



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Сборник задач по дисциплине

«Термодинамическая эффектив- ность теплового оборудова- ния и тепломассоперенос в нем»

Авторы
Василенко В. В.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Термодинамическая эффективность теплового оборудования и теплоперенос в нем».

Приведены задания и примеры решения задач по основным разделам дисциплины «Термодинамическая эффективность теплового оборудования и теплоперенос в нем».

Предназначены для бакалавров заочной формы обучения по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Василенко В. В.



Оглавление

1. Алгоритм выбора варианта контрольной работы.	
Требования к оформлению контрольной работы.....	4
2. Расчет цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при $V=\text{const}$	5
2.1 Задание.....	5
2.2 Пример решения.....	5
3. Расчет характеристик одноступенчатого компрессора	7
3.1 Задание.....	7
3.2 Пример решения.....	7
4. Конструктивный расчет рекуперативного теплообменного аппарата (определение поверхности нагрева и количества переданного тепла).....	8
4.1 Задание.....	8
4.2 Пример решения.....	8
5. Поверочный расчет рекуперативного теплообменного аппарата (определение конечных температур теплоносителей и количества переданного тепла)	9
5.1 Задание.....	9
5.2 Пример решения.....	9
Литература.....	12

1 Алгоритм выбора варианта контрольной работы. Требования к оформлению контрольной работы

Вариант задания для решения задачи каждого раздела методического указания, принимается из таблицы задания в строке, соответствующей последней цифре номера зачетной книжки. При решении задачи используется пример решения в соответствующем разделе.

Контрольная работа выполняется в ученической тетради. На обложку тетради наносится наклейка следующего образца

Донской государственный технический университет
факультет «Инженерно-строительный»

Заочная форма обучения

=====

Студент _____ Адрес _____

группа _____ Шифр _____
(номер зачетной книжки)

Контрольная работа № _____

по _____

за _____ курс

2. Расчет цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при $V=\text{const}$

2.1 Задание

Задание приведено в таблице 2.1

Таблица 2.1

Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_1	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45
t_1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
ε	3,1	3,15	3,23	3,35	3,4	3,45	3,48	4,0	4,3	4,5
λ	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6	3,7
k	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

2.2 Пример решения. Для идеального цикла поршневого ДВС с подводом тепла при $V=\text{const}$ (рисунок 2.1) определить параметры в характерных точках, полученную работу, термический КПД, количество подведенного и отведенного тепла, если: $P_1=1$ бар; $t_1=20^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 3,6$; $\lambda = 3,33$; $k = 1,4$. Рабочее тело - воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Р е ш е н и е:

Расчет ведем для 1 кг воздуха.

Точка 1: $P_1=1$ бар; $t_1=20^\circ\text{C}$. Удельный объем определяем из уравнения состояния:

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1,$$

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^5} = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2: Удельный объем находим исходя из степени сжатия:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Температура в конце адиабатного сжатия определяется из соотношения

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot \left(\frac{0,84}{0,233} \right)^{1,4-1} = 489 \text{ К}; t_2 = 216^\circ\text{C}.$$

Давление в конце адиабатного сжатия определяем по характеристическому уравнению:

$$p_2 = \frac{R \cdot T_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233} = 602330 \text{ Па} = 6,02 \text{ бар}.$$

Точка 3: Удельный объем $v_3 = v_2 = 0,233 \text{ м}^3/\text{кг}$. Из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 2-3) получаем:

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33.$$

Следовательно,

$$p_3 = p_2 \cdot \lambda = 6,02 \cdot 3,33 = 20 \text{ бар}; T_3 = T_2 \cdot \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ К}; t_3 = 1355^\circ \text{С}.$$

Точка 4: Удельный объем $v_4 = v_1 = 0,84 \text{ м}^3/\text{кг}$. Температура в конце адиабатного расширения:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = 1628 \cdot \left(\frac{0,233}{0,84} \right)^{1,4-1} = 976 \text{ К}; t_4 = 703^\circ \text{С}.$$

Давление в конце адиабатного расширения определяем из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 4-1):

$$p_4 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = 1 \cdot \left(\frac{976}{293} \right) = 3,33 \text{ бар}.$$

Определяем количество подведенного и отведенного тепла:

$$q_1 = C_v (T_3 - T_2) = \frac{287}{1,4-1} \cdot (1628 - 489) = 825 \text{ кДж/кг} :$$

$$q_2 = C_v (T_4 - T_1) = \frac{287}{1,4-1} \cdot (976 - 293) = 495 \text{ кДж/кг} :$$

Термический КПД цикла определяем по формуле:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{825 - 495}{825} = 0,4$$

Работа цикла

$$l_0 = q_1 - q_2 = 825 - 495 = 330 \text{ кДж/кг}.$$

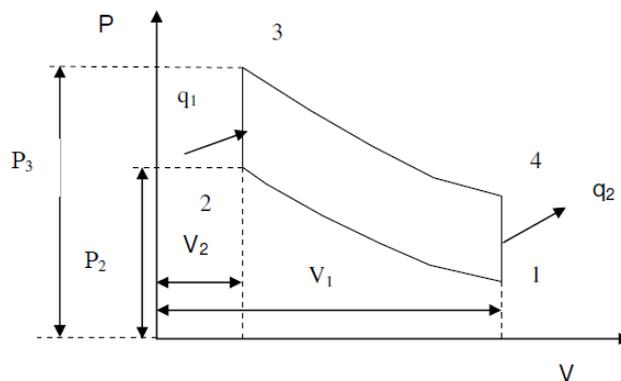


Рисунок 2.1 – PV-диаграмма цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

3. Расчет характеристик одноступенчатого компрессора

3.1 Задание

Задание приведено в таблице 3.1

Таблица 3.1

Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
G	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
P ₂	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4
n	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Δt	15	17	19	22	25	27	30	28	25	23
P ₁	0,95	0,97	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,28	1,33
t ₁	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

3.2 Пример решения. В идеальном одноступенчатом компрессоре массовой производительностью G=180 кг/ч сжимается воздух до давления p₂=4,9 бар. Определить теоретически необходимую мощность электродвигателя компрессора, отведенное в рубашку цилиндра компрессора тепло и расход охлаждающей воды, если сжатие происходит политропно (n=1,3), а охлаждающая вода нагревается на Δt 25°С. Начальное давление воздуха P₁=0,98 бар и температура t₁=0°С.

Р е ш е н и е:

Работа, расходуемая на сжатие 1 кг газа в одноступенчатом компрессоре при политропном сжатии, определяется по формуле:

$$l_0 = \frac{n}{n-1} R \cdot T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,3}{1,3-1} \cdot \frac{287}{1,4-1} \cdot 273 \left[\left(\frac{4,9}{0,98} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1 \right] = 153 \text{кДж/кг.}$$

Мощность, расходуемая на сжатие газа в компрессоре, определяем по формуле:

$$N = \frac{l_0 \cdot G}{3600 \cdot 1000} = \frac{153000 \cdot 180}{3,6 \cdot 10^6} = 7,63 \text{кВт.}$$

Удельное количество отведенной теплоты определяем по формуле:

$$q = C_v \frac{n-k}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = \frac{287}{1,4-1} \cdot \frac{1,3-1,4}{1,3-1} \cdot (396 - 373) = -29,1 \text{кДж/кг.}$$

Температуру в конце политропного сжатия определяем из соотношения:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 273 \cdot \left(\frac{4,9}{0,98} \right)^{1,3-1} = 396 \text{ К.}$$

Определяем полное количество отведенной теплоты:

$$Q = q \cdot G = -\frac{29,1 \cdot 180}{3600} = -1,46 \text{ кДж/с.}$$

Расход охлаждающей воды составляет:

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q}{C \cdot \Delta t} = \frac{1,46}{4,19 \cdot 25} = 139 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с.}$$

4. Конструктивный расчет рекуперативного теплообменного аппарата (определение поверхности нагрева и количества переданного тепла)

4.1 Задание

Задание приведено в таблице 4.1

Таблица 4.1

Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
G_2	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
t_1'	320	330	340	350	360	370	380	320	330	340
t_1''	110	120	130	140	150	160	170	180	140	110
t_2'	20	25	30	35	40	35	30	25	20	15
t_2''	90	100	105	120	130	135	145	120	125	90
k	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

4.2 Пример решения. Определить поверхность F , м^2 рекуперативного теплообменника, в котором вода нагревается горячими газами. Расход воды $G_2=2,6$ кг/с. Расчет произвести для прямоточной и противоточной схем. Если известны значения температур газа $t_1' = 370^\circ\text{C}$, $t_1'' = 160^\circ\text{C}$ и воды $t_2' = 33^\circ\text{C}$, $t_2'' = 120^\circ\text{C}$, коэффициент теплопередачи $k=15$ Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Р е ш е н и е:

1) Определим среднюю температуру воды:

$$t_{2\text{ср}} = (t_2' + t_2'')/2 = (33+120)/2 = 76,5^\circ\text{C}$$

2) По таблице «Свойства воды при различных температурах» выписываем:

$$C_{p2} = 4192 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{гр)} \text{ при } t_{2\text{ср}} = 76,5^\circ\text{C.}$$

3) Определим количество теплоты, переданное воде из уравнения теплового баланса:

$$Q = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2'' - t_2') = 2,6 \cdot 4192 \cdot (120 - 33) = 948230 \text{ Вт}$$

4) Определим температурный напор при прямоточной схеме:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{2,3 \lg \left[\frac{(t_1' - t_2')}{(t_1'' - t_2'')} \right]} = \frac{(370 - 33) - (160 - 120)}{2,3 \lg \left[\frac{(370 - 33)}{(160 - 120)} \right]} = 139,4^\circ\text{C}$$

5) Определим необходимую площадь прямоточного теплообменника из уравнения теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t,$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{948230}{15 \cdot 139,4} = 453,5 \text{ м}^2$$

6) Определим температурный напор при противоточной схеме:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{2,3 \lg \left[\frac{(t_1' - t_2'')}{(t_1'' - t_2')} \right]} = \frac{(370 - 120) - (160 - 33)}{2,3 \lg \left[\frac{(370 - 120)}{(160 - 33)} \right]} = 181,6^\circ\text{C}$$

7) Определим необходимую площадь противоточного теплообменника:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{948230}{15 \cdot 181,6} = 348,1 \text{ м}^2$$

Следует отметить следующие преимущества противоточного теплообменника: меньшая площадь поверхности, а значит, габариты и вес теплообменника, холодный теплоноситель можно нагреть до более высокой температуры.

5. Поверочный расчет рекуперативного теплообменного аппарата (определение конечных температур теплоносителей и количества переданного тепла)

5.1 Задание

Задание приведено в таблице 5.1

5.2 Пример решения. В теплообменном аппарате охлаждается $V_I = 0,25 \text{ м}^3/\text{ч}$ горячего теплоносителя с плотностью $\rho_1 = 1100 \text{ кг/м}^3$ и теплоемкостью

$C_{p1} = 3046$ Дж/(кг·град). Начальная температура жидкости равна $t_1' = 120^\circ\text{C}$. Для охлаждения применяется $V_2 = 1$ м³/ч воды при температуре $t_2' = 10^\circ\text{C}$ с плотностью $\rho_2 = 1000$ кг/м³. Для данного аппарата известны значения коэффициента теплопередачи $k = 35$ Вт/(м²·град) и поверхность аппарата $F = 8$ м². Определить конечные температуры общих жидкостей t_1'' , t_2'' и расход теплоты при прямотоке и противотоке Q , Вт.

Таблица 5.1

Шифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V_1	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
ρ_1	900	930	950	970	1000	1100	1200	1250	1300	1350
C_{p1}	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900
t_1'	120	125	130	135	140	145	140	135	130	125
V_2	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
ρ_2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
C_{p2}	4190	4190	4190	4190	4190	4190	4190	4190	4190	4190
t_2'	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
k	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
F	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13

Решение:

Определяем численное значение условных эквивалентов:

$$W_1 = V_1 \cdot \rho_1 \cdot c_{p1} = \frac{0,25 \cdot 1100 \cdot 3046}{3600} = 233 \text{ Вт} / \text{град}$$

$$W_2 = V_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p2} = \frac{1,0 \cdot 1000 \cdot 4190}{3600} = 1165 \text{ Вт} / \text{град}$$

$$W_1 / W_2 = 233 / 1165 = 0,2; \quad kF / W_1 = (35 \cdot 8) / 233 = 1,2.$$

Из таблицы 5.2 находим:

$$\Psi_{\text{прям}}(0,2; 1,2) = 0,62.$$

Температура горячего теплоносителя на выходе из аппарата при

$$t_1' - t_1'' = (120 - 10) \cdot 0,62 = 68^\circ\text{C} \text{ равна}$$

$$t_1'' = 120 - 68 = 52^\circ\text{C}.$$

Расход теплоты составит

$$Q = W_1 \cdot (t_1' - t_1'') = 233 \cdot (120 - 52) = 15850 \text{ Вт}$$

Конечная температура холодного теплоносителя при

$$t_2'' - t_2' = Q / W_2 = 15850 / 1165 = 13,6^\circ\text{C}$$

равна

$$t_2'' = 10 + 13,6 = 23,6^\circ\text{C}$$

Если рассчитать теплообменный аппарат при противотоке, сохраняя условия теплопередачи без изменения, то получаем следующее:

$$W_1 = 233 \text{ Вт} / \text{град};$$

$$W_2 = 1165 \text{ Вт} / \text{град}.$$

$$W_1 / W_2 = 233 / 1165 = 0,2; \quad kF / W_1 = (35 \cdot 8) / 233 = 1,2.$$

По таблице 5.3 находим:

$$\Psi_{\text{прот}}(0,2; 1,2) = 0,65.$$

Температура горячего теплоносителя на выходе из аппарата при

$$t_1' - t_1'' = (120 - 10) \cdot 0,65 = 73^\circ\text{C} \text{ равна}$$

$$t_1'' = 120 - 73 = 47^\circ\text{C}.$$

Расход теплоты

$$Q = W_1 \cdot (t_1' - t_1'') = 233 \cdot (120 - 47) = 17000 \text{ Вт}$$

Конечная температура холодного теплоносителя при

$$Q = W_2 \cdot (t_2'' - t_2'), \quad t_2'' - t_2' = Q / W_2 = 17000 / 1165 = 15^\circ\text{C}$$

равна

$$t_2'' = 10 + 15 = 25^\circ\text{C}.$$

Применение в теплообменном аппарате противотока позволяет при одинаковых условиях с прямотоком передать количество теплоты на 7,5% больше.

Таблица 5.2 - Значение функции $\Psi_{\text{прям}}$ для прямотока

W_1/W_2	kF/W_1							
	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	∞
0	0,033	0,1	0,28	0,39	0,63	0,86	0,96	1,00
0,01	0,033	0,1	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	0,99
0,05	0,033	0,1	0,28	0,39	0,62	0,84	0,91	0,95
0,1	0,033	0,1	0,28	0,38	0,61	0,81	0,89	0,91
0,2	0,033	0,1	0,27	0,38	0,58	0,76	0,81	0,83
0,5	0,033	0,1	0,26	0,35	0,52	0,63	0,66	0,67
1,0	0,033	0,09	0,25	0,32	0,43	0,49	0,5	0,5
2,0	0,033	0,09	0,21	0,26	0,32	0,33	0,33	0,33
5,0	0,032	0,08	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
10,0	0,028	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
20,0	0,024	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
50,0	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
100,0	0,009	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
∞	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 5.3 – Значение функции $\Psi_{\text{прот}}$ для противотока

$\frac{KF}{W_1}$ \ $\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	∞
0,0	0,033	0,1	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	1,0
0,01	0,033	0,1	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	1,0
0,05	0,033	0,1	0,28	0,39	0,62	0,86	0,94	1,0
0,1	0,033	0,1	0,28	0,38	0,61	0,85	0,94	1,0
0,2	0,033	0,1	0,28	0,38	0,60	0,83	0,93	1,0
0,5	0,033	0,1	0,26	0,36	0,57	0,78	0,89	1,0
1,0	0,033	0,1	0,25	0,34	0,51	0,68	0,77	1,0
2,0	0,033	0,09	0,23	0,29	0,39	0,46	0,49	0,5
5,0	0,032	0,08	0,16	0,18	0,2	0,2	0,2	0,2
10,0	0,028	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20,0	0,024	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
50,0	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
100,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
∞	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ЛИТЕРАТУРА

1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: «Книга по Требованию», 2012. – 496 с.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин, А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 496 с.
3. Дементий Л.В., Кузнецов А.А., Менафова Ю.В. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче. – Краматорск: ДГМА, 2002. - 260 с.