



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Сборник задач по дисциплине

«Термодинамическая эффектив- ность теплового оборудова- ния и теплоперенос 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

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

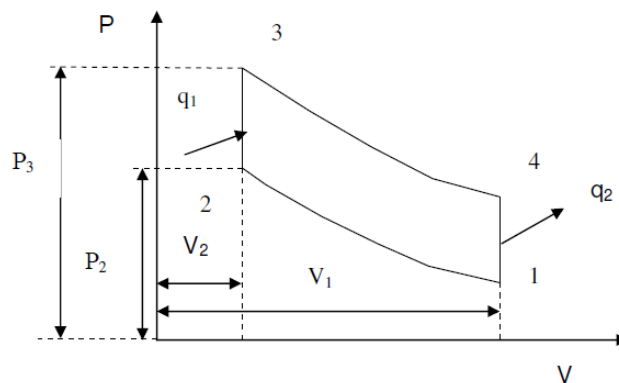


Рисунок 2.1 – PV-диаграмма цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

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:

$$q = C_v \frac{n-k}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = \frac{287}{1,4-1} \cdot \frac{1,3-1,4}{1,3-1} \cdot (396 - 273) = -29,1 \text{кДж/кг.}$$

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

| $\kappa F/W_1$ | $\frac{1}{30}$ | $\frac{1}{10}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | 2 | 3 | ∞ |
|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|------|------|------|----------|
| W_1/W_2 | | | | | | | | |
| 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.