

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ К.П.Д. КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. С. ЦЕХАНОВ

(Представлено проф. докт. техн. наук В. К. Нечаевым)

Для выяснения основных закономерностей изменения экономичности карбюраторного двигателя при дросселировании немалое значение имеет исследование термодинамических циклов, позволяющее установить величину и закономерность изменения термического к. п. д. в зависимости от нагрузки, что важно для сравнения с ним индикаторного к. п. д. двигателя.

Как известно, при постоянной теплоемкости рабочего тела в идеальном цикле [2] термический к. п. д. цикла не зависит от нагрузки. Значения η_i и других параметров цикла $C_v = \text{пост.}$ для рассматриваемого примера приведены в табл. 2.

Однако в цикле с переменной теплоемкостью термический к. п. д. падает с увеличением нагрузки.

Ниже приводятся результаты конкретных подсчетов, цель которых установить степень влияния количественного регулирования на термический к. п. д. при переменной теплоемкости рабочего тела.

Процесс дросселирования, как способ количественного регулирования мощности двигателя, в идеальном цикле проявляется в снижении давления начала сжатия. Поэтому для исследования влияния нагрузки на термический к. п. д. цикла карбюраторного двигателя воспользуемся термодинамическим идеальным циклом с подводом тепла по $v = \text{пост.}$ (фиг. 1).

Ввиду фронтального характера сгорания и влияния остаточных газов пределы воспламеняемости смеси в карбюраторных двигателях по составу, т. е. по качеству, весьма ограничены. Это вызывает необходимость введения количественного регулирования смеси при изменении нагрузки на двигатель.

В карбюраторном двигателе рабочее тело состоит из двух частей: свежей смеси и остаточных газов, первая из них является носителем тепла. При регулировании количества свежей смеси изменяется и количество тепла, вносимое ею в цилиндр на все рабочее тело. В соответствии с этим для исследуемого идеального цикла рабочее тело разделим на две части (фиг. 1):

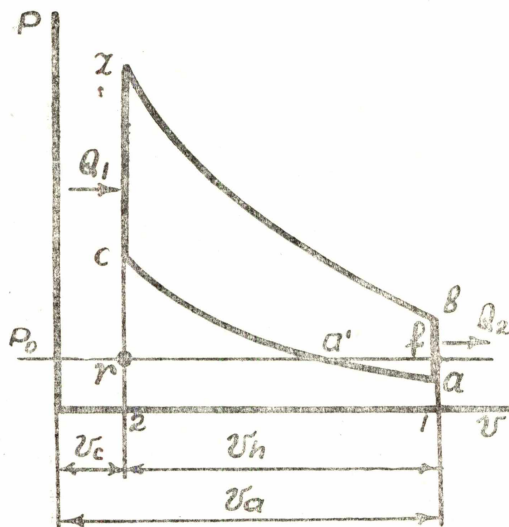
$$M_a = M_r + M_o,$$

где M_a — количество молей рабочего тела, заполняющего в данном замкнутом цикле весь объем цилиндра v_a ;

M_r — количество молей рабочего тела, заполняющего объем камеры сжатия v_c (остаточные газы),

M_o — переменное количество молей свежего заряда, заполняющего рабочий объем v_h .

Количественное регулирование идеального цикла осуществляется следующим образом. Циклы рассматриваются замкнутыми при разных количествах рабочего тела, что в расчетах учитывается изменением дав-



Фиг. 1. Идеальный цикл карбюраторного двигателя [4].

ления начала сжатия p_a . Тепло вносится свежим зарядом M_o , изменение количества которого вызывает изменение и тепла Q_1 , подводимого ко всему рабочему телу M_a . Изменение количества свежего заряда удобно оценивать коэффициентом наполнения η_v , равным

$$\eta_v = \frac{G}{G_o},$$

где G — вес свежего заряда M_o , заполняющего рабочий объем в данном замкнутом цикле;

G_o — вес заряда M_o , который может заполнить тот же объем при давлении и температуре окружающей среды.

Тепло, сообщаемое рабочему телу M_a , в данном замкнутом цикле определяется выражением

$$Q_1 = M_o Q_o,$$

где Q_o — теплотворность свежего заряда, т. е. количество тепла в ккал, подводимое на 1 моль заряда M_o .

В расчетах величину Q_o принимаем в количествах, которые могут теоретически выделиться при сгорании 1 моля бензино-воздушной

смеси соответствующего состава за вычетом теоретической неполноты сгорания (табл. 1).

Таблица 1

Теплотворность заряда M_o		
Q_o	Ккал/моль	$\bar{\alpha}$
Q_o^I	17840	0,8
Q_o^{II}	19940	1,0
Q_o^{III}	16650	1,2

В качестве рабочего тела принимаем воздух, начальные параметры которого $p_0 = 1 \text{ кг/см}^2$ и $T_0 = 288^\circ$ абс. Давление и температуру остаточной части рабочего тела M_r (точка r) принимаем равными p_0 и T_0 . Отсюда температура начала сжатия заряда T_a равна T_0 . Степень сжатия принята $\varepsilon = 5,26$ по значению, равной степени сжатия двигателя, на котором в дальнейшем проводились опытные исследования. Показателем нагрузки идеального цикла будем считать среднее давление цикла p_t [2, 3]. Процессы сжатия и расширения приняты адиабатическими. Параметры рассматриваемых циклов определялись по методике теплового расчета Гриневецкого—Мазинга [1] как с постоянной, так и с переменной теплоемкостями. Зависимость теплоемкости от температуры принята линейной [4]. Результаты расчетов сведены в табл. 2 и 3.

Учитывая зависимость теплоемкости рабочего тела от температуры, выясним влияние этого фактора на термический к. п. д. цикла в зависимости от p_t .

Расчеты цикла показали (табл. 3, фиг. 2), что при количественном регулировании с уменьшением p_t термический к. п. д. увеличивается. Повышение термического к. п. д. η_t' со снижением p_t вызвано уменьшением теплоемкости рабочего тела в процессе расширения, или соответственно повышением показателя адиабаты расширения κ_2 (фиг. 3).

В процессе сжатия теплоемкость заряда, а следовательно, показатель адиабаты сжатия κ_1 , не меняется, и поэтому не влияет на изменение экономичности цикла. Это объясняется тем, что отвод тепла от рабочего тела происходит, согласно условию [4], до температуры окружающей среды T_0 . Поэтому температура начала сжатия T_a , независимо от количества рабочего тела, равна T_0 , отсюда и температура конца сжатия так же не изменяется. Со снижением p_t при количественном регулировании, несмотря на постоянную теплотворность свежего заряда M_o , уменьшается количество тепла, приходящегося на все рабочее тело M_a из-за увеличения относительного количества остаточной части рабочего тела M_r . Ввиду этого температура конца подвода тепла T_z (фиг. 3), а вместе с тем и степень повышения давления λ снижаются и уменьшается теплоемкость рабочего тела. Это снижение теплоемкости вызывает повышение показателя κ_2 , отсюда степени изменения температур за процесс расширения δ^{κ_2-1} и приводит к повышению термического к. п. д. на 3,5—4,5%. С изменением теплотворности свежего заряда Q_o также изменяются температура

Расчетные данные идеального цикла при количественном регулировании,
 $c_v = \text{пост.}, \varepsilon = 5,26.$

η_v	T_c	T_z	T_b	γ	λ	P_a	P_c	P_z	P_b	P_t	η_t
$Q_o^I = 17840 \text{ ккал/моль } (\alpha = 0,8)$											
1,00	560	3480	1788	0,235	6,22	1,000	10,24	63,60	6,22	15,17	0,486
0,80	560	3346	1720	0,294	5,98	0,838	8,58	51,30	5,01	12,13	0,486
0,60	560	3150	1618	0,391	5,63	0,676	6,92	38,94	3,80	9,11	0,486
0,40	560	2826	1452	0,587	5,05	0,514	5,26	26,55	2,59	6,06	0,486
0,20	560	2212	1137	1,174	3,95	0,352	3,60	14,23	1,39	3,03	0,486
$Q_o^{II} = 19940 \text{ ккал/моль } (\alpha = 1,0)$											
1,00	560	3820	1962	0,235	6,82	1,000	10,24	69,85	6,82	16,96	0,486
0,80	560	3670	1885	0,295	6,55	0,838	8,58	56,20	5,49	13,57	0,486
0,60	560	3455	1775	0,391	6,17	0,676	6,92	42,70	4,17	10,17	0,486
0,40	560	3096	1590	0,587	5,58	0,514	5,26	29,10	2,84	6,78	0,486
0,20	560	2411	1238	1,174	4,31	0,352	3,52	15,52	1,52	3,39	0,486
$Q_o^{III} = 16650 \text{ ккал/моль } (\alpha = 1,2)$											
1,00	560	3285	1688	0,235	5,87	1,000	10,24	60,00	5,87	14,16	0,486
0,80	560	3160	1623	0,294	5,64	0,838	8,58	48,40	4,73	11,32	0,486
0,60	560	2978	1528	0,391	5,32	0,676	6,92	36,80	3,59	8,49	0,486
0,40	560	2681	1377	0,587	4,79	0,514	5,26	25,20	2,46	5,66	0,486
0,20	560	2108	1083	1,174	3,72	0,352	3,52	13,37	1,31	2,83	0,486

конца подвода тепла, теплоемкость рабочего тела и показатель κ_2 (табл. 3), что влияет на величину η'_t . С увеличением теплотворности свежего заряда ($Q_0^{II} > Q_0^I$) термический к. п. д. снижается и кривая η'_t (фиг. 2) протекает ниже, чем при Q_0^I .

Сравнение циклов с постоянной и переменной теплоемкостями рабочего тела показало следующее (фиг. 4).

С уменьшением p_b , вследствие снижения температур, теплоемкость рабочего тела понижается, показатель κ_2 увеличивается. Поэтому термодинамические потери с уменьшением p_t при переменной теплоемкости снижаются. Термический к. п. д. η'_t , увеличиваясь как и показатель κ_2 , приближается к своей максимальной величине при постоянной теплоемкости рабочего тела. Термический к. п. д. η'_t в данном случае снижается на 12—8,5 % от значений термического к. п. д. η_t для тех же нагрузок при постоянной теплоемкости рабочего тела.

Проведенное исследование идеального цикла позволяет сделать выводы.

1. При переменной теплоемкости рабочего тела для принятой степени сжатия ($\varepsilon = 5,26$) и режима полной нагрузки ($\eta_v = 1$) термиче-

Расчетные данные идеального цикла при количественном регулировании,
 $C_v = f(T)$, $\varepsilon = 5,26$.

η_v	T_c	T_z	T_b	γ	λ	κ_1	κ_2	P_a	P_c	P_z	P_b	P_t	η_t
----------	-------	-------	-------	----------	-----------	------------	------------	-------	-------	-------	-------	-------	----------

$$Q_0^I = 17840 \text{ ккал/моль } (\alpha = 0,8)$$

1,00	554	2960	1777	0,235	5,34	1,393	1,307	1,000	10,10	54,00	6,16	13,60	0,436
0,80	554	2863	1710	0,294	5,17	1,393	1,310	0,838	8,46	43,70	4,97	10,88	0,436
0,60	554	2725	1618	0,391	4,92	1,393	1,314	0,676	6,83	33,60	3,79	8,25	0,441
0,40	554	2480	1455	0,587	4,48	1,393	1,321	0,514	5,19	23,73	2,60	5,53	0,443
0,20	554	2000	1142	1,174	3,61	1,393	1,337	0,352	3,55	12,83	1,39	2,81	0,451

$$Q_0^{II} = 19940 \text{ ккал/моль } (\alpha = 1,0)$$

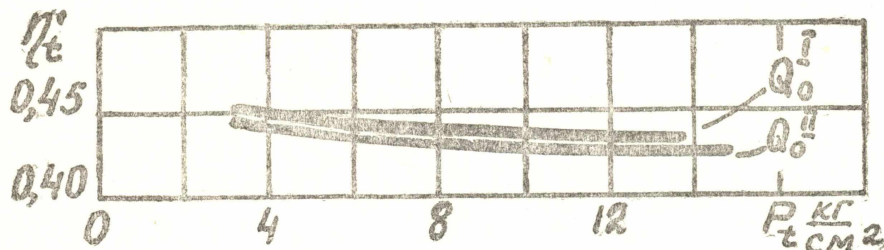
1,00	554	3191	1940	0,235	5,76	1,393	1,300	1,000	10,10	58,20	6,73	14,96	0,428
0,80	554	3095	1870	0,294	5,59	1,393	1,303	0,838	8,46	47,30	5,44	12,05	0,431
0,60	554	2930	1755	0,391	5,29	1,393	1,308	0,676	6,83	36,10	4,12	9,07	0,439
0,40	554	2670	158	0,587	4,82	1,393	1,315	0,514	5,19	25,00	2,81	6,12	0,439
0,20	554	2150	1238	1,174	3,88	1,393	1,332	0,352	3,55	13,80	1,51	3,11	0,446

$$Q_0^{III} = 16650 \text{ ккал/моль } (\alpha = 1,2)$$

1,00	554	2810	1625	0,235	5,07	1,393	1,311	1,000	10,10	51,20	5,80	12,74	0,437
0,80	554	2725	1617	0,294	4,92	1,393	1,314	0,838	8,46	41,60	4,69	10,20	0,437
0,60	554	2575	1517	0,391	4,65	1,393	1,318	0,676	6,83	31,75	3,55	7,67	0,438
0,40	554	2370	1382	0,587	4,28	1,393	1,325	0,514	5,19	22,20	2,46	5,19	0,445
0,20	554	1918	1080	1,174	3,46	1,393	1,340	0,352	3,55	12,30	1,33	2,65	0,455

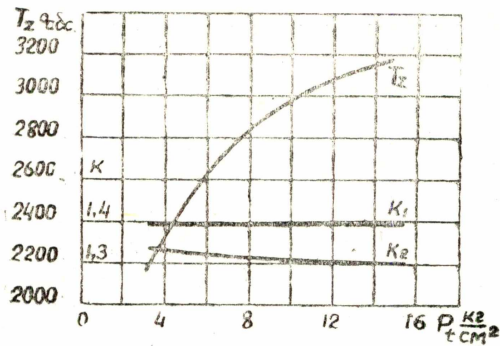
ский к. п. д. меньше соответствующих значений при $C_v = \text{пост.}$ на 12%.

2. С уменьшением среднего давления цикла при количественном регулировании, ввиду зависимости теплоемкости от температуры, термический к. п. д. повышается, приближаясь в своем пределе к термическому к. п. д. при постоянной теплоемкости рабочего тела.

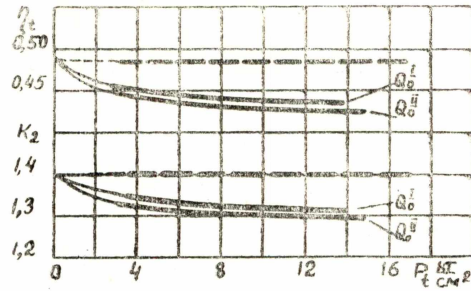


Фиг. 2. Зависимость термического к.п.д. η_t от среднего давления цикла P_t при количественном регулировании; $C_v = f(T)$,

$Q_0^I = 17840 \text{ ккал/моль}$; $Q_0^{II} = 19940 \text{ ккал/моль}$.



Фиг. 3. Зависимость температуры конца подвода тепла T_z и показателей адиабаты сжатия K_1 и расширения K_2 от среднего давления цикла p_t при количественном регулировании; $C_v = f(T)$; $Q_0^{\text{II}} = 19940$ ккал/моль.



Фиг. 4. Зависимость термического к.п.д. и показателя адиабаты расширения идеального цикла от среднего давления цикла при количественном регулировании; $Q_0^{\text{I}} = 17840$ ккал/моль; $Q_0^{\text{II}} = 19940$ ккал/моль; ----- $C_v = \text{пост.}$
 — $C_v = f(T)$.

3. Температура конца подвода тепла и степень повышения давления в идеальном цикле как с переменной, так и с постоянной теплоемкостями рабочего тела при постоянной теплотворности свежего заряда снижаются с уменьшением нагрузки, ввиду уменьшения тепла, приходящегося на единицу рабочего тела из-за относительного роста остаточной части рабочего тела, соответствующей остаточным газам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазинг Е. К. Тепловой процесс двигателей внутреннего сгорания, ОНТИ, 1937.
2. Орлин А. С., Калиш Г. Г., Либрович Б. Г. и др. Двигатели внутреннего сгорания, Машгиз, 1951.
3. Ленин И. М. Рабочие процессы и карбюрация в автомобильных двигателях. Машгиз, 1947.
4. Литвин А. М. Техническая термодинамика, Госэнергоиздат, 1947.