

### Задания и методические указания

для выполнения расчетно-графической работы по дисциплине «Теплотехника» (для студентов второго курса, обучающихся по направлению подготовки ЭТТМиК)

Тема: Расчет циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС)

**I. Выполнить расчет идеального цикла ДВС со смешанным (изохорно-изобарным) подводом тепла (цикла Тринклера), построить диаграммы в координатах  $P-v$  и  $T-S$ .**

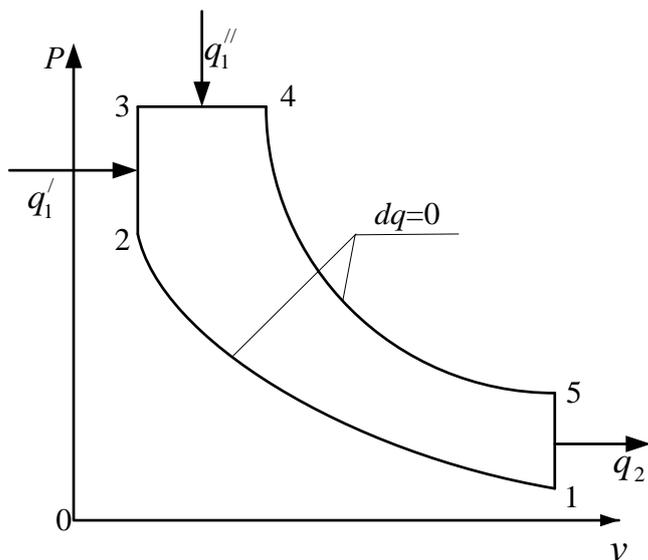


Рисунок 1 – Идеальный цикл ДВС со смешанным подводом тепла

Исходные данные выбрать из таблиц 1, 2 и 3 по двум последним цифрам шифра и начальной букве фамилии студента.

1. Объяснить, почему цикл называется идеальным?
2. Определить параметры рабочего тела в характерных точках (1, 2, 3, 4, 5).
3. На миллиметровой бумаге в масштабе расставить положения узловых точек в  $P-v$  координатах. Адиабаты 1-2 (процесса сжатия) и 4-5 (процесса расширения) построить, предварительно определив положения не менее трех промежуточных точек по каждому процессу.

4. Изобразить характерные точки на диаграмме в  $T-S$  координатах масштабе. При построении процессов в  $TS$  координатах рассчитать положения не менее трех промежуточных точек для каждого процесса (начальную точку нужно взять на оси ординат).

5. Расчеты выполнить в развернутом виде с соответствующими пояснениями.

6. Провести сравнение циклов Отто, Дизеля и Тринклера в соответствии с вариантом задания (таблица 3). Построить диаграмму в  $T-S$  координатах для заданного варианта (условия) сравнения.

9. Сформулировать выводы по полученным результатам.

Исходные данные для выполнения:

Таблица 1

Начальные параметры рабочего тела и степень сжатия

Последняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Параметры										
$P_1, \text{кг/см}^2$	1	0,9	1,05	0,95	1,1	0,9	1	0,95	0,85	1
$t_1, ^\circ\text{C}$	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	0
$\varepsilon$ - степень сжатия	16,7	17	18	16,4	17,5	16,5	17,5	18,5	17,1	16

Таблица 2

## Степень повышения давления

Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
λ - степень повышения давления в цилиндре	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	1,98	2,01

Таблица 3

## Степень предварительного расширения

Начальная буква фамилии	А, Б	В, Г	Д, Ж	З, Е	И, К	Л, М	Н, О	П, Р	С, Т	У, Ф	Х, Ч	Ц, Ш	Щ, Э	Ю, Я
ρ - степень предварительного расширения	1,18	1,15	1,2	1,25	1,3	1,18	1,15	1,2	1,25	1,3	1,21	1,18	1,15	1,2
Первое условие сравнения циклов	А	В	Д	З	И	Л	Н	П	С	У	Х	Ц	Щ	Ю
Второе условие сравнения циклов	Б	Г	Ж	Е	К	М	О	Р	Т	Ф	Ч	Ш	Э	Я

**II. Методические указания по выполнению расчетов**

Рассматриваемые циклы являются идеальными, при их рассмотрении приняты допущения:

1. Циклы замкнуты и в них рассматриваются только основные процессы, определяющие цикл.
2. Рабочим телом считается 1 кг воздуха с постоянной теплоемкостью.
3. Химический процесс сгорания топливовоздушной смеси заменяется процессом подвода тепла.
4. Тепловые и механические потери отсутствуют.
5. Процесс выпуска отработавших газов в окружающую среду заменяется процессом отвода тепла.

**Определение параметров рабочего тела в характерных точках**

С учетом приведенных допущений необходимо рассчитать цикл ДВС со смешанным подводом тепла (цикл Тринклера), для чего нужно определить параметры рабочего тела в характерных точках.

Газовая постоянная воздуха определяется:

$$R = (\mu R) / \mu = 8314,9 / 29 = 286,8 \text{ [Дж/кгК]},$$

где  $\mu$  - кажущаяся молекулярная масса воздуха.

По известным параметрам первой точки определяется удельный объем:

$$P_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = RT_1 / P_1 \text{ [м}^3\text{/кг]}$$

Для определения параметров второй точки воспользуемся зависимостями:

$$v_2 = v_1 / \varepsilon, \text{ [м}^3\text{/кг]} \quad P_1 v_1^k = P_2 v_2^k \quad P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k, \text{ МПа} \quad T_2 = (P_2 v_2) / R, \text{ К};$$

где  $\varepsilon$  - степень сжатия,  $\kappa = 1,40$  - показатель адиабаты для воздуха как для двухатомного газа.

Определим параметры точки 3:  $U_2 = U_3$  - из графика цикла;

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda, \text{ МПа} \quad T_3 = T_2 \cdot \lambda, \text{ К}; \text{ где } \lambda - \text{степень повышения давления.}$$

Определим параметры точки 4:  $P_3 = P_4$ ;  $T_4 = T_3 \rho$ ;

$$v_4 = v_3 \cdot \rho, \text{ м}^3\text{/кг. Здесь } \rho - \text{степень предварительного расширения.}$$

Определим параметры точки 5:  $U_5 = U_1$  - из графика цикла;

$$P_5 = P_4 (v_4 / v_5)^k, \text{ МПа}; \quad T_5 = (P_5 v_5) / R, \text{ К}$$

### Предварительные расчеты для построения графиков

Для нахождения положения промежуточных 2-3 точек процесса 1-2 из выражения  $P_1 v_1^k = P_i v_i^k$ , задаваясь значениями давления  $P_i$ , определить удельные объемы в данных

точках:  $v_i = v_1 \sqrt[k]{\frac{P_1}{P_i}}, \text{ м}^3\text{/кг}$

Для нахождения положения промежуточных 2-3 точек процесса 4-5 нужно воспользоваться выражением  $P_4 v_4^k = P_i v_i^k$ . Задаваясь значениями давления  $P_i$ , определить удельные объемы в этих точках. Определим количество подведенного тепла:

$$q_1 = q_1^1 + q_1^{11} = C_v (T_3 - T_2) + C_p (T_4 - T_3), \text{ Дж/кг}$$

Значения теплоемкости находим, совместно решая два уравнения:

$$C_p - C_v = R, \text{ Дж/кгК} \quad \text{и} \quad C_p / C_v = k.$$

Отведенное тепло будет равно:  $q_2 = C_v (T_5 - T_1)$ , Дж/кг

$$\text{Работа цикла будет: } l_u = q_1 - q_2, \text{ Дж/кг}$$

Тогда КПД цикла будет:  $\eta_t = (q_1 - q_2) / q_1$ .

Термический КПД можно также определить из выражения:

$$\eta = 1 - 1 / \varepsilon^{k-1} (\lambda p^k - 1) / [(\lambda - 1) + k \lambda (p - 1)]$$

Для построения диаграммы цикла в T-S координатах воспользуемся выражениями  $\Delta S_{1-2} = 0$  и  $\Delta S_{4-5} = 0$ . Эти процессы адиабатные, то есть, изоэнтропные.

Для изохорных процессов 2-3 и 5-1:  $\Delta S_{2-3} = C_v \ln(T_3/T_2)$ ,  $\Delta S_{5-1} = C_v \ln(T_5/T_1)$ , Дж/кгК;  
для изобарного процесса 3-4:  $\Delta S_{3-4} = C_p \ln(T_4/T_3)$ .

При правильном определении температур рабочего тела в характерных точках должно получиться равенство:  $S_{2-3} + S_{3-4} = S_{5-1}$

Правильно построить узловые точки в T- S координатах.

Для построения изохорного и изобарного процессов в T-S координатах нужно задаться значениями температур: в заданном интервале и определить значения изменения энтропии при принятых температурах. Правильно отложив от исходных точек изменения энтропии для каждого процесса будем иметь цикл со смешанным подводом тепла в T-S координатах.

### Сравнение циклов ДВС

**Сравнение циклов ДВС проводится только для одного случая в соответствии с вариантом задания (таблица 3).**

*Исключай. Когда степень сжатия  $\varepsilon$  постоянна для циклов Отто, Дизеля и Тринклера, подводимое тепло  $q_1^O = q_1^D = q_1^T$  постоянно.*

Сравнения циклов производим по диаграмме TS, для чего определим значения температур  $T_{4O}$ ;  $T_{4D}$ ;  $T_{4T}$  из выражений:

$$q_1 = q_1^1 + q_1^{11} = C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3) = q_1^O = q_1^D = q_1^T$$

$$q_1^O = C_v(T_{4O} - T_2) \quad q_1^D = C_p(T_{4D} - T_2)$$

Определим значения температур  $T_{4O}$  и  $T_{4D}$ :  $T_{4O} = \frac{q_1^T}{C_v} + T_2$ ;  $T_{4D} = \frac{q_1^T}{C_p} + T_2$ .

Для определения  $q_2$  находим температуры  $T_{5O}$  и  $T_{5D}$ , используя кривую 5-1 (изохору) цикла Тринклера, построенного в T-S координатах.

Значения температур  $T_{5O}$ , и  $T_{5D}$  для циклов Отто и Дизеля можно также определить из соотношений:  $\Delta S_{2-4O} = \Delta S_{5O-1}$ ,  $\Delta S_{2-4D} = \Delta S_{5D-1}$  или

$$C_v \ln(T_{4O}/T_2) = C_v \ln(T_{5O}/T_1) \quad C_p \ln(T_{4D}/T_2) = C_v \ln(T_{5D}/T_1)$$

$$C_p \ln(T_{4D}/T_2) = C_v \ln(T_{5D}/T_1)$$

Положения точек  $T_{5D}$  и  $T_{5O}$  отложим на диаграмме.

После построения диаграммы провести анализ циклов Отто, Дизеля и Тринклера. Для этого определим термические К.П.Д. через подведенное и отведенное тепло, предварительно подсчитав  $q_{2O} = c_v(T_{5O} - T_1)$ ,  $q_{2D} = c_v(T_{5D} - T_1)$ .

$$\text{КПД определяется по формулам: } \eta_D = 1 - \frac{q_2^D}{q_1} \quad \eta_O = 1 - \frac{q_2^O}{q_1}$$

**2. Второй случай сравнения: максимальная температура и максимальное давление одинаковы для всех трех циклов.**

При этом точки 4,5 и 1 (рис. 4) общие для всех трех заданных циклов, то есть, количество *отводимого* тепла во всех случаях одинаковое. Из точки 4 нужно построить изохорный процесс до точки 2<sub>о</sub> и изобарный процесс до точки 2<sub>д</sub>, для этого воспользуемся зависимостями:

$$\Delta S_{2O-4} = C_v \ln(T_4^T / T_{2O}) = \Delta S_{5-1}$$

$$\Delta S_{2D-4} = C_p \ln\left(\frac{T_4^T}{T_{2D}}\right) = \Delta S_{5-1}$$

Используя равенство  $\Delta S_{2D-4} = \Delta S_{5-1} = \Delta S_{2O-4}$ , определим значения температур  $T_{2O}$  и  $T_{2D}$ . Для нахождения положения промежуточных точек выбираем произвольно температуры  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$  между температурами точек 3<sub>о</sub> - 4 и 3<sub>д</sub>-4. Цикл Тринклера нами построен по расчету еще раньше. На эту диаграмму нужно перенести значения всех точек.

Для анализа циклов, для чего определить  $q_1^O = C_v(T_4^T - T_2^O)$   $q_1^D = C_p(T_4^T - T_2^D)$

В этом случае расчет КПД производится так:  $\eta_D = 1 - \frac{q_2^T}{q_1^D}$ ;  $\eta_O = 1 - \frac{q_2^T}{q_1^O}$ .

### III. Методические указания для выполнения графической части

Графическая часть включает три листа: листы первый и второй (рис. 2а и 2б), третий лист (рис. 3а или рис 3).

На листах графической части необходимо привести угловые штампы.

Величины давления, удельных объемов, температур и изменения энтропии нужно изобразить в масштабе.

Привести таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета в характерных точках цикла Тринклера

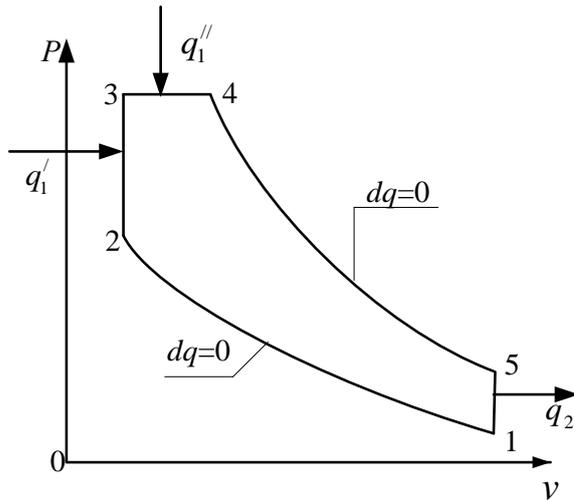
	1	2	3	4	5
$P, \text{ Н/м}^2$					
$V, \text{ м}^3/\text{кг}$					
$T, \text{ К}$					

Сформулировать выводы по РГР.

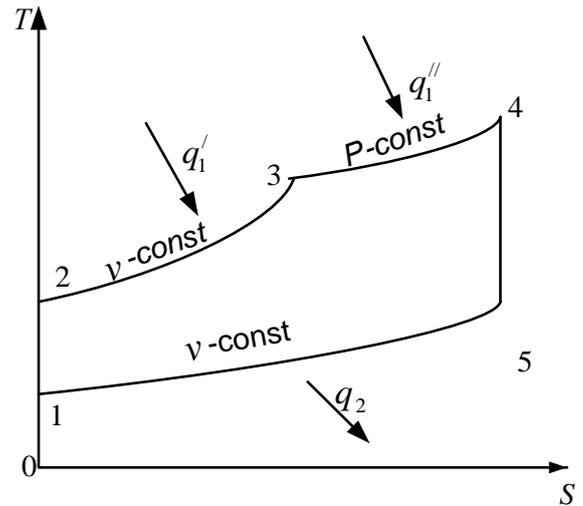
Графическую часть рекомендуется выполнить на миллиметровой бумаге формата А2.

Привести список использованной литературы.

Работу следует подписать.

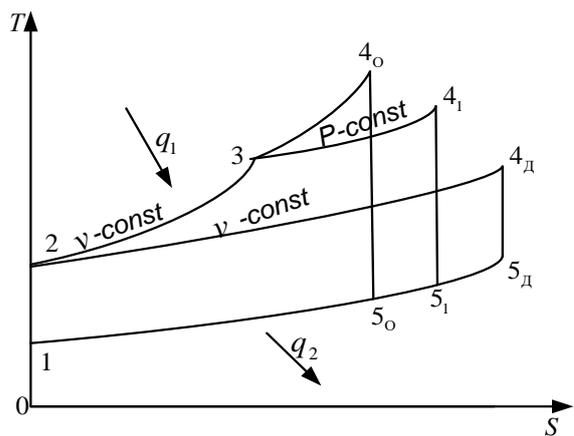


а) лист первый

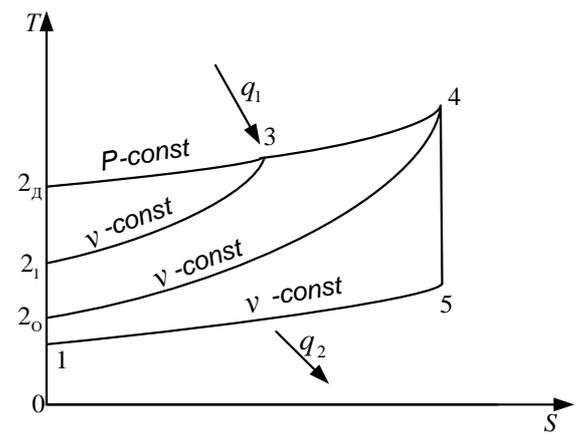


б) лист второй

Рисунок 2 - Содержание 1 и 2 листов графической части (обязательны для всех вариантов задания)



а) лист третий (первый случай сравнения)



б) лист третий (второй случай сравнения)

Рисунок 3 - содержание третьего листа графической части

#### IV. Рекомендуемая литература:

1. Рудопашта Н.В. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. М.: КолосС, 2010.
2. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., Высшая школа, 1975.
3. Теплотехника. Под ред. Баскакова А.П. М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Болотов А.К., Лопарев А.В. Сборник задач по теплотехнике и применению тепла в сельском хозяйстве. Киров, 2001.
5. Казаков Ю.Ф. Методические указания и задания по выполнению расчетно - графической работы по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления подготовки 23.03.03 – ЭТТМ и К. Чебоксары: ФГБОУ ВО ЧГСХА, 2018. 11 с.