

Zaznaczyć należy, jak to już zresztą było wspomniane, że początki i końce poszczególnych suwów zgadzają się z punktami zwrotnymi tylko w teoretycznym obiegu silnika, w rzeczywistości zaś momenty te, zarówno jak i chwila zapłonu, odchylają się nieco od tych punktów, stanowiąc t. zw. „punkty rozrządu”, odmienne dla różnych silników, a uzależnione w pierwszym rzędzie od ilości obrotów silnika.

Ażeby dokładnie zdać sobie sprawę z temperatur, panujących w cylindrze silnika, oraz ze zjawisk cieplnych, zachodzących w czasie obiegu, jakoteż z podziału ciepła wytworzonego przez spalanie mieszanki, użyjemy graficznego przedstawienia we współrzędnych ciśnienia p — na osi rzędnych i objętości v — na osi odciętych, czyli t. zw. „wykresu indykatorowego” ($p-v$).

II. OBIEG TEORETYCZNY.

Na rys. 5 pokazany jest właśnie taki wykres indykatorowy dla teoretycznego obiegu.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

p — ciśnienie panujące w cylindrze w kg/cm^2 ,

v — objętość zajmowana przez mieszankę względnie spaliny w m^3 ,

V_s — objętość skokowa cylindra w m^3 ,

V_c — objętość dawkowa cylindra w m^3

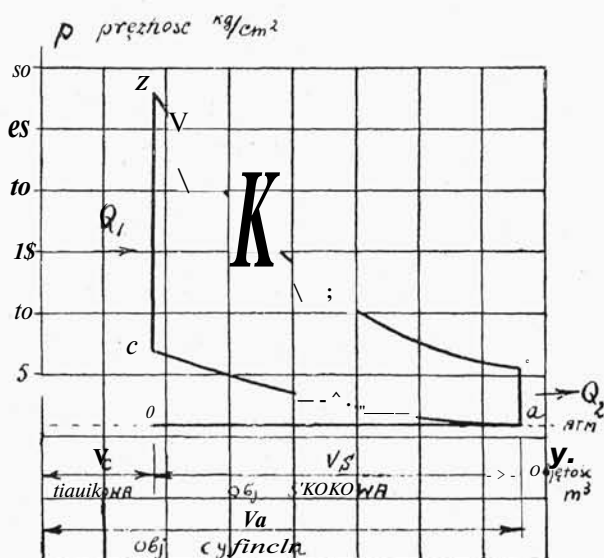
$V_a = V_c + V_s$ — całkowita objętość cylindra w m^3 (w końcu suwu zasysania i na początku sprężania).

Oczywiście, że odcinek V_s wykresu przedstawia także w pewnej skali skok tłoka.

Po linii „oa” przez zawór wlotowy odbywa się zasysanie mieszanki przy ciśnieniu atmosferycznym, linia ta zatem jest pozioma. W punk-

cie „a” zawór wlotowy zamyka się i następuje sprężanie mieszanki, przyczem zależność zmiany ciśnienia od objętości przedstawia krzywa sprężania „ac”

W punkcie „c” sprężanie jest ukończone i mieszanka zostaje zapalona przez iskrę elektryczną, następuje t, zw. „wybuch”, a skutkiem tego gwałtowny wzrost prężności. Ponieważ przyjmujemy, że przebieg spalania się i wzrostu prężności zachodzi nader szybko i tłok nie zdą-



Rys. 5. Teoretyczny obieg stoik a lotniczego.

ży zmienić swego położenia w cylindrze, przeto cały ten proces zachodzi przy stałej objętości i graficznie wyrazi się pionowym odcinkiem „cz”

Od punktu „z” rozpoczyna się trzeci suw—rozprężanie się spalin, a prawo, według którego to zachodzi, ilustruje krzywa „ze”. W punkcie „e” otwiera się zawór wylotowy i prężność w cylindrze maleje do ciśnienia atmosferycznego,

przyczem i tutaj zakładamy, że zachodzi to przy stałej objętości. Przy powrotnym suwie tłoka od pkt, „a” do „o” następuje 4-ty i ostatni suw obiegu — wydech spalin z cylindra przy stałym ciśnieniu, czyli po poziomej linii „ao”

Rozważmy przemiany termodynamiczne, wchodzące w skład omawianego obiegu teoretycznego. Jeśli założymy, że w czasie sprężania lub rozprężania, nic z ciepła zawartego w mieszance lub spalinach, nie uchodzi nazewnątrz, a z zewnątrz również ciepło nie jest doprowadzane, czyli przebiegi te zachodzą bez wymiany ciepła z zewnętrznym otoczeniem, to taka przemiana, zwana w termodynamice „adjabatą”, wyraża się równaniem:

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k \quad (1)$$

gdzie, traktując mieszankę lub spaliny jako gaz doskonały, wykładnik $k = 1,4$,

Dzieląc powyższe równanie przez równanie Boyl'a Mariott'a i Gay-Lussaca:

$$\frac{p_1 v_1^k}{T_1} = \frac{p_1 v_1^k}{T_2} \quad (2)$$

gdzie T — oznacza temperaturę bezwzględną mieszanki lub spalin, otrzymujemy zależność temperatur od objętości

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} \quad (3)$$

W zastosowaniu do obiegu teoretycznego silnika otrzymamy:

1, Dla adjabaty sprężania (krzywa „ac”)

$$\frac{T_c}{T_a} = \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{k-1}$$



Oznaczając stosunek $\frac{V_a}{V_c}$ zwany „stopniem sprężania” mieszanki, przez ϵ , i biorąc $\epsilon = 1,4$, będziemy mieli:

$$p_c = p_0 \epsilon^{1,4} \quad (4)$$

$$T_c = T_0 \epsilon^{0,4} \quad (5)$$

Stopień sprężania $\frac{V_a}{V_c} = \epsilon$ odgrywa dużą rolę

w silnikach lotniczych, nie tylko dlatego, że wraz z nim wzrasta wydajność silnika, lecz również i z powodu dużych wysokości, na których często ma pracować silnik. Kwestia ta będzie wyjaśniona później.

2. Zapłon — wybuch (linia „cz”).

Oznaczając:

Q_i — ilość ciepła w kalorjach, otrzymana po spaleniu $G \text{ m}^3$ mieszanki,

G — ilość m^3 mieszanki, zassanej do cylindra,

C_v — ciepło właściwe w kal/m^3 mieszanki przy stałej objętości, z łatwością otrzymujemy równanie

$$Q_i = G C_v (T_i - T_c) \quad \dots \quad (6)$$

Ponieważ rozważana przemiana zachodzi przy stałej objętości ($v = \text{const}$), więc z równania 2-go, zakładając $v_1 = v_2 = \text{const}$, wyniknie

$$\frac{p_z}{p_c} = \frac{T_z}{T_c} \quad \dots \quad (7)$$

Stąd możemy już określić temperaturę i ciśnienie, panujące po wybuchu (punkt „z” wykresu — rys. 5).

3. Adjabata rozprężania (krzywa „ze”).

Podobnie jak w punkcie 1 możemy napisać

$$\frac{p_z}{p_e} = \left(\frac{V_e}{V_z} \right)^k \quad \dots \quad (8) \quad \frac{T_z}{T_e} = \left(\frac{V_e}{V_z} \right)^{k-1} \quad \dots \quad (9)$$

a ponieważ jak widać z wykresu [rys. 5)
 $V_z = V_c$ oraz $V_e = V_a$, zatem

$$\overline{V_z} = \overline{V_c} = \varepsilon \quad . \quad . \quad (10)$$

i poprzednie równości można wyrazić, zakładając $k = 1,4$,

$$p_e = \frac{-2^*}{\varepsilon^{1,4}} \quad . \quad . \quad . \quad (ii)$$

$$T_e = \frac{T_z}{\varepsilon^0} \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Przykład.

Przyjmujemy temperaturę otaczającego powietrza 15°C i jego ciśnienie 760 mm słupka rtęci, Silnik zasysa $G = 0,002$ m³ mieszanek, która po spaleniu wytwarza $Q_2 = 1,1$ kal, ciepła, $C_v = 0,21$ kal/m³. Stopień sprężania $s = 4,8$.

Otrzymamy następujące wartości dla prężności i temperatur poszczególnych punktów wykresu indykatorowego w obiegu teoretycznym;

$$p_a = 1,033 \text{ kg/cm}^2 \quad l_a = 273^\circ + 15^\circ = 288^\circ$$

$$p_c = p_a \varepsilon^k = 1,033 \cdot 4,8^{1,4} = 9,27 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{k-1} = 288 \cdot 4,8^{0,4} = 538^\circ$$

$$T_z = \frac{Q_2}{G \cdot C^*} \cdot r = \frac{1,1}{0,002 \cdot 0,21} + 538 = 3157^\circ$$

$$p_z = p_c \frac{T_z}{T_c} = 9,27 \cdot \frac{3157}{538} = 54,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$l_z = \frac{r}{\varepsilon^{1,4}} = \frac{54}{4^{1,4}} = 7,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$7 \frac{Zk}{5 \cdot 0,4 \cdot 4,90,4} = 1690^\circ$$

Z tego czysto teoretycznego przykładu widzimy, jak wielkie temperatury, a w związku z tem i ciśnienia, powstają w cylindrze silnika, W takich warunkach nie mógłby silnik pracować, bo smary straciłyby swe własności, nawet jeśli przypuścić istnienie dostatecznie wytrzymałych na tak wielkie temperatury i ciśnienia odpowiednich materiałów konstrukcyjnych. Zmuszeni więc jesteśmy zapomocą wody chłodzącej odebrać część ciepła wytworzonego z mieszanki, by, rezygnując z zamiany tej części ciepła na pracę, przedłużyć życie silnika i zapewnić sobie niezawodność jego biegu, tak ważną w locie.

Po uwzględnieniu chłodzenia oraz innych czynników, wpływających na pracę silnika, otrzymamy odmienny od teoretycznego obieg rzeczywisty.

III- OBIEG RZECZYWISTY,

Różni się on znacznie od obiegu teoretycznego i jest przedstawiony na rys. 6,

Podczas suwu wydechowego ciśnienie spalin pozostaje zawsze nieco wyższe od ciśnienia zewnętrznej atmosfery, a to wskutek oporów, jakie napotykają wydyszyny przy przechodzeniu przez zawór wylotowy i odprowadzającą rurę.

Nadwyżka ta jest oczywiście tem większa, im większa jest liczba obrotów, mniejsze wolne przekroje zaworów wylotowych, dłuższe i utrudnione odprowadzenie wydyszyn, tak, iż prężność wewnątrz cylindra w końcu wydechu jest od 5 do 15% większa od ciśnienia atmosferycznego,

W czasie suwu zasysania prężność stopniowo maleje, dochodzi do ciśnienia atmosferycznego, obniża się jeszcze dalej, i, gdy w cylindrze

