш}});$$

от холодной поверхности стенки к холодному теплоносителю:

$$q = \alpha_2(t_{\text{рвнеш}} - t_{\text{в}})2\pi r_2.$$

Плотность теплового потока через цилиндрическую стенку, каковой можно считать трубу радиатора, определяют по формуле, Вт/м²:

$$q = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\alpha_1 \pi d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2}}.$$