

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоэнергетики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к курсовой работе  
**«АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»**  
по дисциплине «Транспортная энергетика»  
для студентов специальности 190702 -  
Организация и безопасность движения

Казань  
2009

УДК 536  
ББК 31.3  
Е 64

Е 64 Методические указания к курсовой работе «Анализ циклов тепловых двигателей» по дисциплине «Транспортная энергетика» для студентов специальности 190702 – Организация и безопасность движения / Сост. В.Н.Енюшин. Казань: КГАСУ, 2009.- 22 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях дан анализ циклов тепловых двигателей с газообразным рабочим телом при различных способах подвода теплоты, расчет термического КПД и пути его повышения.

Для студентов специальности 240400 при выполнении курсовой работы «Анализ циклов тепловых двигателей» по дисциплине «Транспортная энергетика».

Рецензент  
Доктор физико-математических наук, профессор  
**В.К.Козлов**

УДК 536  
ББК 31.3

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2009

© Енюшин В.Н., 2009

## ВВЕДЕНИЕ

В реальном двигателе внутреннего сгорания (ДВС) преобразование тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива, в механическую работу происходит через ряд последовательных физико-химических и термодинамических процессов, составляющих в совокупности необратимый и незамкнутый цикл. Такой цикл принято называть рабочим или действительным циклом. На протекание процессов рабочего цикла влияют конструктивные факторы (способ очистки и зарядки цилиндра, степень сжатия, способ смесеобразования и др.), регулировочные параметры (фазы газораспределения, состав смеси) и режим работы двигателя (нагрузка, число оборотов).

Сложность явлений, происходящих в цилиндре двигателя, делает невозможным термодинамический анализ действительных циклов. В связи с этим для выявления основных факторов, влияющих на эффективность работы установок, действительные процессы заменяют обратимыми термодинамическими процессами. При такой схематизации рабочие циклы ДВС превращаются в идеальные.

Под идеальным циклом ДВС следует понимать такой замкнутый и обратимый цикл, в котором отсутствуют какие-либо потери энергии, не обусловленные, согласно второму закону термодинамики, необходимостью отдачи теплоты холодному источнику.

Основные особенности идеального цикла в следующем:

1. Рабочим телом в цикле является идеальный газ или смесь идеальных газов с постоянной теплоемкостью (в действительности – смесь воздуха и паров топлива).
2. Количество рабочего тела за цикл остается постоянным. В цикле отсутствуют процессы очистки цилиндра от отработавших газов и

наполнения его свежим зарядом (в действительности — имеют место процессы газообмена).

3. Потери теплоты в окружающую среду на трение, излучение, охлаждение отсутствуют, и процессы сжатия и расширения протекают адиабатически (в действительности — по политропе).

4. Процессы сгорания топлива, теплоотдачи и очистки цилиндра заменены соответственно подводом теплоты  $Q_1$  от горячего источника и отдачей теплоты  $Q_2$  холодному источнику. Подвод теплоты осуществляется либо при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ), либо при постоянном давлении ( $p = \text{const}$ ), либо по смешанному циклу ( $V = \text{const}; p = \text{const}$ ).

## ЦИКЛЫ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**Общие положения.** Цикл Карно практически нереализуем в двигателях внутреннего сгорания. Поэтому были предложены другие сочетания термодинамических процессов, позволившие получить теоретические циклы двигателей внутреннего сгорания. В теории поршневых ДВС представляют интерес следующие теоретические циклы:

а) цикл с подводом теплоты при постоянном объеме, близкий по характеру протекания процессов к циклам в двигателях с воспламенением от электрической искры (цикл Отто);

б) цикл с подводом теплоты при постоянном давлении, близкий к циклу в компрессорных дизелях (цикл Дизеля);

в) цикл с последовательным подводом теплоты при постоянных объеме и давлении — обобщенный цикл, близкий к циклу в бескомпрессорных дизелях (цикл Тринклера).

Во всех этих циклах отвод теплоты осуществляется при постоянном объеме.

В двигателях, работающих по циклу Отто, сжатию подвергается горючая смесь (смесь воздуха и топлива), приготовленная в специальном устройстве — карбюраторе. После сжатия горючая смесь воспламеняется при помощи электрической искры и сгорает практически мгновенно. Принимается, что подвод теплоты осуществляется при неподвижном поршне, т. е. в изохорном процессе.

В двигателях, работающих по циклу Дизеля, сжимается чистый атмосферный воздух, затем в цилиндр через специальную форсунку впрыскивается топливо (керосин, мазут, соляровое масло). В среде сжатого воздуха (давление до 3-5 МПа и температура до 1000 К) топливо самовоспламеняется и сгорает практически при постоянном давлении. Распыление топлива осуществляется сжатым воздухом под давлением 5-6 МПа, создаваемым специальным компрессором высокого давления.

Цикл бескомпрессорного дизеля осуществлен в России инженером Г. В. Тринклером в двигателе со смешанным подводом теплоты. Особенностью такого двигателя является то, что распыление жидкого топлива осуществляется механическим путем в камере сгорания.

При рассмотрении теоретических циклов принимаются следующие допущения:

а) циклы являются замкнутыми (обратимыми) и протекают при постоянном количестве одного и того же рабочего тела (идеального газа);

б) теплоемкость рабочего тела на протяжении всего цикла считается постоянной, не зависящей от температуры;

в) процесс сгорания топлива в цилиндре заменяется мгновенным условным подводом теплоты, а выброс отработанных газов — мгновенным условным отводом теплоты;

г) сжатие и расширение рабочего тела осуществляется в адиабатном процессе, т.е. без теплообмена с окружающей (внешней) средой.

**Обобщенный цикл с последовательным подводом теплоты при постоянном объеме и давлении.** Введем следующие обозначения безразмерных параметров цикла (рис. 1):

$\varepsilon = v_a / v_c$  — степень сжатия;

$\rho = v_z / v_c$  — степень предварительного расширения;

$\delta = v_b / v_c$  — степень последующего расширения;

$\lambda = p_z / p_c$  — степень повышения давления;

$k = c_p / c_v$  — показатель адиабаты.

Совершенство термодинамического цикла оценивается его термическим КПД:

$$\eta_t = l_u / q_1 = (q_1 - q_2) / q_1 = 1 - q_2 / q_1.$$

Для рассматриваемого цикла:

$$q_1 = q_1' + q_1'' = c_v (T_{z'} - T_c) + c_p (T_z - T_{z'});$$

$$q_2 = c_v (T_b - T_a).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [\lambda \rho - 1 + k \lambda \rho (\rho - 1)]} \quad (1)$$

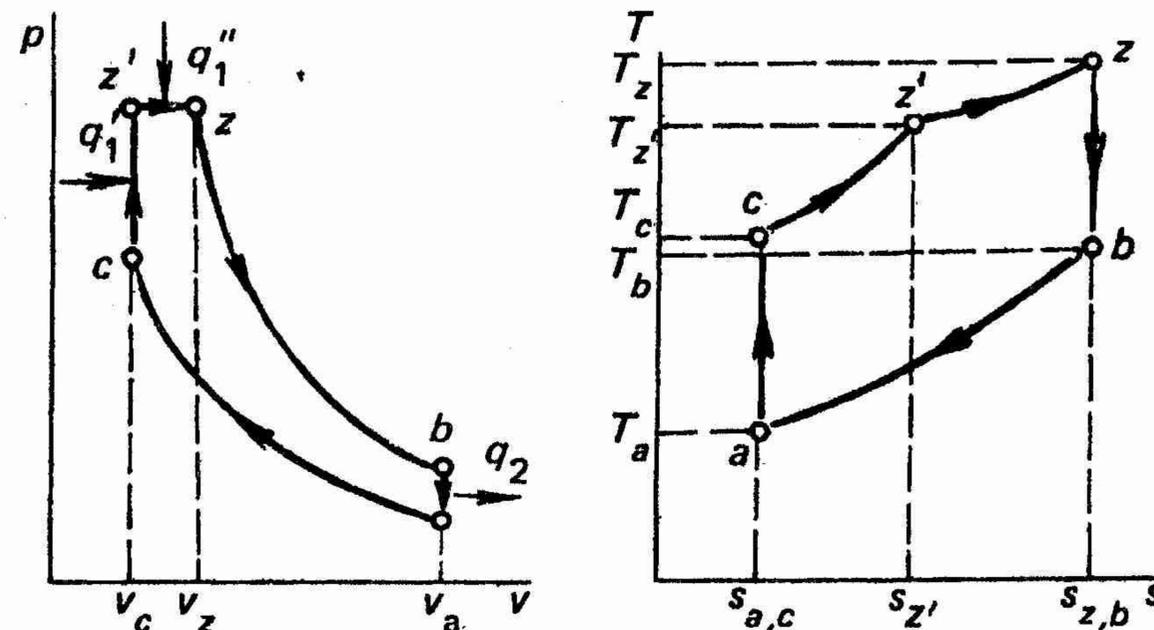


Рис. 1. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме и давлении

**Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме.** Данный цикл (рис. 2) является частным случаем рассмотренного обобщенного цикла, когда:

$$\rho = v_z / v_c = 1;$$

$$\delta = v_b / v_z = v_a / v_c = \varepsilon.$$

В этом цикле:

$$q_1 = c_v (T_z - T_c);$$

$$q_2 = c_v (T_b - T_a).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (2)$$

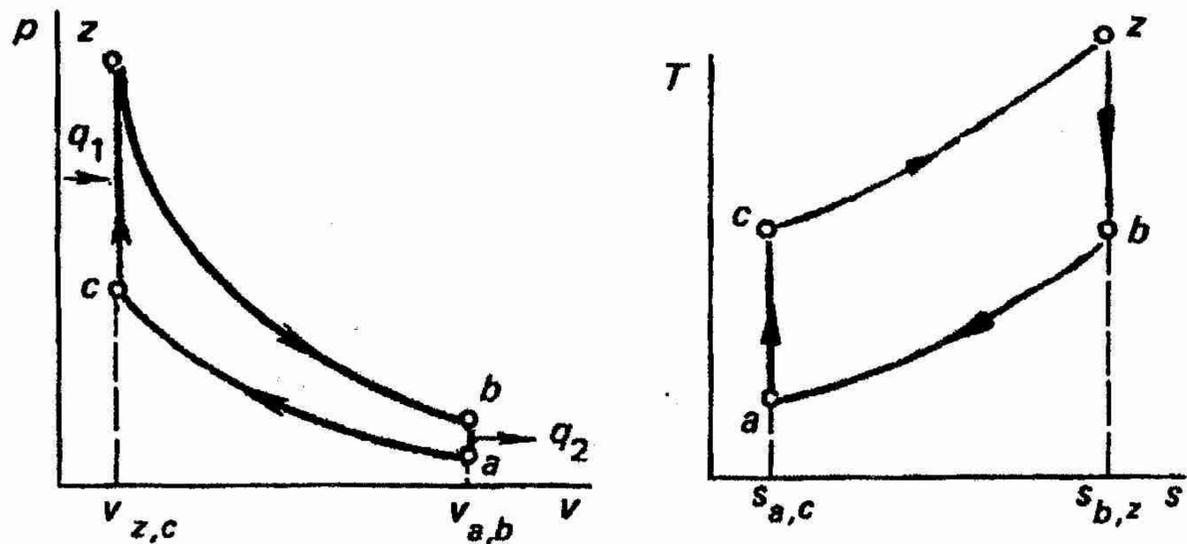


Рис. 2. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Данный цикл (рис. 3) является вторым частным случаем обобщенного цикла, когда:

$$\lambda_p = 1.$$

Для этого цикла:

$$q_1 = c_p (T_z - T_c);$$

$$q_2 = c_v (T_b - T_a).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k (\rho - 1)} \quad (3)$$

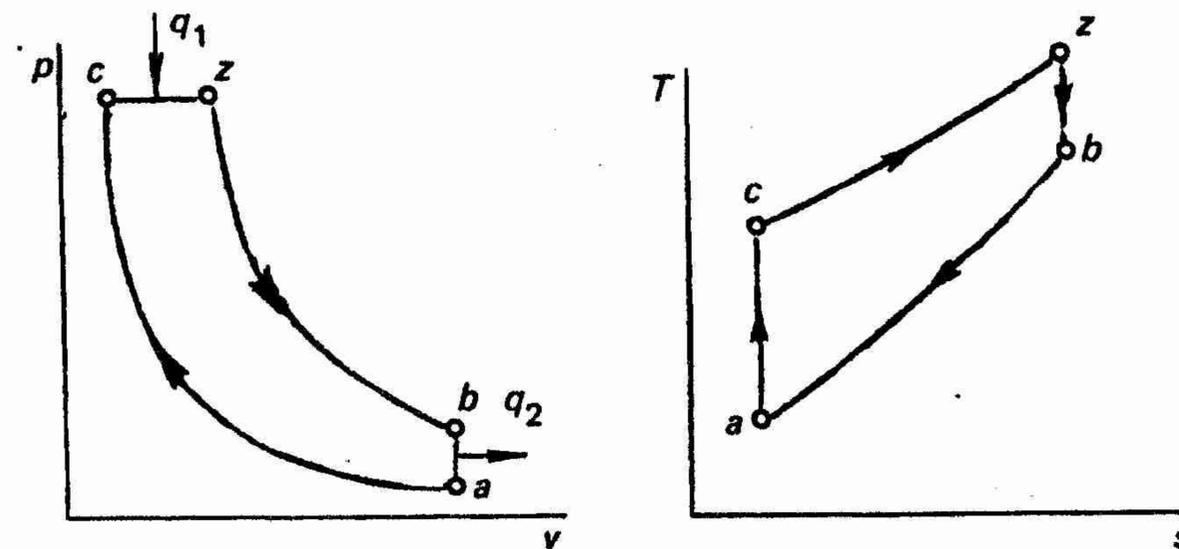


Рис. 3. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении

### ПРИМЕР ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОБОБЩЕННОГО ЦИКЛА ДВС

Исходные данные:

Рабочее тело – воздух.

Абсолютное давление –  $p_a$ , МПа.

Абсолютная температура –  $T_a$ , К.

Степень сжатия –  $\varepsilon = v_a / v_c$ .

Степень повышения давления –  $\lambda = p_z' / p_c$ .

Степень предварительного расширения –  $\rho = v_z / v_z'$ .

Показатель адиабаты –  $k = c_p / c_v$ .

$$R = \frac{8314}{\mu} = 287 \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right);$$

$$c_v = 1 - \frac{R}{k-1} = \frac{0,287}{k-1} = 0,72 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$$

$$c_p = \frac{R \cdot k}{k-1} = \frac{0,287 \cdot k}{k-1} = 1,01 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right).$$

### 1. Определение параметров в характерных точках

Точка  $a$ :

$p_a$ , МПа;

$T_a$ , К;

$$v_a = \frac{R \cdot T_a}{p_a} = \frac{287 \cdot T_a}{p_a}, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right).$$

При расчете энтропии  $S$ , внутренней энергии  $U$ , энтальпии  $h$  за их начало отсчета принимаем нормальные физические условия. Тогда:

$$s_a = c_p \cdot \ln \frac{T_a}{T_0} - R \cdot \ln \frac{p_a}{p_0} = \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot \ln \frac{T_a}{273} - R \cdot \ln \frac{p_a}{101325};$$

$$u_a = c_v \cdot T_a = \frac{R}{k-1} \cdot T_a;$$

$$h_a = c_p \cdot T_a = \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot T_a.$$

Точка  $c$ :

$$\frac{p_c}{p_a} = \left( \frac{v_a}{v_c} \right)^k; \quad p_c = p_a \cdot \varepsilon^k;$$

$$\frac{T_c}{T_a} = \left( \frac{v_a}{v_c} \right)^{k-1}; \quad T_c = T_a \cdot \varepsilon^{k-1};$$

$$v_c = \frac{v_a}{\varepsilon}$$

$$s_c = \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot \ln \frac{T_c}{273} - R \cdot \ln \frac{p_c}{101325}$$

$$u_c = c_v \cdot T_c = \frac{R}{k-1} \cdot T_c$$

$$h_c = c_p \cdot T_c = \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot T_c$$

Точка  $z'$ :

$$v_{z'} = v_c = \frac{v_a}{\varepsilon};$$

$$p_{z'} = p_c \cdot \lambda = p_a \cdot \varepsilon^k \cdot \lambda$$

$$\frac{T_{z'}}{T_c} = \frac{p_{z'}}{p_c} = \lambda; \quad T_{z'} = T_c \cdot \lambda = T_a \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda.$$

Точка  $z$ :

$$\frac{T_z}{T_{z'}} = \frac{v_z}{v_{z'}} = \rho; \quad T_z = T_{z'} \cdot \rho = T_a \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda \cdot \rho;$$

$$v_z = v_{z'} \cdot \rho = v_a \frac{\rho}{\varepsilon};$$

$$p_z = p_{z'} = p_a \cdot \varepsilon^\kappa \cdot \lambda$$

Точка  $b$ :

$$v_b = v_a;$$

$$p_b = p_z \left( \frac{v_z}{v_b} \right)^\kappa = p_a \cdot \varepsilon^\kappa \cdot \lambda \left( \frac{v_a \cdot \rho}{v_a \cdot \varepsilon} \right)^\kappa = p_a \cdot \rho^\kappa \cdot \lambda;$$

$$\frac{T_b}{T_z} = \left( \frac{v_z}{v_b} \right)^{\kappa-1} = \left( \frac{v_z}{v_a} \right)^{\kappa-1}; \quad \frac{\rho}{\varepsilon} = \frac{v_z/v_{z'}}{v_a/v_c} \cdot \frac{v_z}{v_a};$$

$$\frac{T_b}{T_z} = \left( \frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{\kappa-1}; \quad T_b = T_a \cdot \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \cdot \rho \frac{\rho^{\kappa-1}}{\varepsilon^{\kappa-1}} = T_a \cdot \lambda \cdot \rho^\kappa.$$

Результаты расчета свести в таблицу 1.

Таблица 1

Точки цикла	Параметры характеристик точек цикла					
	$p$ , МПа	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$T$ , К	$s$ , Дж/кг·К	$u$ , Дж/кг	$h$ , Дж/кг
1(a)						
2(c)						
3(z')						
4(z)						
5(b)						

## 2. Определение $\Delta U$ , $\Delta h$ , $\Delta S$ , $q$ , $l$ процессов цикла

1. Процесс  $a-c$  (адиабатное сжатие рабочего тела):

а)  $\Delta u_{a-c} = u_c - u_a;$

б)  $\Delta h_{a-c} = h_c - h_a;$

в)  $\Delta s_{a-c} = s_c - s_a;$

г)  $q_{a-c} = 0;$

д)  $l_{a-c} = -\Delta u_{a-c} = u_a - u_c.$

2. Процесс  $c-z'$  (изохорный подвод теплоты  $q_{1'}$ ):

а)  $\Delta u_{c-z'} = u_{z'} - u_c;$

б)  $\Delta h_{c-z'} = h_{z'} - h_c;$

в)  $\Delta s_{c-z'} = s_{z'} - s_c;$

г)  $q_{c-z'} = u_{z'} - u_c;$

д)  $l_{c-z'} = 0.$

3. Процесс  $z'-z$  (изобарный подвод теплоты  $q_{1''}$ ):

а)  $\Delta u_{z'-z} = u_z - u_{z'};$

б)  $\Delta h_{z'-z} = h_z - h_{z'};$

в)  $\Delta s_{z'-z} = s_z - s_{z'};$

г)  $q_{z'-z} = h_z - h_{z'};$

д)  $l_{z'-z} = q_{z'-z} - \Delta u_{z'-z}.$

4. Процесс  $z-b$  (адиабатное расширение рабочего тела):

а)  $\Delta u_{z-b} = u_b - u_z;$

б)  $\Delta h_{z-b} = h_b - h_z;$

в)  $\Delta s_{z-b} = s_b - s_z;$

г)  $q_{z-b} = 0;$

$$д) l_{z-b} = -\Delta u_{z-b} = u_z - u_b.$$

5. Процесс  $b-a$  (изохорный отвод теплоты  $q_2$ ):

$$а) \Delta u_{b-a} = u_a - u_b;$$

$$б) \Delta h_{b-a} = h_a - h_b;$$

$$в) \Delta s_{b-a} = s_a - s_b;$$

$$г) q_{b-a} = u_a - u_b;$$

$$д) l_{b-a} = 0.$$

6. Проверка для цикла:

$$\Sigma \Delta u = \Delta u_{a-c} + \Delta u_{c-z'} + \Delta u_{z'-z} + \Delta u_{z-b} + \Delta u_{b-a} = 0;$$

$$\Sigma \Delta h = \Delta h_{a-c} + \Delta h_{c-z'} + \Delta h_{z'-z} + \Delta h_{z-b} + \Delta h_{b-a} = 0;$$

$$\Sigma \Delta s = \Delta s_{a-c} + \Delta s_{c-z'} + \Delta s_{z'-z} + \Delta s_{z-b} + \Delta s_{b-a} = 0;$$

$$\Sigma q = q_{a-c} + q_{c-z'} + q_{z'-z} + q_{z-b} + q_{b-a};$$

$$\Sigma l = l_{a-c} + l_{c-z'} + l_{z'-z} + l_{z-b} + l_{b-a}.$$

Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2

Процессы цикла	Изменение в процессе				
	$\Delta u$	$\Delta h$	$\Delta s$	q, Дж/кг	l, Дж/кг
1-2 (a-c)					
2-3 (c-z)					
3-4 (z-z')					
4-5 (z-b)					
5-1 (b-a)					
$\Sigma$					

3. Расчет  $q_1$  подведенного,  $q_2$  отведенного, работы цикла  $l_{ц}$  и термического КПД  $\eta_t$ ;

$$q_1 = q_{1'} + q_{1''} = q_{c-z'} + q_{z'-z};$$

$$q_2 = q_{b-a};$$

$$l_{ц} = \Sigma l;$$

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{\lambda \cdot \rho^K - 1}{\varepsilon^{K-1} [(\lambda - 1) + K \cdot \lambda (\rho - 1)]}.$$

4. Построить цикл  $p-v$  и  $T-s$  на диаграммах, рассчитав предварительно по три промежуточных точки на адиабатах (диаграмма  $p-v$ ), изобарах и изохорах (диаграмма  $T-s$ ).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ВАРИАНТЫ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАНИЙ

1. Цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме.

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{К}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\lambda = p_3 / p_2$
1	1,0	288,0	6,0	3,0
2	1,0	288,0	6,5	3,2
3	1,0	288,0	7,0	3,4
4	1,0	288,0	7,5	3,6
5	1,0	288,0	8,0	3,8
6	1,0	288,0	8,5	4,0
7	1,0	288,0	9,0	3,8
8	1,0	288,0	9,5	3,6
9	1,0	288,0	10,0	3,4
10	1,0	288,0	10,5	3,2
11	1,0	288,0	11,0	3,0
12	1,0	288,0	10,5	3,2
13	1,0	288,0	10,0	3,4
14	1,0	288,0	9,5	3,6
15	0,9	293,0	9,0	3,8
16	0,9	293,0	8,5	4,0
17	0,9	293,0	8,0	3,8
18	0,9	293,0	7,5	3,6
19	0,9	293,0	7,0	3,4
20	0,9	293,0	6,5	3,2

Продолжение приложения

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{К}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\lambda = p_3 / p_2$
21	0,9	293,0	6,0	3,0
22	0,9	293,0	6,5	3,2
23	0,9	293,0	7,0	3,4
24	0,9	293,0	7,5	3,6
25	0,9	293,0	8,0	3,8
26	0,9	293,0	8,5	4,0
27	0,9	293,0	9,0	3,8
28	0,9	293,0	9,5	3,6
29	0,9	293,0	10,0	3,4
30	1,0	273,0	10,5	3,0
31	1,0	273,0	11,0	3,2
32	1,0	273,0	10,5	3,4
33	1,0	273,0	10,0	3,6
34	1,0	273,0	9,5	3,8
35	1,0	273,0	9,0	4,0
36	1,0	273,0	8,5	3,8
37	1,0	273,0	8,0	3,6
38	1,0	273,0	7,5	3,4
39	1,0	273,0	7,0	3,2
40	1,0	273,0	6,5	3,0

2. Цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном давлении.

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{К}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\rho = v_3 / v_2$
1	0,9	293,0	15,0	1,2

Продолжение приложения

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\rho = v_3 / v_2$
2	0,9	293,0	15,5	1,3
3	0,9	293,0	16,0	1,4
4	0,9	293,0	16,5	1,5
5	0,9	293,0	17,0	1,6
6	0,9	293,0	17,5	1,7
7	0,9	293,0	18,0	1,6
8	0,9	293,0	18,5	1,5
9	0,9	293,0	19,0	1,4
10	0,9	293,0	19,5	1,3
11	0,9	293,0	20,0	1,2
12	0,9	293,0	20,5	1,2
13	0,9	293,0	21,0	1,3
14	0,9	293,0	21,5	1,4
15	1,0	303,0	22,0	1,5
16	1,0	303,0	15,0	1,6
17	1,0	303,0	15,5	1,7
18	1,0	303,0	16,0	1,6
19	1,0	303,0	16,5	1,5
20	1,0	303,0	17,0	1,4
21	1,0	303,0	17,5	1,3
22	1,0	303,0	18,0	1,2
23	1,0	303,0	18,5	1,2
24	1,0	303,0	19,0	1,3
25	1,0	303,0	19,5	1,4

Продолжение приложения

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\rho = v_3 / v_2$
26	1,0	303,0	20,0	1,5
27	1,0	303,0	20,5	1,6
28	1,0	303,0	21,0	1,7
29	1,0	303,0	21,5	1,6
30	1,1	283,0	22,0	1,5
31	1,1	283,0	21,5	1,4
32	1,1	283,0	21,0	1,3
33	1,1	283,0	20,5	1,2
34	1,1	283,0	20,0	1,2
35	1,1	283,0	19,5	1,3
36	1,1	283,0	19,0	1,4
37	1,1	283,0	18,5	1,5
38	1,1	283,0	18,0	1,6
39	1,1	283,0	17,5	1,7
40	1,1	283,0	17,0	1,6

3. Цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты .

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\lambda = p_3 / p_2$	$\rho = v_4 / v_3$
1	0,95	273,0	12,0	1,2	1,2
2	0,95	273,0	12,5	1,4	1,3
3	0,95	273,0	13,0	1,6	1,4
4	0,95	273,0	13,5	1,8	1,5

Продолжение приложения

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\lambda = p_3 / p_2$	$\rho = v_4 / v_3$
5	0,95	273,0	14,0	2,0	1,6
6	0,95	273,0	14,5	2,2	1,7
7	0,95	273,0	15,0	2,4	1,2
8	0,95	273,0	15,5	1,2	1,3
9	0,95	273,0	16,0	1,4	1,4
10	0,95	273,0	16,5	1,6	1,5
11	0,95	273,0	17,0	1,8	1,6
12	0,95	273,0	17,5	2,0	1,7
13	0,95	273,0	18,0	2,2	1,2
14	0,95	273,0	18,5	2,4	1,3
15	1,0	293,0	12,0	1,2	1,4
16	1,0	293,0	12,5	1,4	1,5
17	1,0	293,0	13,0	1,6	1,6
18	1,0	293,0	13,5	1,8	1,7
19	1,0	293,0	14,0	2,0	1,2
20	1,0	293,0	14,5	2,2	1,3
21	1,0	293,0	15,0	2,4	1,4
22	1,0	293,0	15,5	1,2	1,5
23	1,0	293,0	16,0	1,4	1,6
24	1,0	293,0	16,5	1,6	1,7
25	1,0	293,0	17,0	1,8	1,2
26	1,0	293,0	17,5	2,0	1,3
27	1,0	293,0	18,0	2,2	1,4

Окончание приложения

№ варианта	$p_1, \text{бар}$	$T_1, \text{K}$	$\varepsilon = v_1 / v_2$	$\lambda = p_3 / p_2$	$\rho = v_4 / v_3$
28	1,0	293,0	18,5	2,4	1,5
29	1,0	293,0	19,0	1,2	1,6
30	1,05	283,0	12,5	1,4	1,7
31	1,05	283,0	13,0	1,6	1,2
32	1,05	283,0	13,5	1,8	1,3
33	1,05	283,0	14,0	2,0	1,4
34	1,05	283,0	14,5	2,2	1,5
35	1,05	283,0	15,0	2,4	1,6
36	1,05	283,0	15,5	1,2	1,7
37	1,05	283,0	16,0	1,4	1,2
38	1,05	283,0	16,5	1,6	1,3
39	1,05	283,0	17,0	1,8	1,4
40	1,05	283,0	17,5	2,0	1,5

## ЛИТЕРАТУРА

1. Железко Б.Е. Термодинамика, теплопередача и двигатели внутреннего сгорания / Б.Е.Железко, В.М.Адамов, Р.И.Есьман. Минск: Высшая школа, 1985. 272 с.
2. Кудинов В.А. Техническая термодинамика / В.А.Кудинов, Э.М.Карташов. М.: Высшая школа, 2003. 262 с.
3. Савин И.К. Теоретические основы теплотехники (краткий курс). Ч.1. Техническая термодинамика. Петрозаводск: Изд-во "ПетрГУ", 2008.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовой работе

### «АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»

по дисциплине «Транспортная энергетика»

для студентов специальности 190702 –

Организация и безопасность движения

Составитель Владимир Николаевич Енюшин

Редактор Г.А.Рябенкова

Редакционно-издательский отдел

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать 29.05.09.

Формат 60x84/16

Заказ 368.

Печать ризографическая

Усл.-печ.л.1,4

Тираж 100 экз.

Бумага офсетная № 1

Уч.-изд.л.1,6

Печатно-множительный отдел КГАСУ

420043, Казань, Зеленая, 1