

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Тракторы, автомобили и энергетические установки”

Т Е П Л О Т Е Х Н И К А

Методические указания и контрольные задания для студентов заочных
отделений Института механизации и технического сервиса

Казань-2021

УДК 536(07)
ББК 22.317

Методические указания предназначены для студентов 2 и 3 курсов заочных отделений Института механизации и технического сервиса.

Методические указания составлены доцентам кафедры “Тракторы, автомобили и энергетические установки” Халиуллиным Ф. Х.

Рассмотрены и рекомендованы к печати на заседании кафедры “Тракторы, автомобили и энергетические установки” КГАУ2021 г. (протокол №)

Методические указания одобрены и рекомендованы к печати на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса КГАУ2021 г. (протокол №)

Рецензенты:

Доцент кафедры Эксплуатация и ремонт машин Казанского ГАУ
Матяшин А.В.

Ст преп. кафедры Автомобильные двигатели и сервис КНИТУ-КАИ
Гаврилов А.М.

Казанский государственный аграрный университет

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

К решению задач контрольного задания следует приступить только после изучения соответствующего раздела курса. До выполнения контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе и по примерам задач, приведенных в данной работе.

Задания к контрольной работе включает в себя пять задач. (Варианты задач определяет преподаватель).

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- а) обязательно записать условия задач;
- б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом в котором должны быть указаны, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулы (из условий задач, из справочника, определена ранее и т.п.) ;
- в) вычисление давать в развернутом виде;
- г) обязательно проставить размерности всех заданных и расчетных величин(см. табл. 1 и 2 в этой работе);
- д) графический материал должен быть выполнен четко и в масштабе.

После решения задачи следует сделать краткий анализ полученных результатов и соответствующие выводы.

В конце работы следует привести список литературы, на которую имеются ссылки в работе, указать дату окончания работы и подписать ее.

Таблица 1

Соотношение между единицами измерения давления.

Единицы измерения	Килограмм сила на кв. метр, кгс/м ²	Ньютон на кв. метр, Н/м ²	Техническая атмосфера, атм	Физическая атмосфера, атм	Миллиметр ртутного ст. мм рт. ст.	Миллиметр водяного ст. мм вод. ст.
1 кгс/м ²	1	9,81	1•10 ⁴	9,68•10 ⁻⁵	735,6•10 ⁻⁴	1
1 Н/м ²	0,102	1	1,02•10 ⁴	9,87•10 ⁻⁶	750,06•10 ⁻⁵	0,102
1 ат	1•10 ⁴	9,81•10 ⁴	1	0,968	735,6	10 ⁴
1 атм	10330	101325	1,033	1	760	10330
1 мм рт. ст.	13,6	133,32	13,56•10 ⁴	13,16•10 ⁻⁴	1	13,6
1мм вод. ст.	1	9,81	•10 ⁴	9,68•10 ⁻⁵	735,6•10 ⁻⁴	1

Таблица 2

Соотношение между единицами измерения энергии.

Единицы измерения	Килоджоули, кДж	Килокалории, ккал	Киловатт - часы, кВт ч	Килограммометры, кгс м
1 кДж	1	0,240	2,78•10 ⁻³	102
1 ккал	4,187	1	1,16•10 ⁻³	427
1 кВт ч	3600	860	1	3,67•10 ⁵
1 кгс м	9,81•10 ⁻³	2,34•10 ⁻³	2,72•10 ⁻⁶	1

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

1.1 Обозначение основных величин, применяемых в технической термодинамике

v - объем произвольного количества газа, м^3

v – удельный объем газа, $\text{м}^3/\text{кг}$

m - масса газа, кг

v_μ – объем одного киломоля газа, $\text{м}^3/\text{кмоль}$

p - давление, Па ($\text{Н}/\text{м}^2$)

T - абсолютная температура, К

t - температура по шкале Цельсия, $^\circ\text{C}$

Q - количество теплоты, Дж (кДж)

q - удельное количество теплоты, $\text{Дж}/\text{кг}$ ($\text{кДж}/\text{кг}$)

c - массовая теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, ($\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$)

c' - объемная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, ($\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$)

μc - молярная (молярная) теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$, ($\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$)

c_v - теплоемкость при постоянном объеме

c_p - теплоемкость при постоянном давлении

L - произвольное количество работы, Дж , (кДж)

l - удельная работа, $\text{Дж}/\text{кг}$ ($\text{кДж}/\text{кг}$)

R - удельная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

μR - универсальная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$,
($\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$)

μ - молярная масса, $\text{кг}/\text{кмоль}$

1.2 Уравнение состояния и термодинамические процессы идеального газа

Параметрами состояния термодинамической системы (рабочего тела-газа) являются: давление (абсолютное) p , температура T и удельный объем v

Их соотношение устанавливается уравнением состояния:

для одного килограмма газа

$$pv = RT;$$

для m кг газа

$$pV = mRT;$$

для одного кмолья газа

$$pV\mu = \mu RT;$$

Основное уравнение для термодинамических процессов – это уравнение первого закона термодинамики:

$$\text{для 1 кг газа } \delta q = du + \delta l \text{ или } q = \Delta u + l;$$

$$\text{для произвольного количества газа } \delta Q = dU + \delta L \text{ или } q = \Delta U + L.$$

Изменение внутренней энергии:

$$\text{для 1 кг газа } du = c_v dT \text{ или } \Delta u = c_v(T_2 - T_1);$$

$$\text{для произвольного количества газа } \Delta U = c_v dT \text{ или } \Delta U = m c_v(T_2 - T_1);$$

Работа, совершаемая в процессе $L = \int p dV$ или $L = m \int p dV$.

Уравнение политропного процесса имеет вид

$$pv^n = \text{const} \text{ или } p_1 v_1^n = p_2 v_2^n = pv^n,$$

где n – показатель политропы.

Теплота, участвующая в процессе

$$Q = c_n(T_2 - T_1) \text{ или } Q = m c_n(T_2 - T_1),$$

где c_n - теплоемкость политропного процесса.

Работа, совершаемая в политропном процессе

$$l = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \text{ или } L = m \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$$

При определенных значениях показателя политропы, получим:

$n = \pm \infty$ - изохорный процесс

$c = c_v$; $l = 0$;

$n = 0$ – изобарный процесс

$n = 1$ – изотермический процесс

$c = \pm \infty$; $l = q$; после соответствующих преобразований, получим:

$$l = RT \ln v_1 / v_2.$$

$n = k$ – адиабатный процесс

$c = 0$; $l = (R/(k-1))(T_1 - T_2)$,

где k -показатель адиабаты; $k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\mu c_p}{\mu c_v}$

1.3 Примеры решения задач

1. В цилиндре двигателя объемом $V = 500$ л находится газ (со свойствами воздуха) при давлении $p = 4000$ кПа и температуре $t_1 = 1500$ °С. От газа отнимается некоторое количество теплоты при постоянном давлении и температуре снижается до 200 °С. Определить массу газа, конечный объем, изменение внутренней энергии, количество теплоты и работу.

Решение. Массу газа находим из уравнения состояния :

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{4000000 \cdot 0,5}{287 \cdot 1773} = 3,93 \text{ кг}$$

Конечный объем определим из соотношения для изобарного процесса:

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 500 \frac{473}{1773} = 133 \text{ л} = 0,132 \text{ м}^3$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = mc_v(T_2 - T_1) = 3,93 \cdot 0,721(473 - 1773) = -3684 \text{ кДж};$$

Количество отнятой теплоты:

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) = 3,93 \cdot 1,01(473 - 1773) = -5160 \text{ кДж}$$

Работу, затраченную на изменение объема можно найти из следующих уравнений:

$$L = p(V_2 - V_1) = 4000(0,133 - 0,5) = -1468 \text{ кДж}$$

или

$$L = mR(T_2 - T_1) = 3,93 \cdot 287(473 - 1773) = -1466283 \text{ Дж} = 1466 \text{ кДж}.$$

2. Сосуд вместимостью $V=200$ л содержит кислород при абсолютном давлении $p_1=1000$ кПа и температуре $t_1=47$ °С. Определить массу кислорода, конечную температуру, количество теплоты, которое необходимо подвести, чтобы повысить давление в процессе при постоянном объеме до $p_2=2000$ кПа.

Решение. Массу кислорода в сосуде определяем по уравнению состояния:

$$m = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{1000000 \cdot 0,2}{260 \cdot 320} = 2,4 \text{ кг}$$

Конечную температуру определяем по соотношению параметров для изохорного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}; T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} = 320 \cdot 2000/1000 = 640 \text{ К}.$$

Количество теплоты, сообщенной на изменение внутренней энергии:

$$Q = \Delta U = mc_v(T_2 - T_1) = 2,4 \cdot 0,653(640 - 320) = 501,5 \text{ кДж}.$$

3. Воздух массой 10 кг расширяется изотермически при $t=400$ °С от начального давления $p_1=800$ кПа до конечного объема $V_2=5$ м³. Определить начальный объем, конечное давление, работу расширения и изменение внутренней энергии.

Решение. Начальный объем определяется из уравнения:

$$V_1 = \frac{mRT}{p_1} = \frac{10 \cdot 287 \cdot 673}{800000} = 2,41 \text{ м}^3$$

Конечное давление определяется из соотношения параметров для изотермического процесса:

$$p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2} = 800 \frac{2,41}{5} = 385,6 \text{ кПа}$$

Работа расширения:

$$L = p_1 V_1 \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} = 800 \cdot 2,41 \cdot \ln \frac{5}{2,41} = 1407 \text{ кДж.}$$

4. В компрессор газотурбинной установки входит 5 кг воздуха с начальными параметрами: $p_1=100$ кПа, $t_1=27$ °С. Воздух сжимается адиабатно до давления 4000 кПа. Определить начальный и конечный объемы, конечную температуру, работу сжатия и изменение внутренней энергии. Показатель адиабаты $k = 1,4$.

Решение. Начальный объем находим из уравнения состояния:

$$V_1 = \frac{mRT}{p_1} = \frac{5 \cdot 287 \cdot 300}{100000} = 4,3 \text{ м}^3$$

Конечный объем определяем из уравнения адиабаты:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/k} = 4,3 \left(\frac{100}{4000} \right)^{1/1,4} = 0,309 \text{ м}^3.$$

Конечную температуру определяем из уравнения состояния:

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{4000000 \cdot 0,309}{5 \cdot 287} = 861 \text{ К}$$

Работа сжатия:

$$L = \frac{1}{k-1} \cdot (p_1 V_1 - p_2 V_2) = \frac{1}{1,4-1} (100 \cdot 4,3 - 4000 \cdot 0,309) = -2015 \text{ кДж.}$$

или

$$= m \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = 5 \cdot \frac{0,287}{1,4-1} \cdot (300 - 861) = -2013 \text{ кДж.}$$

В адиабатном процессе сжатия внутренняя энергия возрастает и численно равна работе изменения объема:

$$U_2 - U_1 = L = 2015 \text{ кДж.}$$

5.5 кг кислорода при начальном давлении $p_1 = 2000$ кПа и начальной температуре $t_1 = 427^\circ\text{C}$ расширяется политропно до конечного давления $p_2 = 100$ кПа и конечной температуры $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Определить показатель политропы, начальный и конечный объемы, работу расширения, количество подведенной теплоты и изменение внутренней энергии.

Решение. Показатель политропы определяем из соотношения параметров для политропного процесса:

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\lg(T_2/T_1)}{\lg(p_2/p_1)} = \frac{\lg(300/700)}{\lg(100/2000)} = 0,283; n = 1,39.$$

Конечный объем находим из уравнения состояния:

$$V_2 = \frac{mRT_2}{p_2} = \frac{5 \cdot 260 \cdot 300}{100000} = 3,9 \text{ м}^3.$$

Начальный объем определяем по формуле политропы:

$$V_1 = V_2 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} = 3,9 \cdot \left(\frac{100}{2000} \right)^{\frac{1}{1,39}} = 0,452 \text{ м}^3.$$

Работа расширения:

$$L = \frac{mR}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{5 \cdot 0,260}{1,39-1} \cdot (700 - 300) = 1333 \text{ кДж}.$$

Изменение внутренней энергии:

$$U_2 - U_1 = mc_v(T_2 - T_1) = 5 \cdot 0,653(300 - 700) = -1306 \text{ кДж}.$$

Количество подведенной теплоты:

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

где c – теплоемкость политропного процесса;

$$c = c_v \frac{n-k}{n-1} = 0,653 \cdot \frac{1,39-1,4}{1,39-1} = -0,0167;$$

$$Q = 5 \cdot (-0,0167)(300 - 700) = 33,4 \text{ кДж}.$$

6. В цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты начальное давление $p_1 = 0,1$ МПа, начальная температура $t_1 = 27^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 15$, количество подведенной теплоты $q_1^1 + q_1^{11} = 1340$ кДж/кг, показатель адиабаты равен 1,4, максимальное давление в цикле $p_3 = p_4 = 5,5$ МПа. Рабочее тело – воздух ($R = 287$ кДж/кг К. Определить параметры в характерных точках цикла, работу цикла, количество отведенной теплоты, термический КПД цикла, а также термический КПД цикла Карно для полученных пределов температур.

Решение. Находим параметры рабочего тела в характерных точках цикла:

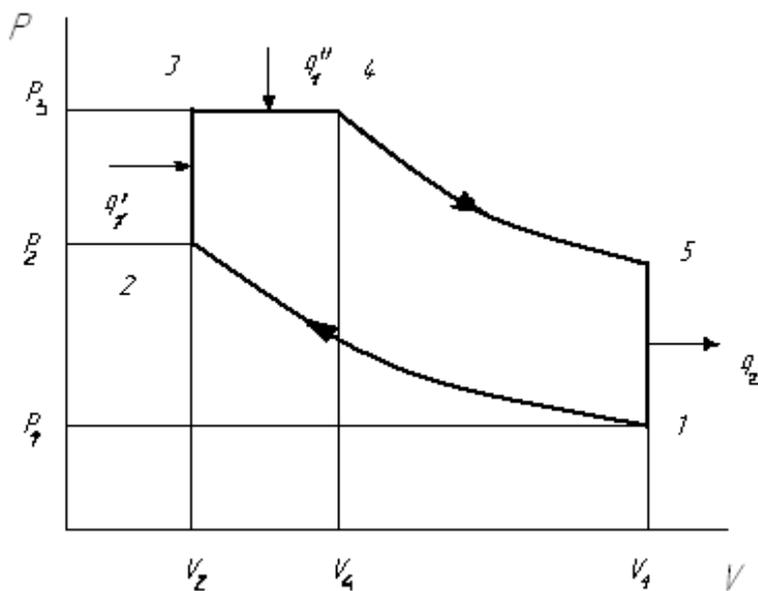


Рис. 4.1

Параметры точки 1.

$$P_1 = 0,1 \text{ МПа}; \quad t_1 = 27^\circ\text{C};$$

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Параметры точки 2. Так как степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 15, \text{ то}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon} = \frac{0,86}{15} = 0,0574 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Давление в конце адиабатного сжатия:

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = p_1 \varepsilon^k = 0,1 \cdot 15^{1,4} = 4,43 \text{ МПа}$$

Температура в конце сжатия:

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R} = \frac{4,43 \cdot 10^6 \cdot 0,0573}{287} = 884 \text{ K}.$$

Параметры точки 3. Для определения температуры T_3 воспользуемся соотношением параметров для изохорного процесса:

$$T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} = T_2 \cdot \lambda = 884 \cdot 1,24 = 1096 \text{ K},$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} = \frac{5,5}{4,43} = 1,241$$

где λ - степень повышения давления; $V_2 = V_3$.

Параметры точки 4. Предварительно вычислим $q_1^{11} = 1340 - q_1^1$;

$$q_1^1 = c_v(T_3 - T_2) = 0,721(1096 - 884) = 153 \text{ кДж/кг};$$

Следовательно, $q_1^{11} = 1340 - 153 = 1187 \text{ кДж/кг}$.

Температуру T_4 определим из уравнения $q_1^{11} = c_p(T_4 - T_3)$, откуда $T_4 = q_1^{11}/c_p + T_3$, тогда

$$T_4 = 1187/1,01 + 1096 = 2271 \text{ K}.$$

Для изобарного процесса 3-4 $\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3}$; $V_3 = V_2$; $\frac{V_4}{V_3} = \rho$ - степень предварительного расширения, тогда

$$V_4 = V_3 \cdot \rho = V_3 \frac{T_4}{T_3} = 0,0573 \cdot \frac{2271}{1096} = 0,119 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Параметры точки 5.

$V_5 = V_1 = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг}$. Температуру T_5 определим пользуясь соотношением параметров для адиабатного процесса расширения 4-5:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1}; \quad T_5 = T_4 \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1} = 2271 \left(\frac{0,119}{0,86} \right)^{1,4-1} = 1029 \text{ K}.$$

Давление p_5 можно найти из уравнения состояния:

$$p_5 = \frac{RT_5}{V_5} = \frac{287 \cdot 1029}{0,86} = 343399 \text{ Па} = 0,343 \text{ МПа}.$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_v(T_5 - T_1) = 0,721(1029 - 300) = 526 \text{ кДж/кг}.$$

Полезно использованная теплота:

$$q = q_1 - q_2 = 1340 - 526 = 814 \text{ кДж/кг.}$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{526}{1340} = 0,61.$$

Работа цикла:

$$l_{\text{ц}} = l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-1}$$

Работа адиабатного сжатия 1-2:

$$l_{1-2} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{0,287}{1,4-1} (300 - 884) = -419 \text{ кДж/кг.}$$

Работа изохорных процессов 2-3 и 5-1 $l_{2-3} = l_{5-1} = 0$.

Работа изобарного процесса 3-4:

$$l_{3-4} = p_3 (V_4 - V_3) = 5,5 \cdot 10^6 (0,119 - 0,0573) = 339350 \text{ Дж/кг} = 339 \text{ кДж/кг};$$

Работа адиабатного расширения 4-5:

$$l_{4-5} = \frac{R}{k-1} (T_4 - T_5) = \frac{0,287}{1,4-1} (2271 - 1029) = 892 \text{ кДж/кг}$$

Работа цикла:

$$l_{\text{ц}} = -419 + 339 + 891 = 811 \text{ кДж/кг.}$$

Термический КПД цикла Карно для полученных пределов температур:

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{2271} = 0,87$$

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА

2.1 Обозначение основных величин, применяемых в теории теплообмена.

Q – количество теплоты, Дж (кДж);

Φ – тепловой поток, Вт (кВт);

q – плотность теплового потока, Вт/м²;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К);

R_λ – термическое сопротивление теплопроводности плоской стенки, Вт/(м² К);

q_l – линейная плотность теплового потока (цилиндрической стенки), Вт/м;

R_l – линейное термическое сопротивление, м/Вт;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К);

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² К);

R_k – термическое сопротивление теплопередачи, (м² К)/Вт;

R_α – термическое сопротивление теплоотдачи, (м² К)/Вт;

δ – толщина стенки, м;

T_c – температура стенки (поверхности стенки), К (°С);

T_j – температура жидкости (газа), К, °С;

F – площадь поверхности твердого тела (стенки).

2.2 Основные сведения из теории теплообмена.

Закон Фурье (основной закон теплопроводности)

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T.$$

Плотность теплового потока, передаваемого теплопроводностью через плоскую стенку:

$$q = -\frac{\lambda}{\delta}(T_{c_1} - T_{c_2})$$

Основной закон конвективного теплообмена (закон Ньютона ~ Рихмана):

$$\Phi = \alpha \cdot F \cdot (T_c - T_{ж}).$$

Плотность теплового потока, передаваемого от одного теплоносителя (жидкость, газ) к другому через разделяющую их стенку (теплопередача):

$$q = \frac{T_{ж_1} - T_{ж_2}}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_2}}.$$

Коэффициент теплопередачи:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_2}}.$$

Термическое сопротивление теплопередачи:

$$R_k = R_{\alpha_1} + R_{\lambda} + R_{\alpha_2}.$$

2.3 Примеры решения задач.

1. Определить тепловой поток через бетонную стену здания толщиной 200 мм, высотой $h=2,5$ м и длиной 2 м, если температура на ее поверхностях $t_{c1}=20^{\circ}\text{C}$, $t_{c2}=\sim 10^{\circ}\text{C}$, а коэффициент теплопроводности $\lambda=1$ Вт/(м К).

Решение. Площадь поверхности стены:

$$F=2,5 \cdot 2 = 5 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток от одной поверхности стены к другой:

$$\Phi = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{c_1} - T_{c_2}) \cdot F.$$

При расчетах разностей температур значения их можно подставлять как в градусах по шкале Кельвина, так и в $^{\circ}\text{C}$.

$$\Phi = \frac{1}{0,2} [20 - (-10)] 5 = 750 \text{ Вт}.$$

2. Рассчитать теплопотери через стену здания размером 2,5 x 4 м зимой ($t_{ж1}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{ж2} \sim -20^{\circ}\text{C}$). Стена сделана из кирпича ($\lambda=0,5$ Вт/(м К)), толщина стены $\delta=0,5$ м;

$$\lambda_1 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}); \alpha_2 = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}).$$

Решение. Площадь поверхности стены:

$$F = 2,5 \times 4 = 10 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,5}{0,5} + \frac{1}{30}} = 0,882 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Теплопотери:

$$\Phi = k \cdot F \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) = 0,882 \cdot [20 - (-20)] = 353 \text{ Вт}.$$

3. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

3.1. Некоторые особенности обозначения основных величин

t - температура, °С

$t_{в}$ - расчетная температура воздуха помещения, °С

$t_{н}$ - расчетная температура наружного воздуха, °С

R_o - общее сопротивление теплопередачи наружного ограждения (стены, окна и.т.п.), (м² °С)/Вт

$R_{в}$ - сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности ограждения, (м² °С)/Вт

$R_{н}$ - сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения, (м² °С)/Вт

$\Phi_{от}$ - тепловая мощность системы отопления, Вт

$\Phi_{огр}$ - потери теплоты через ограждающие конструкции зданий, Вт

$q_{от}$ - удельная тепловая характеристика здания, Вт/(м³ °С)

$F_{нр}$ - суммарная площадь поверхности нагрева нагревательных приборов, м²

$K_{нр}$ - коэффициент теплопередачи нагревательных приборов, Вт/(м² °С)

$\bar{t}_{нр}$ - средняя температура теплоносителя в нагревательном приборе, °С

$R_{\lambda i}$ - сопротивление теплопроводности отдельных слоев ограждения, Вт/(м °С)

$V_{н}$ - строительный объем здания, м³

$\bar{t}_{в}$ - средняя температура помещений здания, °С

$\Phi_{тр}$ - теплоотдача открыто проложенных трубопроводов, Вт

3.2. Основные сведения по расчету систем отопления зданий

Потери теплоты через ограждающие конструкции зданий:

$$\Phi_{огр} = \sum \Phi + \sum \Phi_{доб},$$

где $\sum \Phi$ - сумма основных потерь теплоты, Вт
 $\sum \Phi_{доб}$ - сумма добавочных потерь, Вт

Основные потери теплоты определяются по формуле:

$$\Phi = \kappa F (t_e - t_n) n.$$

Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций

$$\kappa = \frac{1}{R_o}.$$

Общее сопротивление теплопередачи:

$$R_o = R_e + \sum_1^m R_{\lambda i} + R_n ;$$

Поправочный коэффициент n берется из справочных таблиц.

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции определяются в долях (процентах) от основных потерь (из справочных таблиц).

Тепловая мощность системы отопления

$$\Phi_{от} = \sum \Phi_{огр} - \sum \Phi_{пост}.$$

Суммарная площадь поверхности нагрева нагревательных приборов:

$$F_{np} = \frac{\Phi_{от} - \sum \Phi_{mp}}{K_{np} (t_{np} - t_e) \beta_4} \beta_1 \beta_2 \beta_3,$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - поправочные коэффициенты (из справочных таблиц).

Тепловой поток, отдаваемый помещениям, открыто проложенными трубопроводами:

$$\Phi_{mp} = K_{mp} F_{mp} (t_{mp} - t_e) \eta,$$

где η - поправочный коэффициент (из справочных таблиц).

Максимальный поток теплоты, расходуемой на отопление отдельных зданий, можно определить по значениям удельной тепловой характеристики:

$$\Phi_{om} = q_{om} V_n (\bar{t}_e - t_n) a,$$

где a - поправочный коэффициент (из справочных таблиц).

3.3. Пример решения задач

1. Рассчитать расход теплоты на отопление четырех квартирного двухэтажного дома и выбрать необходимое число секций нагревательного прибор – чугунного секционного радиатор типа М-140-АО (поверхность нагрева одной секции $2,254 \text{ м}^2$). Площадь дома по наружному обмеру 100 м^2 ; высота дома $6,28 \text{ м}$. Температура горячей воды в радиаторе 60°C , коэффициент теплопередачи k через стенку радиатора принять равным $6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$. Температура воздуха в квартире равна $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение.

Объем здания по наружному обмеру:

$$V = 100 \cdot 6,28 = 628 \text{ м}^3.$$

Расход теплоты на отопление дома определяем по формуле:

$$\begin{aligned}\Phi_{om} &= q_{om} V_n (t_e - t_n), \\ t_n &= -32^\circ\text{C}, \\ q_{om} &= 0,64 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{ }^\circ\text{C}), \\ \Phi_{om} &= 0,64 * 628 [(18 - (-32))] = 20096 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Площадь поверхности нагрева радиатора:

$$F_{np} = \frac{\Phi_{om}}{K(t_{np} - t_e)} = \frac{20096}{6(80 - 18)} = 54 \text{ м}^2.$$

Общее число секций радиатора при поверхности каждой $0,254 \text{ м}^2$ составит:

$$n = \frac{F_{np}}{f_{np}} = \frac{54}{0,254} = 213 \text{ шт}.$$

Распределить все секции пропорционально площадям и назначениям отапливаемых помещений.

ЗАДАЧИ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

ЗАДАЧА 1.

1.1. Газ массой m при температуре T расширяется в n раз при постоянном давлении за счет притока извне количества теплоты Q . Работа расширения газа равна L , изменение внутренней энергии ΔU . Найти неизвестные согласно номеру задания в таблице 1.1.[1].

Таблица 1.1.

№ задания	Газ*	m , г	T , К	n	Q , Дж	L , Дж	ΔU , Дж
1.	Азот	?	280	3	?	664,8	?
2.		5,5	?	1,75	?	?	1040,6
3.		?	250	2,2	2493	?	?
4.		20	310	?	?	?	1840
5.	Водород	?	240	2,4	12215,7	?	?
6.		1,5	?	1,5	?	903,7	?
7.		1	350	?	?	2617,7	?
8.		6	?	1,6	18847	?	?
9.	Углекислый газ	?	340	2	?	?	9632
10.		16	?	1,25	966,9	?	?
11.		11	200	?	?	623,25	?
12.		33	?	1,75	?	?	5328,8
13.	Аргон	40	?	1,2	?	498,6	?
14.		10	320	?	4155	?	?
15.		?	250	1,5	1298,5	?	?
16.		12	?	2,6	?	957,3	?
17.	Кислород	?	320	2,5	?	?	4986
18.		24	300	?	?	?	1495,8
19.		8	?	2,4	?	581,7	?
20.		?	290	1,4	3374	?	?
21.	Гелий	12	?	3,2	38392	?	?
22.		4	330	?	?	548,5	?
23.		8	?	2,6	20608,8	?	?
24.		?	370	2,5	?	?	6226,2
25.	Закись азота	15	220	?	?	155,8	?
26.		?	360	3	?	?	2243,7
27.		11	350	?	2490,2	?	?
28.		4,4	?	1,6	?	?	553,45

1.2. Газ массой m , находившийся под давлением p_1 и занимавший объем V_1 , изотермически расширился при температуре T таким образом, что его давление уменьшилось в n раз. Работа, совершенная газом при расширении, равна L . Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице 1.2.[1].

Таблица 1.2.

№ задания	Газ*	m, г	P, Па	V ₁ , м ³	T, К	n	L, Дж
29.	Гелий	2,477	$2,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^{-3}$?	?	822,5
30.		0,714	$1,15 \cdot 10^5$?	310	1,35	?
31.		0,023	?	$1,2 \cdot 10^{-3}$	200	?	8,4
32.		?	$1,8 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	370	1,5	?
33.	Углекислый газ	43,32	$3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^2$?	?	4948
34.		15,16	$1,4 \cdot 10^5$?	400	?	706,6
35.		1,76	?	$2 \cdot 10^{-3}$	230	1,8	?
36.		?	$2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	350	1,25	?
37.	Кислород	6,42	$1,25 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^{-3}$?	1,75	?
38.		34,45	$1,7 \cdot 10^5$?	380	?	892
39.		21,88	?	$1,25 \cdot 10^{-2}$	330	1,4	?
40.		?	$9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	210	?	10,64
41.	Аргон	1,18	$7,5 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^{-3}$?	2,0	?
42.		4,17	$1,3 \cdot 10^5$?	300	1,45	?
43.		5,35	?	$3,5 \cdot 10^{-3}$	315	?	63,8
44.		?	$8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	250	?	716,3
45.	Водород	0,0212	10^4	$2,2 \cdot 10^{-3}$?	?	8,92
46.		0,226	$2 \cdot 10^5$?	320	1,3	?
47.		0,866	?	$4,5 \cdot 10^{-3}$	375	?	301,25
48.		?	$6 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{-3}$	260	1,55	?
49.	Азот		$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-2}$?	?	545,5
50.			10^5	?	305	?	92,9

*) См. приложение 1.

ЗАДАЧА 2.

Газ совершает за цикл Карно работу, равную L. При этом он получает от нагревателя количество теплоты Q₁ при температуре T₁ и отдает холодильнику количество теплоты Q₂ при температуре T₂. КПД такого цикла равен η. Найти неизвестные величины и построить графики, согласно номеру задания в таблице 2.1.[1]. (см. примечание на стр. 9.)

Таблица 2.1.

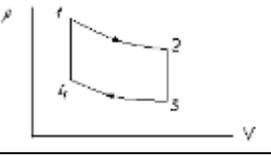
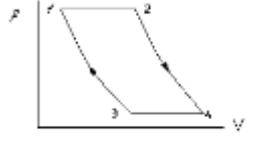
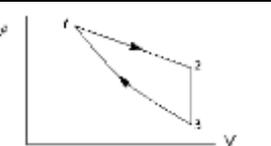
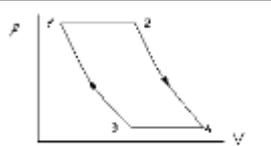
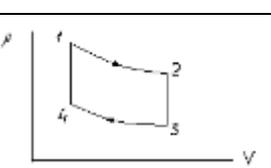
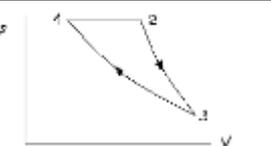
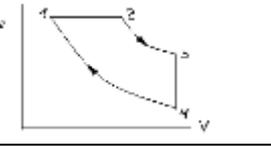
№ задания	L, Дж	Q ₁ , Дж	Q ₂ , Дж	T ₁ , К	T ₂ , К	Построить График
1.	?	1800		?		$\eta=f(T_1)$
2.	?	1600		?		
3.	?	1400	1200	?	300	
4.	?	2000		?		при T ₂ =const
5.	1925		?		?	$\eta=f(T_2)$
6.	1375		?	400	?	
7.	1100	4400	?		?	
8.	1650		?		?	при T ₁ =const
9.	900	?		?		$\eta=f(Q_1)$
10.	540	?	900	?	250	
11.	1260	?		?		
12.	180	?		?		при Q ₂ =const
13.	?		1040		?	$\eta=f(Q_2)$
14.	?	1400	1200	350	?	
15.	?		1120		?	
16.	?		960		?	при Q ₁ =const
17.	491		?	?		$\eta=f(T_1)$
18.	692,3	1800	?	?	200	
19.	600		?	?		
20.	771,4		?	?		при T ₂ =const
21.	196	?			?	$\eta=f(T_2)$
22.	121,4	?	850	320	?	
23.	157,4	?			?	
24.	238	?			?	при T ₁ =const
25.	1150	?		?		$\eta=f(Q_1)$
26.	400	?	1350	?	270	
27.	900	?		?		
28.	650	?		?		при Q ₂ =const

ЗАДАЧА 3.

Воздух массой 763,16 г, занимающий объем V_1 при давлении p_1 , получает от нагревателя количество теплоты Q кДж и совершает один из циклов показанных в таблице 3.1. Найти: КПД η_1 цикла, ползунья данными, приведенными в таблице; температуры T_{\max} и T_{\min} в пределах которых

работает тепловая машина; КПД η_2 цикла Карно идеальной паровой машины, работающей между теми же температурами T_{\max} и T_{\min} . [1].

Таблица 3.1.

График цикла	№ задания	$p_1, 10^5$ Па	$V_1, \text{м}^3$	$p_2, 10^5$ Па	$V_2, \text{м}^3$	$p_3, 10^5$ Па	$V_3, \text{м}^3$	
	1-2 изотерма	1.	3,0	0,3	-	0,35	2,0	
	2-3 изохора	2.	1,5	0,6	-	0,8	1,0	
	3-4 изотерма	3.	1,0	0,7	-	0,75	0,75	
	4-1 изохора	4.	1,8	0,65	-	0,75	1,2	
	1-2 изобара	5.	1,75	0,45	-	0,55	-	
	2-3 адиабата	6.	1,5	0,5	-	0,6	-	
	3-4 изобара	7.	1,9	0,35	-	0,45	-	
	4-1 адиабата	8.	1,6	0,55	-	0,7	-	
	1-2 изотерма	9.	1,71	0,35	-	0,55	-	
	2-3 изохора	10.	2,5	0,4	-	0,75	-	
	3-1 адиабата	11.	2,0	0,5	-	0,8	-	
	1-2 изобара	12.	3,0	0,35	-	0,6	-	
	2-3 изотерма	13.	1,4	0,35	-	-	1,0	
	3-4 изобара	14.	1,6	0,4	-	-	1,3	
	4-1 изотерма	15.	1,5	0,35	-	-	1,1	
	16.	1,3	0,45	-	-	1,0	0,9	
	1-2 адиабата	17.	2,0	0,45	1,4	-	1,0	-
	2-3 изохора	18.	2,5	0,4	1,5	-	1,0	-
	3-4 адиабата	19.	1,8	0,5	1,3	-	1,0	-
	4-1 изохора	20.	1,6	0,5	1,2	-	1,0	-
	1-2 изобара	21.	1,75	0,4	-	-	1,0	-
	2-3 адиабата	22.	1,8	0,5	-	-	1,1	-
	3-1 изотерма	23.	2,0	0,5	-	-	1,2	-
	24.	2,5	0,35	-	-	1,5	-	
	1-2 изобара	25.	1,8	0,4	-	0,5	1,0	-
	2-3 адиабата	26.	2,0	0,5	-	0,55	1,0	-
	3-4 изохора	27.	1,6	0,45	-	0,6	1,0	-
4-1 адиабата	28.	1,5	0,6	-	0,75	1,0	-	

Примечание. Выбор исходных данных к задачам 2 и 3.

Порядковый № фамилии студента в журнале преподавателя	№ задания к задаче 2	№ задания к задаче 3	Порядковый № фамилии студента в журнале преподавателя	№ задания к задаче 2	№ задания к задаче 3
1	2	3	4	5	6
1	1	1	37	9	20
2	2	2	38	10	19
3	3	3	39	11	18
-«-	-«-	-«-	40	12	17
-«-	-«-	-«-	41	13	16
28	28	28	42	14	15
29	1	28	43	15	14
30	2	27	44	16	13
31	11	18	45	17	12
32	12	17	46	18	11
33	13	16	47	19	10
34	14	15	48	20	9
35	15	14	49	21	8
36	16	13	50	22	7

ЗАДАЧА 4.

Плоская стальная стенка ($\lambda=50$ Вт/ (м.К) толщиной δ омывается с одной стороны горячими газами с температурой t_1 , с другой стороны - водой с температурой t_2 . Определить коэффициент теплопередачи K от газов к воде, удельный тепловой поток q , если известны коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке α_1 и от стенки к воде α_2 . Определить указанные величины, если стенка покрывается слоем сажи толщиной δ_c (коэффициент теплопроводности сажи $\lambda=0,2$ Вт/ (м.К) [2].

Исходные данные приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Номер задания	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	$\alpha_2, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	$\delta, \text{мм}$	$\delta_{\text{II}}, \text{мм}$	$\delta_c, \text{мм}$
1	1200	220	160	3500	16	10	-
2	1100	200	150	3000	14	5	-
3	10000	180	140	2500	12	4	-
4	900	160	130	2000	10	3	-
5	800	140	120	1500	8	2	-
6	850	150	60	1000	12	10	-
7	950	160	70	2000	14	9	-
8	1050	170	80	3000	16	8	-
9	1150	180	90	4000	18	7	-
10	1250	190	100	5000	20	6	-
11	900	225	50	1000	14	7	-
12	800	200	40	980	13	6	-
13	700	175	30	960	12	5	-
14	600	150	20	940	11	4	-
15	500	125	10	920	10	3	-
16	575	110	55	2200	22	8	-
17	675	120	50	2100	24	7	-
18	775	130	45	2000	26	6	-
19	875	140	40	1900	23	5	-
20	975	150	35	1800	30	4	-
21	1000	100	40	3000	10	2	-
22	900	125	50	4000	12	3	-
23	1050	135	60	3500	14	5	-
24	950	150	45	4500	16	6	-
25	800	200	55	2000	18	7	-
26	850	210	65	2100	20	5	-
27	975	175	42	3100	22	8	-
28	400	100	15	1000	10	5	-
29	500	120	20	1250	12	8	-
30	600	140	25	1500	15	4	-
31	1100	100	10	1000	12	-	1
32	1000	150	15	1100	10	-	0,5
33	900	180	140	2500	14	-	2
34	950	160	130	2000	10	-	1
35	800	140	120	1500	8	-	2

36	850	150	60	1000	12	-	1
37	950	160	70	2000	12	-	2
38	1050	170	80	3000	16	-	2
39	1150	180	90	4000	18	-	1
40	1250	190	100	5000	18	-	2
41	900	225	50	1000	14	-	1
42	800	200	40	980	13	-	1,5
43	700	175	30	960	12	-	1
44	600	150	20	940	10	-	2
45	500	125	10	900	12	-	1
46	575	110	55	2200	20	-	2
47	675	120	50	2100	22	-	1
48	775	130	45	2000	24	-	2
49	875	140	40	1900	23	-	1
50	975	150	35	1800	30	-	2

ЗАДАЧА 5.

Выбрать нагревательные приборы, определить их площадь поверхности нагрева и начертить схему системы отопления одного из цехов ремонтной мастерской или Вашего дома.

Расход теплоты на отопление определить по удаленным тепловым характеристикам, приведенным в Приложении 2.

Список использованных источников.

1. Ветрова В.Т. Сборник задач по физике. - Мн.: Выш. Шк. 1991.
2. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. -М.: Высш.шк., 1988.

Приложение 1.

Теплоемкости газов.

В задачах 1.1 и 1.2 рабочим телом считать идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Значения теплоемкостей принимать согласно данным, полученным на основе молекулярной теории (табл.П.1).

Атомность газа	$\mu_{сv}$, КДж/(кмоль.К)	$\mu_{сp}$, КДж/(кмоль.К)
Одноатомный	12,6	20,9
Двухатомный	20,9	29,3
Трех - и многоатомный	29,3	37,7

Приложение 2.

Удельные тепловые характеристики зданий.

Здания	Расчетная t воздуха в помещениях $t_b, ^\circ\text{C}$	Объем здания по наружному обмеру $V \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3$	Удельные тепловые характеристики, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	
			Отопительная $q_{от}$	Вентиляцию, q_b
Малоэтажные жилые и общественные здания	20	$\leq 0,3$	0,87	Не учиты- вается
		0,5	0,76	То же
		0,8	0,64	«
		1,0	0,58	«
Многоэтажные жилые здания	20	≤ 3	0,49	«
		5	0,44	«
		10	0,38	«
Административные здания	20	≤ 5	0,50	0,10
		10	0,44	0,09
Ремонтные мастерские	16...20	5...10	0,7...0,6	0,23...0,17
Гаражи	10	> 5	0,64	0,81
		5	0,58	0,76

Рекомендуемая литература

1. Захарова А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. -М.: Агропромиздат, 1986
2. Захарова А.А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве. -М.: Агропромиздат, 1986
3. Строй А.Ф. Теплоснабжение сельских населенных пунктов. -М.: Агропромиздат, 1985
4. Теплотехника /Под ред. А.П. Баскакова. -М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Тихомиров К.В., Сергеенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. -М.: Стройиздат, 1991.