

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Тракторы, автомобили
и энергетические установки”

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ И
САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В АВТОТРАКТОРОСТРОЕНИИ»**

Казань 2019

УДК 536 (07)
ББК 22. 317

Разработаны:

доцентом кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки» Усенковым Р.А.

Рецензенты: Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ

Попов И.А.

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Общеинженерные дисциплины» Казанского государственного аграрного университета

Пикмуллин Г.В.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к печати на заседании кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки» Казанского государственного аграрного университета 04.02.2019 г. (протокол № 6).

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к печати на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета 07.03.2019 г. (протокол № 6).

Усенков Р.А. Методические указания для выполнения контрольных и самостоятельных работ по дисциплине «Основы научных исследований в автотракторостроении» / Р.А. Усенков - Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2019. – 24 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов, обучающихся по специальности **23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»**

УДК 536 (07)
ББК 22. 317

©Казанский государственный аграрный университет, 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Требования к оформлению контрольной работы.....	4
Введение	4
Глава 1 Задания для выполнения контрольной работы.....	5
1.1 Исходные данные для выполнения задачи № 1	5
1.2 Исходные данные для выполнения задачи № 2	5
1.3 Исходные данные для выполнения задачи № 3	6
1.4 Исходные данные для выполнения задачи № 4	8
Глава 2 Примеры решения задач контрольной работы.....	10
2.1 Пример решения задачи № 1	10
2.2 Пример решения задачи № 2	12
2.3 Пример решения задачи № 3	14
2.4 Пример решения задачи № 4	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Физические параметры воды.....	23
Список литературы	24

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник контрольных заданий представляет собой теоретический и практический материал для самостоятельной работы студентов Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета, **обучающихся по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».**

Для более полного ознакомления с рассматриваемыми вопросами студенты должны обратиться к специальной и справочной литературе. Список рекомендуемых учебников и справочников приводится.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

К выполнению контрольной работы следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса «Основы научных исследований». Перед выполнением контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе (список литературы приводится).

Контрольная работа состоит из 4 задач (варианты задач определяет преподаватель).

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- обязательно записать условия задач;
- решение соответствующих задач контрольной работы необходимо сопровождать кратким пояснительным текстом;
- все вычисления приводить в развернутом виде;
- вычисления производить в системе СИ;
- графический материал должен быть выполнен четко и в соответствующем масштабе на миллиметровой бумаге формата А4.

Контрольная работа должна быть подписана автором.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение различными научными методами того или иного явления или процесса называется **научным исследованием.**

Целью научного исследования является закрепление уже полученных знаний о явлении или процессе и дальнейшее полезное использование этих знаний в практической деятельности.

Глава 1 Задания для выполнения контрольной работы

1.1 Исходные данные для выполнения задачи №1 по исследованию теплоотдачи в трубах при $Re_{ж} < 2320$ и вязкостно-гравитационном режиме течения теплоносителя

Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в горизонтальной трубе диаметром d и длиной l , если скорость воды $w_{ж}$, температура в потоке воды $t_{ж}$, а температура стенки трубы t_c .

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче №1

Номер варианта	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
d , мм	8	7	6	8	7	6	8	7	6	8
l , м	6	5	4	3	7	8	9	10	11	12
$w_{ж}$, м/с	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,15
$t_{ж}$, °С	80	50	80	50	80	50	80	50	80	50
t_c , °С	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10

1.2 Исходные данные для выполнения задачи №2 по исследованию теплоотдачи в трубах при $Re_{ж} \geq 10000$ и вязкостно-гравитационном режиме течения теплоносителя

По каналу круглого сечения диаметром d и длиной l протекает вода со скоростью $w_{ж}$. Вычислить коэффициент теплоотдачи от стенки канала к воде, если средняя по длине температура воды $t_{ж}$, а температура внутренней поверхности канала t_c . Определить количество переданной теплоты от внутренней поверхности канала к воде.

Таблица 1.2 – Исходные данные к задаче №2

Номер варианта	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
d , мм	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
l , м	6	5	4	3	7	8	9	10	11	12
$w_{ж}$, м/с	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8
$t_{ж}$, °С	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
t_c , °С	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

1.3 Исходные данные для выполнения задачи №3 по теме «Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме $v = \text{const}$ (цикл Отто)»

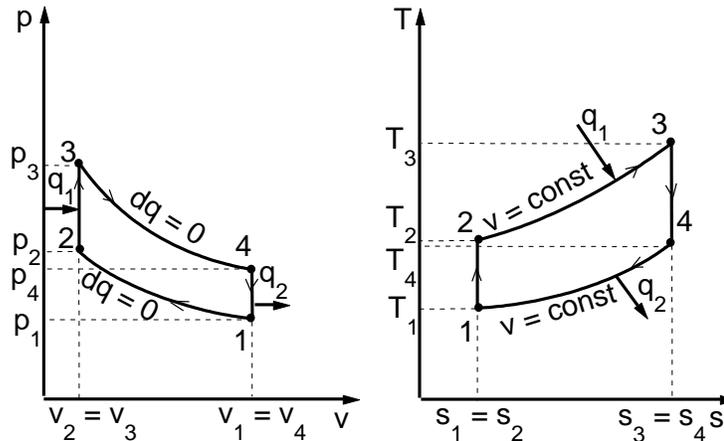


Рисунок 1.1 – Схема цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме $v = \text{const}$ в p, v – и T, s – координатах

Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v = \text{const}$ (рисунок 1.1) определить термодинамические параметры состояния во всех характерных точках цикла, полезную удельную работу l , удельное количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, полезно использованное удельное количество теплоты q , термический КПД цикла η_t и построить данный цикл в p, v – координатах на миллиметровой бумаге формата А4, если даны давление p_1 , абсолютная температура T_1 , степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$, степень повышения давления $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$. Рабочее тело –

воздух с газовой постоянной $R_{\text{возд}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоемкости рабочего тела принять постоянными:

$c_p = 1010 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_v = 720 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Исходные данные приведены в

Таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Исходные данные к задаче №3 «Цикл Отто»

№ вар	Давление p_1 , Па	Абсолютная температура T_1 , К	Степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	Степень повышения давления $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$
1	99900	283,65	7,2	3,78
2	99800	284,15	6,9	3,75
3	99700	284,65	6,6	3,72
4	99600	285,15	6,3	3,69
5	99500	285,65	6,3	3,66
6	99400	286,15	6	3,66
7	99300	286,65	6	3,63
8	99200	287,15	5,7	3,6
9	99100	287,65	5,7	3,57
10	99000	288,15	5,5	3,57
11	98900	288,65	5,2	3,54
12	98800	289,15	4,9	3,51
13	98700	289,65	4,6	3,48
14	98600	290,15	4,6	3,45
15	98500	290,65	4,3	3,42
16	98400	291,15	4,3	3,39
17	98300	291,65	4	3,39
18	98200	292,15	4	3,36
19	98100	293,15	3,6	3,33
20	100000	320	4	4

1.4 Исходные данные для выполнения задачи №4 по теме «Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$ (цикл Дизеля)»

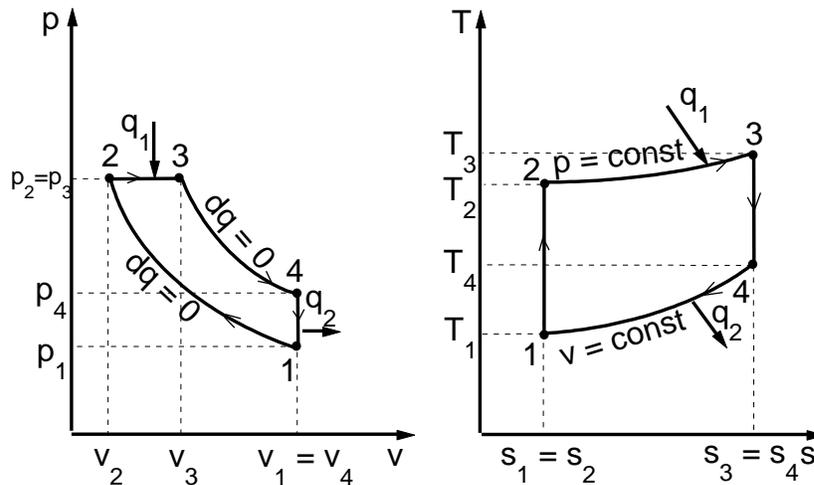


Рисунок 1.2 – Схема цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$ в p, v – и T, s – координатах

Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $p = \text{const}$ (рисунок 1.2) определить термодинамические параметры состояния во всех характерных точках цикла, полезную удельную работу l , удельное количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, полезно использованное удельное количество теплоты q , термический КПД цикла η_t и построить данный цикл в p, v – координатах на миллиметровой бумаге формата А4, если даны давление p_1 , абсолютная температура T_1 , степень сжатия $\epsilon = \frac{v_1}{v_2}$, степень предварительного расширения $\rho = \frac{v_3}{v_2}$. Рабочее

тело – воздух с газовой постоянной $R_{\text{возд}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоемкости рабочего тела принять постоянными: $c_p = 1010 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_v = 720 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Исходные данные приведены в Таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные к задаче №4 «Цикл Дизеля»

№ вар	Давление p_1 , Па	Абсолютная температура T_1 , К	Степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	Степень предварительного расширения $\rho = \frac{v_3}{v_2}$
1	99300	274,15	16,6	2,65
2	98600	275,15	16,5	2,62
3	97900	276,15	16,4	2,59
4	97200	277,15	16,3	2,56
5	96500	278,15	16,2	2,53
6	95800	279,15	16,1	2,5
7	95100	280,15	16	2,47
8	94400	281,15	15,9	2,44
9	93700	282,15	15,8	2,41
10	93000	283,15	15,7	2,38
11	92300	284,15	15,6	2,35
12	91600	285,15	15,5	2,32
13	90900	286,15	15,4	2,29
14	90200	287,15	15,3	2,26
15	89500	288,15	15,2	2,23
16	88800	289,15	15,1	2,2
17	88100	290,15	15	2,17
18	87400	291,15	14,9	2,14
19	86700	292,15	14,8	2,11
20	86000	293,15	14,7	2,08
21	85300	294,15	14,6	2,05
22	84600	295,15	14,5	2,02
23	83900	296,15	14,4	1,99
24	83600	297,15	14,3	1,96
25	83300	298,15	14	1,9
26	100000	350	20	2

Глава 2 Примеры решения задач контрольной работы

2.1 Пример решения задачи №1 по исследованию теплоотдачи в трубах при $Re_{ж} < 2320$ и вязкостно-гравитационном режиме течения теплоносителя

Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в горизонтальной трубе $d = 8\text{мм}$ и длиной $l = 12\text{м}$, если скорость воды $w_{ж} = 0,15\text{м/с}$, температура в потоке воды $t_{ж} = 50^{\circ}\text{С}$, а температура стенки трубы $t_c = 10^{\circ}\text{С}$.

2.1.1 Решение

2.1.1.1 Тепловой поток Q на внутренней поверхности горизонтально расположенной трубы определится по формуле:

$$Q = \alpha_{ж} \cdot (t_{ж} - t_c) \cdot \pi \cdot d \cdot l, \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

При заданных значениях температур на поверхности стенки и окружающей среды решение задачи сводится к определению коэффициента теплоотдачи $\alpha_{ж}$.

Для определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся теорией подобия. Выбор конкретного вида уравнения подобия зависит от режима течения теплоносителя в горизонтально расположенной трубе. При этом необходимо выбрать характерный линейный размер и определяющую температуру. В качестве характерного линейного размера выбираем диаметр трубы d , а определяющей температурой будет являться температура в потоке воды $t_{ж}$.

2.1.1.2 Для определения режима течения подсчитаем значение числа Рейнольдса:

$$Re_{ж} = \frac{w_{ж} \cdot d}{\nu_{ж}}, \quad (2.2)$$

где $w_{ж}$ - скорость теплоносителя, м/с;

$\nu_{ж}$ - кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

2.1.1.3 Из Приложения А по определяющей температуре в потоке воды $t_{ж} = 50^{\circ}\text{C}$ выписываем основные термодинамические свойства воды:

$$\nu_{ж} = 0,658 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \rho_{ж} = 988 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad c_{p,ж} = 4180,6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$\lambda_{ж} = 0,6435 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad \beta_{ж} = 4,25 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{К}}.$$

2.1.1.4 Определим значение числа Рейнольдса взятое по температуре $t_{ж}$:

$$\text{Re}_{ж} = \frac{w_{ж} \cdot d}{\nu_{ж}} = \frac{0,15 \cdot 0,008}{0,658 \cdot 10^{-6}} = 18237.$$

2.1.1.5 Так как число Рейнольдса $\text{Re}_{ж} < 2320$, то в трубе реализуется ламинарный режим течения теплоносителя, и для расчета числа Нуссельта будем использовать уравнение подобия следующего вида:

$$\overline{\text{Nu}}_{ж} = 0,15 \cdot \text{Re}_{ж}^{0,33} \cdot \text{Pr}_{ж}^{0,43} \cdot \text{Gr}_{ж}^{0,1} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{ж}}{\text{Pr}_c} \right)^{0,25}, \quad (2.3)$$

где $\text{Pr}_{ж}$ – число Прандтля взятое по температуре $t_{ж}$:

$$\text{Pr}_{ж} = \frac{\rho_{ж} \cdot c_{p,ж} \cdot \nu_{ж}}{\lambda_{ж}} = \frac{988 \cdot 4180,6 \cdot 0,658 \cdot 10^{-6}}{0,6435} = 4,223;$$

$\text{Gr}_{ж}$ – число Грасгофа взятое по температуре $t_{ж}$:

$$\text{Gr}_{ж} = \frac{gd^3}{\nu_{ж}^2} \beta_{ж} (t_{ж} - t_c) = \frac{9,8 \cdot 0,008^3}{(0,658 \cdot 10^{-6})^2} 4,25 \cdot 10^{-4} (50 - 10) = 19721325;$$

Pr_c – число Прандтля взятое по температуре t_c :

$$\text{Pr}_c = \frac{\rho_c \cdot c_{p,c} \cdot \nu_c}{\lambda_c} = \frac{999,7 \cdot 4192,1 \cdot 1,307 \cdot 10^{-6}}{0,58} = 9,443.$$

2.1.1.6 Определим значение числа Нуссельта

$$\overline{\text{Nu}}_{\text{ж}} = 0,15 \cdot \text{Re}_{\text{ж}}^{0,33} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,43} \cdot \text{Gr}_{\text{ж}}^{0,1} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{с}}} \right)^{0,25} = 0,15 \cdot 1823,7^{0,33} \cdot 4,223^{0,43} \times \\ \times 197213,25^{0,1} \cdot \left(\frac{4,223}{9,443} \right)^{0,25} = 9,191.$$

2.1.1.7 С учетом полученного значения числа Нуссельта определим значение коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_{\text{ж}} = \text{Nu}_{\text{ж}} \cdot \frac{\lambda_{\text{ж}}}{d} = 9,191 \cdot \frac{0,6435}{0,008} = 739,31 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.1.1.8 Тепловой поток Q на внутренней поверхности горизонтально расположенной трубы определится так:

$$Q = \alpha_{\text{ж}} \cdot (t_{\text{ж}} - t_{\text{с}}) \cdot \pi \cdot d \cdot l = 739,31 \cdot (50 - 10) \cdot 3,14 \cdot 0,008 \cdot 12 = 8914,35 \text{ Вт}.$$

2.2 Пример решения задачи №2 по исследованию теплоотдачи в трубах при $\text{Re}_{\text{ж}} \geq 10000$ и вязкостно-гравитационном режиме течения теплоносителя

По каналу круглого сечения диаметром $d = 28 \text{ мм}$ и длиной $l = 12 \text{ м}$ протекает вода со скоростью $w_{\text{ж}} = 5,8 \text{ м/с}$. Вычислить коэффициент теплоотдачи от стенки канала к воде, если средняя по длине температура воды $t_{\text{ж}} = 40^\circ \text{С}$, а температура внутренней поверхности канала $t_{\text{с}} = 90^\circ \text{С}$. Определить количество переданной теплоты от внутренней поверхности канала к воде.

2.2.1 Решение

2.2.1.1 Тепловой поток Q на внутренней поверхности горизонтально расположенной трубы определится по формуле:

$$Q = \alpha_{\text{ж}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{ж}}) \cdot \pi \cdot d \cdot l, \text{ Вт.} \quad (2.4)$$

При заданных значениях температур на поверхности стенки и окружающей среды решение задачи сводится к определению коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ж}}$.

Для определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся теорией подобия. Выбор конкретного вида уравнения подобия зависит от режима течения теплоносителя в горизонтально расположенной трубе. При этом необходимо выбрать характерный линейный размер и определяющую температуру. В качестве характерного линейного размера выбираем диаметр трубы d , а определяющей температурой будет являться температура в потоке воды $t_{ж}$.

2.2.1.2 Для определения режима течения подсчитаем значение числа Рейнольдса:

$$Re_{ж} = \frac{w_{ж} \cdot d}{\nu_{ж}}, \quad (2.5)$$

где $w_{ж}$ - скорость теплоносителя, м/с;

$\nu_{ж}$ - кинематический коэффициент вязкости, м²/с.

2.2.1.3 Из Приложения А по определяющей температуре в потоке воды $t_{ж} = 40^{\circ}C$ выписываем основные термодинамические свойства воды:

$$\nu_{ж} = 0,658 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \rho_{ж} = 992,3 \text{ кг/м}^3; \quad c_{pж} = 4178,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$\lambda_{ж} = 0,6305 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

2.2.1.4 Определим значение числа Рейнольдса взятое по температуре $t_{ж}$:

$$Re_{ж} = \frac{w_{ж} \cdot d}{\nu_{ж}} = \frac{5,8 \cdot 0,028}{0,658 \cdot 10^{-6}} = 2468085.$$

2.2.1.5 Так как число Рейнольдса $Re_{ж} \geq 10000$, то в трубе реализуется турбулентный режим течения теплоносителя, и для расчета числа Нуссельта будем использовать уравнение подобия следующего вида:

$$\overline{Nu}_{ж} = 0,021 \cdot Re_{ж}^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (2.6)$$

где $Pr_{ж}$ – число Прандтля взятое по температуре $t_{ж}$:

$$Pr_{ж} = \frac{\rho_{ж} \cdot c_{pж} \cdot \nu_{ж}}{\lambda_{ж}} = \frac{992,3 \cdot 4178,5 \cdot 0,658 \cdot 10^{-6}}{0,6305} = 4,327;$$

Pr_c – число Прандтля взятое по температуре t_c :

$$Pr_c = \frac{\rho_c \cdot c_{pc} \cdot \nu_c}{\lambda_c} = \frac{958,1 \cdot 4205 \cdot 0,326 \cdot 10^{-6}}{0,6753} = 1,944.$$

2.2.1.6 Определим значение числа Нуссельта

$$\overline{Nu}_{ж} = 0,021 \cdot Re_{ж}^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 246808,5^{0,8} \cdot 4,327^{0,43} \times$$

$$\times \left(\frac{4,327}{1,944} \right)^{0,25} = 991,97.$$

2.2.1.7 С учетом полученного значения числа Нуссельта определим значение коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_{ж} = Nu_{ж} \cdot \frac{\lambda_{ж}}{d} = 991,97 \cdot \frac{0,6305}{0,028} = 22337,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.2.1.8 Тепловой поток Q на внутренней поверхности горизонтально расположенной трубы определится так:

$$Q = \alpha_{ж} \cdot (t_c - t_{ж}) \cdot \pi \cdot d \cdot l = 22337,2 \cdot (90 - 40) \cdot 3,14 \cdot 0,028 \cdot 12 =$$

$$= 1,17 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

2.3 Пример решения задачи №3 по теме «Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме $v = \text{const}$ (цикл Отто)»

Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v = \text{const}$ (рисунок 1.1) определить термодинамические параметры состояния во всех характерных точках цикла, полезную удельную работу l , удельное количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, полезно использованное удельное количество теплоты q , термический КПД цикла η_t и построить данный цикл в p, v – координатах на миллиметровой бумаге, если даны давление $p_1 = 10^5 \text{ Па}$, абсолютная температура $T_1 = 283,15 \text{ К}$, степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 7,5$, степень повышения давления $\lambda = \frac{p_3}{p_2} = 3,81$.

Рабочее тело – воздух с газовой постоянной $R_{\text{возд}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$,
 показатель адиабаты $k = 1,4$. Теплоемкости рабочего тела принять
 постоянными: $c_p = 1010 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_v = 720 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Найти:

$$p_i = ?; v_i = ?; T_i = ?; l = l_{\text{расш}} - l_{\text{сж}} = ?; q_1 = ?; q_2 = ?;$$

$$q = q_1 - q_2 = ?; \eta_t = ?$$

2.3.1 Решение

2.3.1.1 Определяем параметры рабочего тела во всех характерных
 точках цикла Отто:

в точке 1 (рисунок 1.1)

- давление $p_1 = 10^5 \text{ Па}$;

- абсолютная температура $T_1 = 283,15 \text{ К}$;

- удельный объем v_1 определится по формуле:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 283,15}{10^5} = 0,813 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

в точке 2 (рисунок 1.1)

- удельный объем v_2

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,813}{7,5} = 0,108 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

- давление p_2 определится по формуле:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = \varepsilon^k \Rightarrow p_2 = p_1 \varepsilon^k = 10^5 \cdot 7,5^{1,4} = 1,679 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- абсолютная температура T_2 определится по формуле:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} = 283,15 \cdot 7,5^{(1,4-1)} = 633,93 \text{ К};$$

в точке 3 (рисунок 1.1)

- удельный объем $v_3 = v_2 = 0,108 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, так как процесс 2 – 3

изохорный;

- давление p_3

$$\frac{p_3}{p_2} = \lambda \Rightarrow p_3 = p_2 \lambda = 1,679 \cdot 10^6 \cdot 3,81 = 6,397 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- абсолютная температура T_3

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda \Rightarrow T_3 = T_2 \lambda = 633,93 \cdot 3,81 = 2415,27 \text{ К};$$

в точке 4 (рисунок 1.1)

- удельный объем $v_4 = v_1 = 0,813 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, так как процесс 4 – 1

изохорный;

- давление p_4

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k = \frac{1}{\varepsilon^k} \Rightarrow p_4 = \frac{p_3}{\varepsilon^k} = \frac{6,397 \cdot 10^6}{7,5^{1,4}} = 3,81 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

- абсолютная температура T_4

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{2415,27}{7,5^{(1,4-1)}} = 1078,8 \text{ К}.$$

2.3.1.2 Удельная работа расширения

$$l_{\text{расш}} = \left[\frac{1}{(k-1)} \right] (p_3 v_3 - p_4 v_4) = \left[\frac{1}{(1,4-1)} \right] \cdot (6,397 \cdot 10^6 \cdot 0,108 - 3,81 \cdot 10^5 \cdot 0,813) = 985885 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.3 Удельная работа сжатия

$$l_{\text{сж}} = \left[\frac{1}{(k-1)} \right] (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \left[\frac{1}{(1,4-1)} \right] \cdot (1,679 \cdot 10^6 \cdot 0,108 - 10^5 \cdot 0,813) = 251684 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.4 Полезная удельная работа

$$l = l_{\text{расш}} - l_{\text{сж}} = 985885 - 251684 = 734201 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.5 Удельное количество подведенной теплоты

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) = 720 \cdot (2415,27 - 633,93) = 1282570 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.6 Удельное количество отведенной теплоты

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) = 720 \cdot (1078,8 - 283,15) = 572869 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.7 Полезно использованное удельное количество теплоты

$$q = q_1 - q_2 = 1282570 - 572869 = 709701 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.3.1.8 Термический КПД цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{7,5^{(1,4-1)}} = 0,553.$$

2.3.1.9 Построим данный цикл по точкам в p, v – координатах:

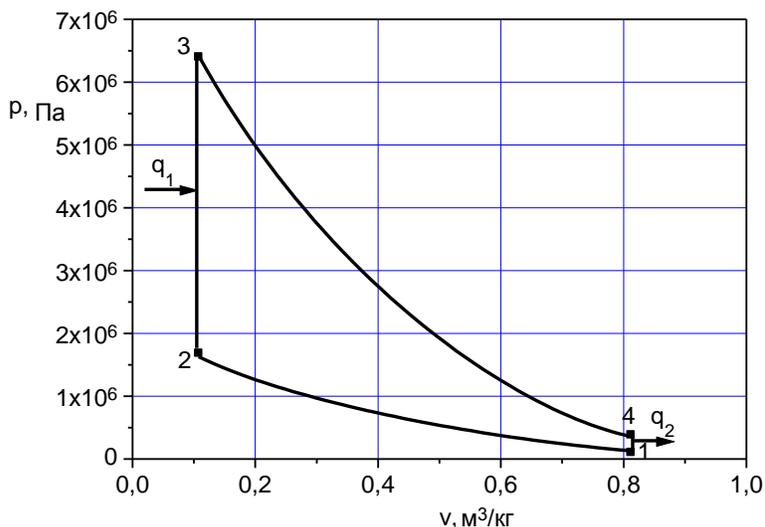


Рисунок 2.1 – Схема цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме $v = \text{const}$ в p, v – координатах

Ответ: $v_1 = 0,813 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $v_2 = 0,108 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_2 = 1,679 \cdot 10^6 \text{ Па}$;

$T_2 = 633,93\text{К}$; $v_3 = 0,108 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_3 = 6,397 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $T_3 = 2415,27\text{К}$;

$v_4 = 0,813 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_4 = 3,81 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_4 = 1078,8\text{К}$; $\eta_t = 0,553$;

$l = 734201 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; $q = 709701 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

2.4 Пример решения задачи №4 по теме «Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$ (цикл Дизеля)»

Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $p = \text{const}$ (рисунок 1.2) определить термодинамические параметры состояния во всех характерных точках цикла, полезную удельную работу l , удельное количество подведенной q_1 и отведенной q_2 теплоты, полезно использованное удельное количество теплоты q , термический КПД цикла η_t и построить данный цикл в p, v – координатах на миллиметровой бумаге формата А4.

По условиям задачи являются известными: давление $p_1 = 10^5 \text{ Па}$, абсолютная температура $T_1 = 273,15 \text{ К}$, степень сжатия $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 16,7$,

степень предварительного расширения $\rho = \frac{v_3}{v_2} = 2,68$. Рабочее тело –

воздух с газовой постоянной $R_{\text{возд}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, показатель адиабаты

$k = 1,4$. Теплоемкости рабочего тела принять постоянными:

$$c_p = 1010 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, c_v = 720 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Найти:

$$p_i = ?; v_i = ?; T_i = ?; l = l_{\text{расш}} - l_{\text{сж}} = ?; q_1 = ?; q_2 = ?;$$

$$q = q_1 - q_2 = ?; \eta_t = ?$$

2.4.1 Решение

2.4.1.1 Определяем параметры рабочего тела во всех характерных точках цикла Дизеля:

в точке 1 (рисунок 1.2)

- давление $p_1 = 10^5 \text{ Па}$;
- абсолютная температура $T_1 = 273,15 \text{ К}$;
- удельный объем v_1 определится по формуле:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 273,15}{10^5} = 0,784 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

в точке 2 (рисунок 1.2)

- удельный объем v_2

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,784}{16,7} = 0,047 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

- давление p_2 определится по формуле:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = \varepsilon^k \Rightarrow p_2 = p_1 \varepsilon^k = 10^5 \cdot 16,7^{1,4} = 5,149 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- абсолютная температура T_2

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} = 273,15 \cdot 16,7^{(1,4-1)} = 842,34 \text{ К};$$

в точке 3 (рисунок 1.2)

- давление $p_3 = p_2 = 5,149 \cdot 10^6 \text{ Па}$, так как процесс 2 – 3 изобарный;

- удельный объем

$$\frac{v_3}{v_2} = \rho \Rightarrow v_3 = v_2 \rho = 0,047 \cdot 2,68 = 0,125 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

- абсолютная температура T_3

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \Rightarrow T_3 = T_2 \rho = 842,34 \cdot 2,68 = 2257,47 \text{ К};$$

в точке 4 (рисунок 1.2)

- удельный объем $v_4 = v_1 = 0,784 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, так как процесс 4 – 1 изохорный;

- давление p_4

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k \Rightarrow p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = p_1 \rho^k = 10^5 \cdot 2,68^{1,4} = 3,975 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

- абсолютная температура T_4

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = T_1 \rho^k = 273,15 \cdot 2,68^{1,4} = 1085,9 \text{ К}.$$

2.4.1.2 Удельная работа расширения

$$I_{\text{расш}} = p_2(v_3 - v_2) + \left[\frac{1}{(k-1)} \right] (p_3 v_3 - p_4 v_4) = 5,149 \cdot 10^6 \cdot (0,125 - 0,047) + \\ + \left[\frac{1}{(1,4-1)} \right] \cdot (5,149 \cdot 10^6 \cdot 0,125 - 3,975 \cdot 10^5 \cdot 0,784) = 1246746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.3 Удельная работа сжатия

$$I_{\text{сж}} = \left[\frac{1}{(k-1)} \right] (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \left[\frac{1}{(1,4-1)} \right] \cdot (5,149 \cdot 10^6 \cdot 0,047 - \\ - 10^5 \cdot 0,784) = 408394 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.4 Полезная удельная работа

$$I = I_{\text{расш}} - I_{\text{сж}} = 1246746 - 408394 = 838352 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.5 Удельное количество подведенной теплоты

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) = 1010 \cdot (2257,47 - 842,34) = 1429281 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.6 Удельное количество отведенной теплоты

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1) = 720 \cdot (1085,9 - 273,15) = 585180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.7 Полезно использованное удельное количество теплоты

$$q = q_1 - q_2 = 1429281 - 585180 = 844101 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

2.4.1.8 Термический КПД цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении

$$\eta_t = 1 - \frac{(\rho^k - 1)}{k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1)} = 1 - \frac{(2,68^{1,4} - 1)}{1,4 \cdot 16,7^{(1,4-1)}(2,68 - 1)} = 0,589.$$

2.4.1.9 Построим данный цикл по точкам в p, v – координатах:

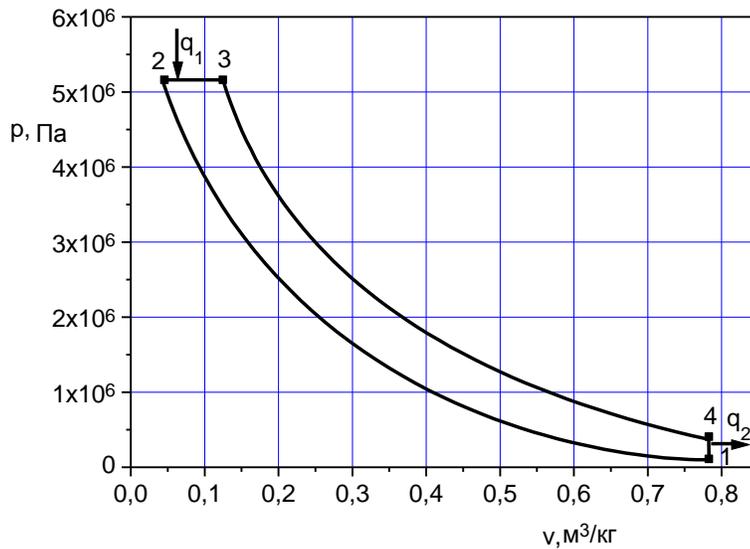


Рисунок 2.2 – Схема цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$ в p, v – координатах

Ответ: $v_1 = 0,784 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $v_2 = 0,047 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_2 = 5,149 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $T_2 = 842,34 \text{ К}$; $v_3 = 0,125 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_3 = 5,149 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $T_3 = 2257,47 \text{ К}$;

$v_4 = 0,784 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $p_4 = 3,975 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_4 = 1085,9 \text{ К}$; $\eta_t = 0,589$;

$l = 838352 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; $q = 844101 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Приложение А
Теплофизические свойства воды

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Изобарная теплоемкость $c_p, \text{Дж/(кгК)}$	Коэффициент теплопро водности $\lambda, \text{Вт/(мК)}$	Кинемати- ческий коэффициент вязкости $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Коэфф. объемного темпера- турного расширения $\beta, 1/\text{К}$
0	999,8	4217,6	0,5610	1,787	-
10	999,7	4192,1	0,5800	1,307	0,000088
20	998,3	4181,8	0,5984	1,004	0,00021
30	995,7	4178,4	0,6154	0,801	-
40	992,3	4178,5	0,6305	0,658	-
50	988,0	4180,6	0,6435	0,658	0,000425
60	983,2	4184,3	0,6543	0,475	-
70	971,6	4189,5	0,6631	0,413	-
80	965,2	4196,3	0,6700	0,365	0,00064
90	958,1	4205,0	0,6753	0,326	-
100	950,7	4215,9	0,6791	0,294	-

Список литературы

1 Рудобашта С.П. Теплотехника. Учебник для вузов. / С.П. Рудобашта. – М.: «Колос», 2010 – 598 с.

2 Усенков Р.А. Курс лекций по дисциплине «Теплотехника» для студентов Института механизации и технического сервиса часть I «Техническая термодинамика». / Р.А. Усенков. – К.: Издательство Казанского ГАУ, 2011 – 84 с.

3 Усенков Р.А., Гумиров, М.Ш. Сборник задач по дисциплине «Теплотехника» для студентов Института механизации и технического сервиса. / Р.А. Усенков. – К.: Издательство Казанского ГАУ, 2010 – 112 с.

4 Болдин А.П. Основы научных исследований. / А.П. Болдин. – М.: «Академия», 2012 – 336 с.

5 Кирюшин Б.Д. Основы научных исследований в агрономии. / Б.Д. Кирюшин. – М.: «Колос», 2009 – 398 с.