

Tadeusz Dziulak

Instytut Transportu i Komunikacji

KRYTERIA OCENY WSKAZNIKÓW PRACY I PERSPEKTYWY ROZWOJU DWUSUWOWYCH SZYBKOBIEŻNYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH Z ZAPŁONEM ISKROWYM

Streszczenie: W pracy omówiono oceny i perspektywy dalszego rozwoju dwusuwowych szybkobieżnych silników spalinowych ZI, na tle węzłowego zagadnienia toksyczności spalin. Przeanalizowano zagadnienie wpływu zmniejszonego stopnia sprężania na wskaźniki porównawcze silników ostero i dwusuwowych i ich oceny konstrukcyjne. Podano również zasady wtryskowego układu zasilania oraz przedstawiono proponowany przez autora zmodyfikowany bezstykowy elektroniczny układ regulacji.

Silnik spalinowy, datujący pierwsze sukcesy w okresie największego rozwoju tłokowej maszyny parowej, przeszedł w ciągu blisko 100 lat swojego istnienia wiele przeobrażeń natury cieplnej i konstrukcyjnej.

Głównym dążeniem konstruktorów było i jest stałe podwyższanie jego wskaźników eksploatacyjnych, z równoczesnym zapewnieniem długiego czasu pracy i pewności działania. Jako silnik trakcyjny jest on jedyną ciepłą maszyną bezpośrednio eksploatowaną przez miliony użytkowników.

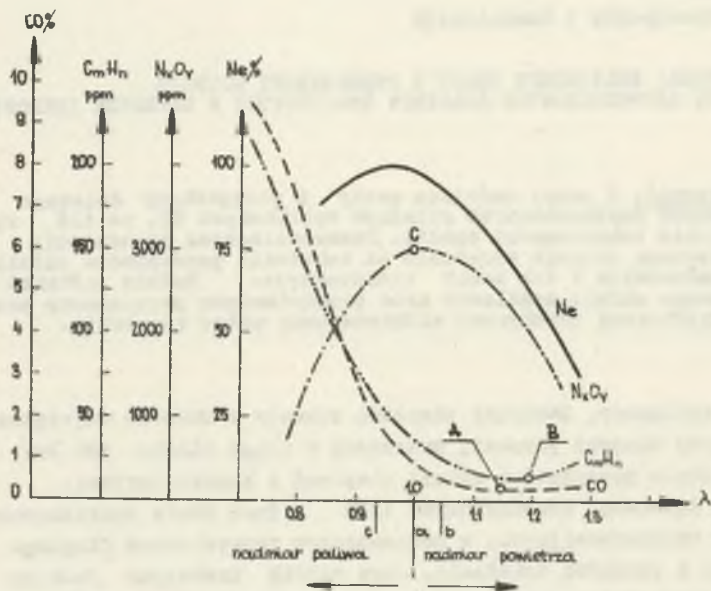
Silnik spalinowy i związany z nim pojazd samochodowy stał się nieodzownym atrybutem nowoczesnego człowieka i równocześnie poważnym jego zagrożeniem.

Silnik z zapłonem iskrowym ZI stał się źródłem napędu około 85% ogólnej liczby eksploatowanych na świecie samochodów i równocześnie źródłem powodującym systematyczne i stale wzrastające zatrucie atmosfery spalinami. I właśnie spaliny, a ściślej ujmując zagadnienie skład spalin emitowanych do otoczenia, będzie rzutować na charakter już wprowadzanych zmian konstrukcyjnych.

Jak wiadomo, w wyniku utleniania węglowodorów w spalinach występuje zawsze tlenek węgla CO oraz różnorodne węglowodory i związki organiczne zawierające tlen i azot, przy czym węglowodory zawarte w spalinach mogą mieć inną budowę strukturalną niż węglowodory wchodzące w skład paliwa.

Mimo dostatecznej ilości tlenu, a nawet jego nadmiaru w okresie spalania dawki, występują w spalinach palne składniki. Utlenianie węglowodorów jest procesem złożonym, zaś przejście od substancji wyjściowych substratów do produktów reakcji spalin odbywa się poprzez łańcuch złożonych reakcji pośrednich, które przed zakończeniem procesu zupełnego spalania zostają przerwane w wyniku dysocjacji termicznej spalin.

Zasadnicze składniki powietrza: tlen i azot w wysokiej temperaturze i przy katalitycznym działaniu ścianek komory spalania wchodzi w niewielkich ilościach w reakcję, w wyniku której powstają tlenki azotu N_xO_y w obrębie cylindra silnika, a następnie poza silnikiem w rurze wydechowej dwutlenki azotu.



Rys. 1. Zależność emisji toksyn i mocy silnika od współczynnika nadmiaru powietrza

Jak wynika z rys. 1, zakres (a - b) minimalnej zawartości CO dla $\lambda = 1,4 - 1,25$ (punkt A) obejmuje zwykle również minimum zawartości węglowodorów C_mH_n (punkt B). W zakresie tym występuje jednak wyraźny spadek mocy silnika spowodowany zmniejszaniem się średniego ciśnienia użytecznego P_e .

Wzbogacanie mieszanki powoduje zbliżenie się do niebezpiecznego zakresu (a - c) odpowiadającego maksymalnej emisji N_xO_y (punkt C). Udział wymienionych składników w spalinach jest różny i zależy od rodzaju silnika, jego stanu technicznego i warunków pracy.

Do najbardziej toksycznych składników spalin należą tlenki azotu oraz organiczne związki ołowiu, chlorki i bromki ołowiu pochodzące od dodawanych do benzyn płynów przeciwstukowych, w pierwszym rzędzie octoetylku ołowiu $Pb(C_2H_5)_4$ w celu podniesienia ich liczb oktanowych.

Nowoczesne silniki ZI pracują w zakresie większych obciążeń, a więc charakterystyki ich są bliskie charakterystykom zewnętrznym, przy dość

znaczny nadmiarze powietrza, co sprzyja wydzielaniu się większych ilości CO i wysoce toksycznych tlenków azotu.

Utrzymująca się od dłuższego czasu tendencja powiększania objętościowych wskaźników mocy drogą zwiększania stopnia sprężania powoduje, że proces spalania przebiega w wyższych temperaturach sprzyjających dysocjacji spalin.

Należy wyraźnie podkreślić, że emisja tlenków azotu nie zależy od jakości procesu spalania, lecz głównie od temperatury spalania. Przy obecnych stosowanych wysokich stopniach sprężania emisja N_xO_y przekracza prawie 10-krotnie dopuszczalne ilości przewidziane projektem normy amerykańskiej na lata 1974-75.

Ponieważ obecnie stosowane metody pomiaru zawartości w spalinach tlenków azotu oraz węglowodorów obciążone są znacznym błędem, można z dużym przybliżeniem, przyjmując że zawartość CO w spalinach jest parametrem toksyczności spalin.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzić można, że dla każdego silnika o określonym stopniu sprężania dla poszczególnych stałych prędkości obrotowych istnieje minimum emisji tlenku węgla, zależne od wielkości obciążenia.

Minimum zanieczyszczenia spalin CO wynika z najkorzystniejszego dla poszczególnych prędkości obrotowych przebiegu procesu spalania ładunku i jego składu - składu mieszanki. Przyjmując dla poszczególnych prędkości obrotowych dopuszczalny procent emitowanego tlenku węgla zawierający się w granicach $CO_{dop} - CO_{min}$ otrzymuje się w wyniku przebiegu odciętej a - a z krzywą $CO\% = f(N_e)$, punkty A_1, A_2 (rys. 2). Punkty te wyznaczają zarazem zakres mocy zredukowanej silnika przy danej prędkości obrotowej $N_{E2} - N_{E1}$, w którym toksyczność spalin wyrażona koncentracją tlenku węgla jest najmniejsza.

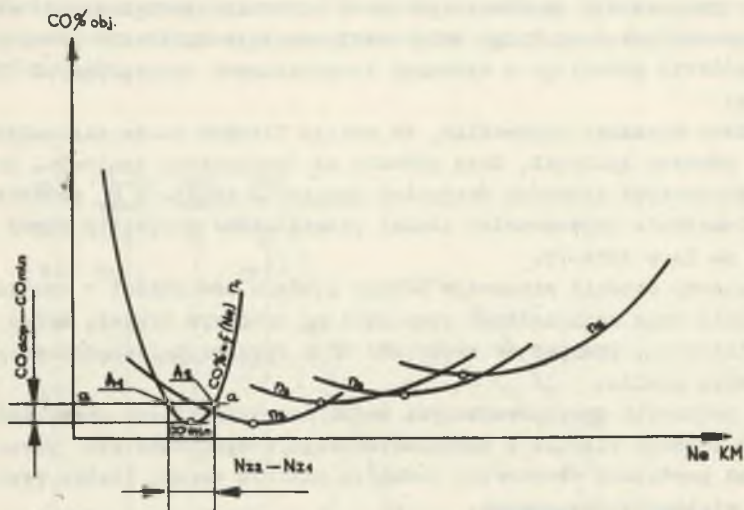
Należy przy tym zwrócić uwagę, że górna krzywa $N'_e = f(n)$ ograniczająca pole mocy o najmniejszej dopuszczalnej emisji CO znajduje się zawsze poniżej zewnętrznej charakterystyki silnika, wyznaczając tym samym pole mocy niewykorzystanej.

Z uwagi na mniejszą emisję CO przez silniki 2-suwowe, co zostanie omówione w dalszej części artykułu, pole mocy niewykorzystanej będzie mniejsze.

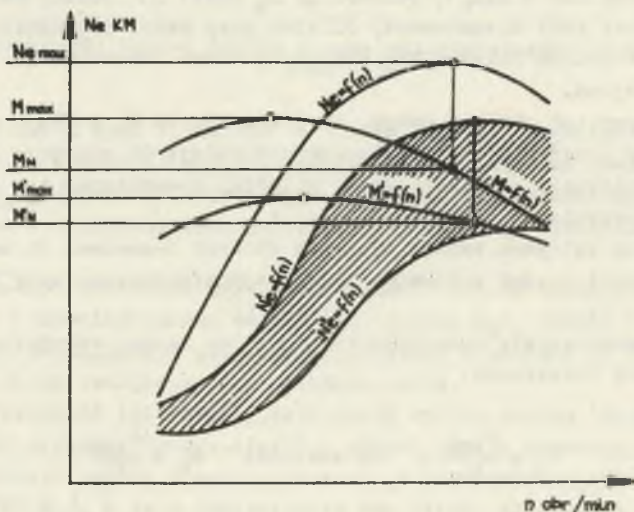
Podane ograniczenia spowodują niekorzystną zmianę wskaźnika elastyczności momentu obrotowego:

$$e_n = \frac{M_{max}}{M_n}, \quad \text{do wartości} \quad e'_n = \frac{M'_{max}}{M_n}$$

(rys. 3) i tym samym obniżą zdolność przystosowywania się silnika trakcyjnego do zmian obciążenia.



Rys. 2. Zawartość tlenu węgla CO w spalinach w funkcji mocy silnika, przy stałych kolejnych prędkościach obrotowych n , dla danego stopnia sprężania



Rys. 3. Pole mocy zredukowanej dla najmniejszej toksyczności spalin wyrażonej koncentracją tlenu węgla CO oraz przebieg granicznych wartości momentu obrotowego

$$M = f(n), \quad M = f(n), \quad N_0 = f(n)$$

W związku z szybkim rozwojem motoryzacji i stale wzrastającą liczbą eksploatowanych pojazdów samochodowych, kraje wysoce uprzemysłowione opracowały i częściowo wprowadziły w życie przepisy ograniczające zawartości składników toksycznych w spalinach tzw. normę kalifornijską w USA i przepisy europejskie. Przepisy te, a zwłaszcza norma kalifornijska, ulegają systematycznemu zaostrzaniu. Wprowadzone i już egzekwowane normy nie mają tylko charakteru zarządzeń administracyjnych, lecz w sposób wyraźny rzutują na dalszą przyszłość tłokowego silnika spalinowego.

Najprostszym sposobem zmniejszenia stopnia zanieczyszczenia środowiska toksycznymi składnikami zawartymi w spalinach jest zrezygnowanie z stosowaniem benzyn etylizowanych względnie zmniejszenie ilości dodatków przeciwostukowych w postaci związków ołowiu.

Zakładając, że technologia produkcji benzyn w najbliższym dziesięcioleciu nie ulegnie zmianie, jedynym i najtańszym sposobem zmniejszenia toksyczności spalin może być tylko stosowanie benzyn nieetylizowanych względnie o małych zawartościach $Pb(C_2H_5)_4$, a więc o mniejszych liczbach oktanowych L.O. Musi to doprowadzić w konsekwencji do znacznego obniżenia stopnia sprężania. Obniżenie stopnia sprężania ξ spowoduje między innymi spadek: sprawności ogólnej, współczynnika napełnienia η_v , średniego ciśnienia użytecznego p_m , oraz mocy N_g .

W związku z tym nasuwa się pytanie, w jakim kierunku pójdzie dalszy rozwój silników spalinowych o konwencjonalnym ruchu tłoka. Zagadnienie to rozpatrzyć należy w aspekcie silników czterech i dwusuwowych.

Ponieważ konstrukcja nowoczesnych silników samochodowych wiąże się ściśle z konstrukcją pojazdów, rzutując nie tylko na ich osiągi, lecz i ocenę do porównania posłużono się następującymi wskaźnikami:

objęnościowym wskaźnikiem mocy
$$N_1 = \frac{N_g}{V_g} \left(\frac{kW}{dm^3} \right)$$

jednostkową masą silnika
$$S_m = \frac{G_g}{N_g} \left(\frac{kg}{kW} \right)$$

jednostkowym wskaźnikiem mocy
(czyli mocą właściwą)
$$N_g = \frac{N_g}{G_g} \left(\frac{kW}{kg} \right)$$

Wskaźniki te charakteryzują stopień wykorzystania: objętości skokowej silnika, materiałów konstrukcyjnych użytych do jego budowy i wymiarów gabarytowych decydujących o możliwościach zamontowania silnika w podwoziu samochodu. Rzutują one również bezpośrednio na cieplne i dynamiczne obciążenie silnika i pośrednio na jego ocenę i okres eksploatacji.

Wynikające z obniżenia stopnia sprężania zmniejszenie mocy wpłynie niekorzystnie na wielkość wymienionych wskaźników w obu rodzajach silników w sposób niejednakowy.

Utrzymanie objętościowego wskaźnika mocy na poprzednim poziomie jest możliwe tylko przez powiększenie średniego ciśnienia użytecznego p_e lub prędkości obrotowej n . W pierwszym przypadku oznacza to konieczność zastosowania nowych konstrukcji gaźników, względnie wtrysku benzyny.

Podwyższenie prędkości obrotowych osiągnąć można przez zmniejszenie średnicy cylindrów i skoku tłoka, jak również mas układu korbowego, co w konsekwencji doprowadzić musi do wzrostu obciążenia cieplnego i dynamicznego. Wpływie to również niekorzystnie na żywotność silnika.

Biorąc pod uwagę, że przy zachowaniu tej samej objętości skokowej wskaźnik objętościowy mocy silników 2-suwowych będzie zawsze większy w stosunku do silników 4-suwowych, wyniki z podanych ograniczeń spadki mocy i sprawności ogólnej, w sposób bardziej niekorzystny wystąpią w silnikach 4-suwowych.

Utrzymanie na dotychczasowym poziomie wskaźników g_g i N_g wymagać będzie również stosowania elementów o zmniejszonej masie a więc bardziej materiałowo wytężonych, co stworzy dodatkowe trudności w dążeniu do podwyższenia oszczędności mocy silników 4-suwowych.

W związku z wprowadzeniem normy kalifornijskiej w USA, wskaźniki objętościowe silników spalinowych od roku 1971 spadły o około 15 - 18%, zaś sprawności ogólne przeciętnie o około 8%, a więc do wartości sprzed 15 lat.

W tym świetle należy bardziej szczegółowo rozpatrzyć przyszłościowe kierunki rozwoju 2-suwowych silników ZI, na bazie już osiągniętych pozytywnych wyników.

Dotychczasowe kryteria oceny silników 2-suwowych ZI sprowadzały się wyłącznie do wskaźników określających sprawność wymiany ładunku i związane go z tym zużycia benzyny i oleju smarującego. W toczących się na ten temat dyskusjach z reguły nie bierze się pod uwagę zagadnienia toksyczności spalin.

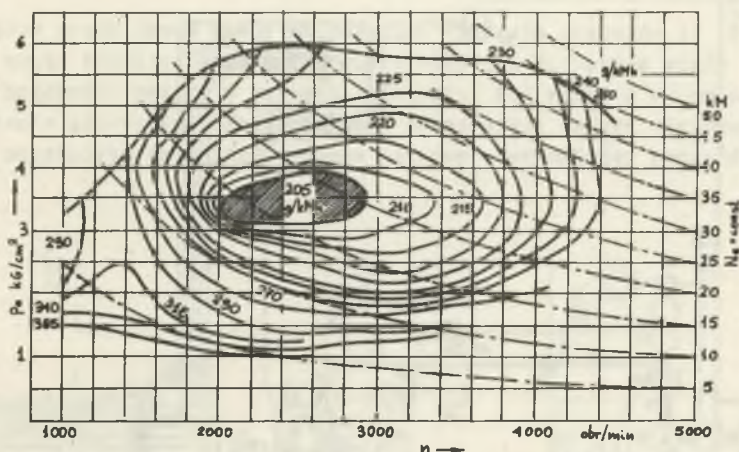
W celu przeanalizowania zasadniczych cech eksploatacyjnych silnika, najlepiej posłużyć się charakterystyką ogólną uniwersalną przedstawiającą w układzie $p_e - n$, krzywe (warstwice) stałych wartości g_g , hiperbole stałych mocy N_g oraz przebieg p_e odpowiadający charakterystyce zewnętrznej. Charakterystyka ta dotychczas jedyna, w sposób wyczerpujący ilustruje stan pracy silnika w pełnym zakresie obciążeń przy różnych położeniach przepustnicy gaźnika.

Przeprowadzone pomiary wykazały, że w silnikach 2-suwowych o zasilaniu gaźnikowym istnieją przeważnie dwa minima zużycia paliwa odpowiadające oszczędności i oszczędności otwarciu przepustnicy.

W silnikach 4-suwowych minimum wartości g_g występuje prawie wyłącznie przy obciążeniu bliskim maksymalnemu, a więc dla zakresu prędkości obrotowych odpowiadających wartości M_{max} .

Przy zastosowaniu wtrysku benzyny obszar zamknięty warstwicą $g_{g_{min}}$ zostaje przesunięty wyraźnie w kierunku oszczędności obciążeń, przy czym po-

łożenie tego obszaru i kształt warstwy zależy głównie od położenia i doboru wtryskiwacza oraz położenia świecy zapłonowej.



Rys. 4. Charakterystyka uniwersalna 2-suwowego silnika AWE 311 z wtryskiem benzyny

Tak korzystnej charakterystyki nie można osiągnąć w silniku 4-suwowym bez zastosowania programowanego wtrysku benzyny.

Rysunek 5 przedstawia schemat układu wtryskowego w zastosowaniu do silników 2-suwowych, z wykorzystaniem tylko pompy paliwowej. W układzie tym różnicę można odczytać z następujących obwodów:

- a obwód paliwowy ze sterowanym zaworem odcinającym
- b obwód elektryczny sterujący dawką paliwa
- c obwód korekcyjny
- d obwód ustalający koniec wtrysku paliwa.

W skład obwodu paliwowego wchodzi następujące główne elementy: zbiornik paliwa 1, zębata pompa paliwowa 3, zawór zwrotny 9, filtr paliwa 10, zasobnik ciśnienia 11, zawór odcinający 14, zawór wtryskowy 18, zbiornik wyrównawczy 19, przewód paliwowy 13, przewód ciśnieniowy 17, przewód powrotny 20.

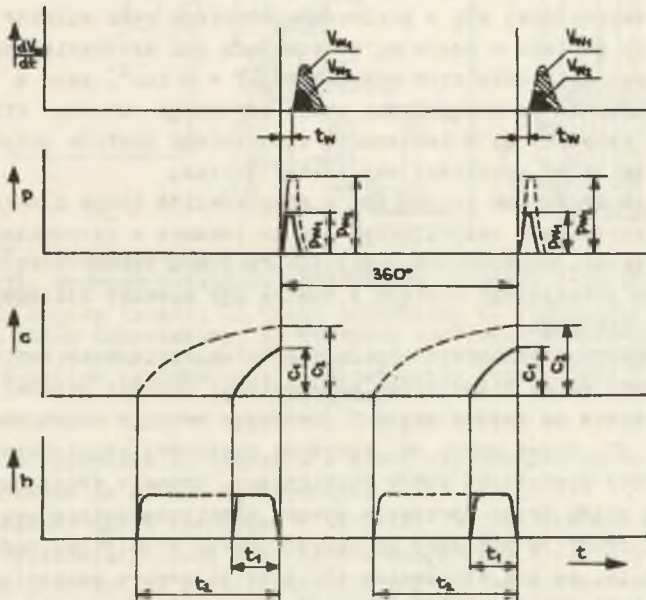
Obwód elektryczny składa się z nieruchomej tarczy sterującej 25, na której znajduje się szereg sektorów stykowych $A_1, A_2 \dots 26$, przesuwanego kontaktu ślizgowego 27 znajdującego się w wykroju tarczy obracającej się razem z wałem korbowym silnika, jarzma ruchomego 28 związanego mechanicznie z klapą dławiącą 23, kontaktów $B_1, B_2 \dots 29$ znajdujących się na jarzmie, nieruchomych kontaktów $C_1, C_2 \dots 30$ znajdujących się w wykroju łukowym jarzma.

Wpływ ciśnienia i temperatury na objętość wtryskiwanej dawki paliwa, uwzględnia obwód korekcyjny sterowany regulatorem ciśnieniowym 31 za po-

określonego stałego ciśnienia przed przewodem 13. Obwód zabezpieczający uzupełnia lampka kontrolna 8.

Obwód paliwowy sterowany jest elektromagnetycznym zaworem odcinającym 14.

Przepływ prądu przez zawór 14 powoduje otwarcie przewodu 17 i równoczesne nagłe zamknięcie przewodu powrotnego 20. Następuje wtedy zamiana energii prędkości paliwa w energię ciśnienia. Pod wpływem wytworzonej fali ciśnienia przewodem ciśnieniowym 17 przez dyszę zaworu wtryskowego 18 zostaje wtrysnięta do cylindra dawka benzyny o określonej objętości.



Rys. 6. Przebieg skoku h elektromagnetycznego zaworu odcinającego, prędkości paliwa c , ciśnienia p i objętości wtryskiwanej dawki V , w funkcji otwarcia zaworu t

Na rys. 6 przedstawiono przebieg skoku zaworu odcinającego h , prędkości paliwa c , ciśnienia p oraz objętości wtryskiwanej dawki paliwa V , w zależności od czasu otwarcia zaworu t . Małemu otwarciu klapy dławiącej 23 w rurze ssącej 24 odpowiada czas otwarcia zaworu odcinającego t_1 , końcowa prędkość paliwa c_1 , ciśnienie w przewodzie ciśnieniowym p_1 i objętość wtryskiwanej dawki V_{w1} .

Przy większym otwarciu klapy dławiącej, czas otwarcia zaworu t_2 będzie odpowiednio dłuższy, zaś prędkość, ciśnienie i objętość wzrosną do wartości c_2 , p_2 , V_{w2} . Wtrysknięcie paliwa do cylindra silnika nastąpi dopiero po pokonaniu oporu sprężyny zaworu wtryskowego, a więc przy ciśnieniu p_{w1}

względnie P_{w2} , co wyraża się na wykresie przesunięciem osasowym krzywej $V_w = f(t)$, o wielkość t_w .

Najważniejszą częścią w obwodzie elektrycznym jest zespół sterująco-programowy, reagujący na każdorazową zmianę położenia klapy dławiącej w przewodzie ssącym. Wymienny program stanowi zespół sektorów stykowych $A_1, A_2 \dots$ znajdujący się na tarozы sterującej 25. W zależności od kształtu i liczby izolowanych od siebie sektorów, można zmieniać początek wtrysku paliwa oraz czas jego trwania.

Elementem współpracującym z tarozą sterującą jest kontakt ślizgowy 27 spełniający również funkcję regulatora odśrodkowego. W promieniowym wycięciu tarozы obracającej się z prędkością obrotową wału silnika umieszczony jest właściwy kontakt o masie m , pozostający pod działaniem sprężyny S .

Pod wpływem działania siły odśrodkowej $P = m r \omega^2$, masa m przemieści się promieniowo aż do osiągnięcia stanu równowagi między siłą P i siłą rozciąganej sprężyny S . W ten sposób uzależnione zostało położenie kontaktu ślizgowego 27 od prędkości obrotowej silnika.

Przy danym położeniu jarzma 28, a więc również klapy dławiącej 23, nastąpi styk kontaktu B znajdującego się na jarzmie z nieruchomym kontaktem C. Ponieważ kontakt B połączony jest z danym sektorem A, zamknięcie obwodu prądu sterującego nastąpi z ohwilą gdy kontakt ślizgowy 27 dotknie obrysu tego sektora.

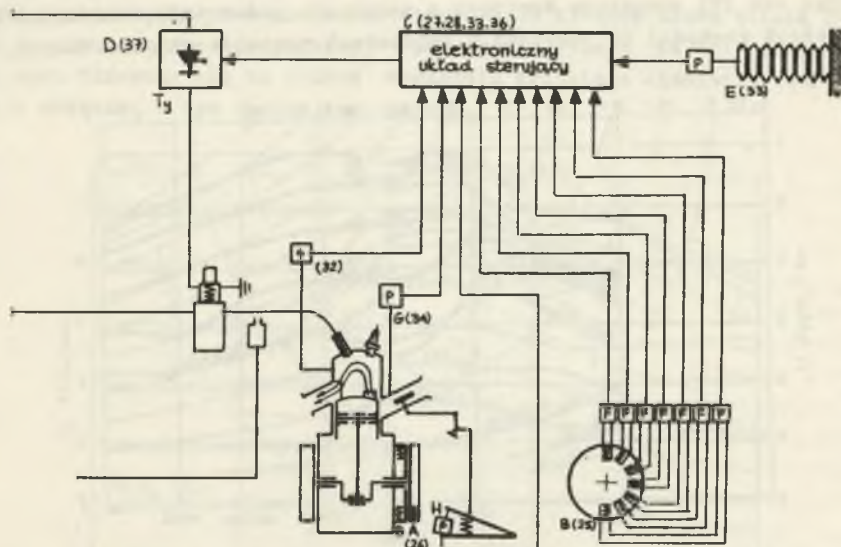
W zależności od położenia kontaktu 27 i kształtu krawędzi sektora, zamknięcie obwodu prądu sterującego poprzez masę nastąpi prędzej lub później.

Prąd popłynie ze źródła prądu 7 powodując zwarcie włącznika elektromagnetycznego 37, przez zworę 36, sprężynę dociskową regulatora ciśnieniowego 1 opisany poprzednio obwód elektryczny. Zwarcie włącznika 37 powoduje przepływ prądu przez uzwojenie zaworu elektromagnetycznego 14.

Otwarcie zwory 36 wywołane za pośrednictwem regulatora podciśnieniowego 34 powoduje, że pod działaniem sprężyny 16 zaworu odcinającego 14 zostaje zamknięty przewód ciśnieniowy 17 oraz otwarty przewód powrotny 20, którym paliwo przedostaje się do zbiornika 1.

Zmiana początku wtrysku i objętości dawki paliwa może nastąpić również w wyniku zadziałania regulatora ciśnieniowego 31. W zależności od długości mieszka tego regulatora, zmienia się liczba zwartych przez przesuwany styk kontaktów $D_1, D_2 \dots$. Wpływa to na zmianę sektora, poprzez który zostanie zamknięty obwód prądu do masy.

Rysunek 7 przedstawia proponowany przez autora zmodyfikowany bezstykowy elektroniczny układ regulacji. W układzie tym zastąpiono sektory stykowe i kontakt ślizgowy, magnesem trwałym, A (26 27) znajdującym się na tarozы obracającej się wraz z wałem korbowym silnika i nieruchomą tarozą z oewkami odbiorczymi B (25). Tarozа nieruchoma z oewkami umieszczona jest w bliskiej odległości od wirującego magnesu. Przy przejściu magnesu pod daną oewką odbiorczą, w wyniku zmiany strumienia magnetycznego, zostaje wyindukowana siła elektromotoryczna, której wartość i szybkość narastania zależy od prędkości obrotowej silnika.



Rys. 7. Schemat zmodyfikowanego bezstykowego elektronicznego układu regulacji, systemu zasilania wtryskowego silników 2-suwowych ZI

A. wirujący magnes trwały; B. cewki odbiorcze; C. elektroniczny układ sterujący; D. układ tyrystorowy; E. korektor ciśnienia atmosferycznego; F. układ normujący former; G. przetwornik podciśnienia; H. przetwornik indukcyjny; t. korektor temperatury; p. przetwornik indukcyjny; T_y. układ tyrystorowy

Impulsy elektryczne otrzymywane z cewek odbiorczych przez układy normujące są podawane do obwodu sterującego.

Elektroniczny układ sterujący C (27, 28, 33, 36) steruje układem tyrystorowym, spełniającym rolę włącznika bezstykowego D (37). Do układu elektronicznego podawane są również sygnały korekcyjne z korektorów ciśnienia atmosferycznego i temperatury silnika t (32).

Koniec wtrysku benzyny ustala impuls elektryczny otrzymywany z przetwornika podciśnienia G (34).

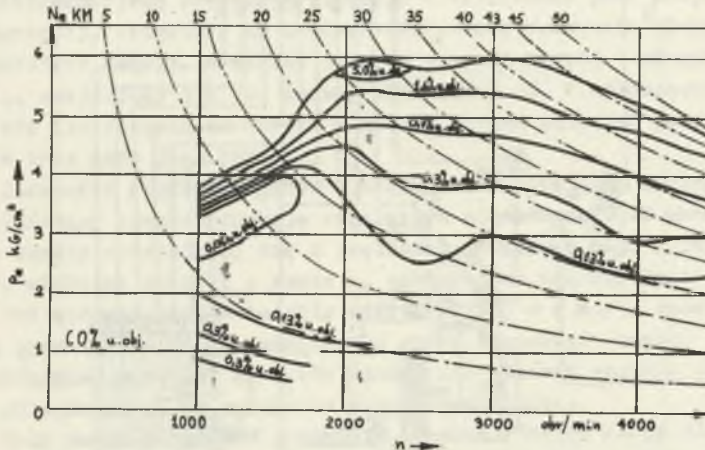
Użyte w układzie przetworniki indukcyjne E, H zamieniają przemieszczenia styku przesuwnej regulacji ciśnieniowej oraz pedału połączonego z klapą dławiącą, na sygnały elektryczne.

Uwaga: cyfry w nawiasach odnoszą się do numeracji z rys. 5 odpowiadających sobie funkcyjnie elementów.

Należy podkreślić, że nawet modyfikacja układu dolotowego 2-suwowego silnika z zasilaniem gaźnikowym wpłynie wybitnie korzystnie na kształt i usytuowanie warstwie stałych wartości g_a .

Przyjmując jako pierwsze kryterium jakości przebiegu procesu spalania zawartość tlenu węgla w spalinach, przedstawiono na rys. 8 wyniki badań przeprowadzone w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zwickau w NRD.

Na charakterystyce uniwersalnej badanego 2-suwowego, 3 cylindrowego silnika AWE 353 samochodu Wartburg o zasilaniu gaźnikowym, naniesiono krzywe stałych wartości CO podanych w procentach udziałów objętościowych.



Rys. 8. Charakterystyka uniwersalna 2-suwowego silnika AWE 353 o zasilaniu gaźnikowym, z naniesionymi liniami stałych wartości CO

Gaźnik seryjny silnika zapewniał dostarczenie do cylindrów mieszanki o składzie ekonomicznym o współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda \cong 1,1$, dla zakresu częściowych obciążeń. Dla pełnego obciążenia oraz biegu jałowego, przyjęto wartość $\lambda \cong 0,9$ za dopuszczalną.

Jak widać z charakterystyki, dla zakresu biegu jałowego oraz średnich obciążeń, występuje bardzo mała emisja tlenu węgla. Zawartość CO w spalinach osiąga w tych przypadkach wartości poniżej 1% udziału objętościowego.

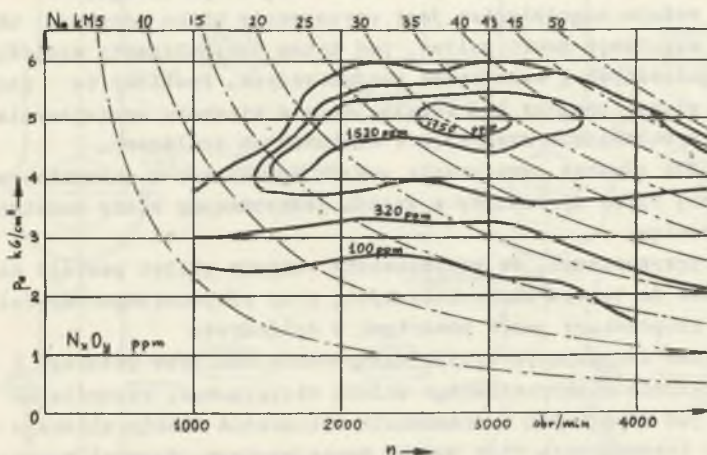
Tylko w granicach pełnego obciążenia emisja CO jest zbliżona do wielkości występujących w silnikach 4-suwowych.

Obowiązujące w NRD ograniczenia zawartości CO w spalinach do wartości 4,5% udziałów objętościowych są z łatwością spełnione przez 2-suwowy silnik AWE 353, podczas gdy w silnikach 4-suwowych napotyka się już na trudności w osiągnięciu zadowalających wyników.

Pod względem stopnia szkodliwości na sumaryczną emisję toksyn poważny wpływ wywiera ilość zawartych w spalinach tlenków azotu N_xO_y .

Rysunek 9 przedstawia charakterystykę uniwersalną silnika AWE 353 z naniesionymi na niej liniami stałych wartości N_xO_y podanych w częściach na jeden milion, czyli 0,0001% "ppm". Z ukształtowania krzywych N_xO_y wynika, że ze wzrostem obciążenia a więc równoczesnym wzrostem temperatury wzrasta emisja tlenków azotu. Przy maksymalnym obciążeniu obserwuje się nieznaczny spadek zawartości N_xO_y w spalinach, spowodowany wzbogaceniem mieszanki ($\lambda \cong 0,9$).

Pod względem ilości w spalinach toksycznych tlenków azotu silnik 2-suwowy przedstawia się korzystniej; praktycznie ilość ta nie przekracza 4000 ppm. Tłumaczy się to niższą wartością średniego ciśnienia użytkowego i związaną z tym niższą temperaturą.



Rys. 9. Charakterystyka uniwersalna 2-suwowego silnika AWE 353 o zasileniu gaźnikowym, z naniesionymi liniami stałych wartości N_2O_x

Jeżeli porówna się silnik 4-suwowy z silnikiem 2-suwowym pod kątem zawartości w ion spalinach sumarycznej ilości CO i N_2O_x , to okaże się, że ilość tych szkodliwych składników w spalinach silnika 4-suwowego jest przeszło dwukrotnie wyższa w stosunku do silnika 2-suwowego. Potwierdzają to liczne badania laboratoryjne. Pewną poprawę w zakresie emisji N_2O_x osiągnąć można drogą reocykulacji spalin.

Na podstawie badań laboratoryjnych stwierdzić można, że w wyniku stosowania nieprogramowanego wtrysku benzyny, koszty paliwa a więc eksploatacji silnika zmniejszą się średnio o około 20%. Wchodząca w skład mieszanki niezbędna ilość oleju smarującego przy zasileniu gaźnikowym (2,5 – 3% paliwa) zmniejszy się przy wtrysku benzyny o około 40%, co w sposób wyraźny rzutuje na jego zużycie i zanieczyszczenie spalin węglowodrami.

W oparciu o przytoczone skrótowe fakty można ogólnie ustalić główne wytyczne dalszego rozwoju szybkoobrotowych silników 2-suwowych ZI. Dotychczas przeprowadzone badania laboratoryjne, których wyniki zostały potwierdzone w praktyce wskazują, że dalszy rozwój tych silników nie powinien polegać wyłącznie na udoskonalaniu już istniejących konstrukcji. Należy uznać obecny etap w zakresie konstrukcji silników 2-suwowych ZI za zakończony.

Biorąc pod uwagę korzyści wynikające z zastosowania wtrysku benzyny, można przypuszczać, że w niedługim czasie nastąpi zmierzch systemów zasilenia gaźnikowego, jako następny etap w rozwoju 2-suwowych szybkoobrotowych silników spalinowych.

Nowoczesny silnik 2-suwowy powinien się odznaczać specjalną konstrukcją w pełni pozwalającą wykorzystać wszystkie zalety wtryskowego zasilania paliwem. Odnosi się to w pierwszym rzędzie do opracowania właściwych kształtów komory spalania, w zależności od sposobu doprowadzania powietrza ładującego i charakterystyki układu ssąco-wylotowego.

Drugim ważnym zagadnieniem jest opracowanie kilku systemów układu zasilania i regulacji dawki paliwa, pod kątem optymalizacji wartości parametrów regulowanych i wskaźników porównawczych. Problemy te uzależnione ściśle od siebie powinny być rozwiązywane w kierunku zmniejszania ilości toksycznych składników zawartych w emitowanych spalinach.

Wydaje się słuszne opracowanie nowych wskaźników i charakterystyk porównawczych, które wyrażałyby w sposób jednoznaczny oceny znamionowe silnika 2-suwowego.

Należy przypuszczać, że zastosowanie wtrysku paliwa pozwoli na stopniowe przejście do benzyn niskoektanowych, przy równoczesnym wzroście p_c i obniżenia temperatury gazów zawartych w cylindrze.

Czynnikiem decydującym będzie opracowanie możliwie prostego i niezawodnego w działaniu elektronicznego układu sterującego, korzystając z doświadczeń już uzyskanych w dziedzinie sterowania elektronicznego silników 4-suwowych (rozwiązania firm Bosch, Mercedes-Benz, General Motor, Marvel, Bendix i inne).

Prace badawcze powinny być prowadzone w kierunku analizowania sprawności układu: silnik-pompa ładująca, z użyciem skrzyni korbowej jako zbiornika wyrównującego oraz bez jej udziału. W układach tych przedstawionych schematycznie na rysunku 10 nowoczesnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie rozrządu niesymetrycznego, w postaci suwaków obrotowych, umożliwiających ciągłą zmianę osasoprzekrojów i faz otwarć szoselin. Rozwiązaniem droższym zapewniającym rozrząd asymetryczny są układy dwutłokowe lub o tłokach przeciwbieżnych.

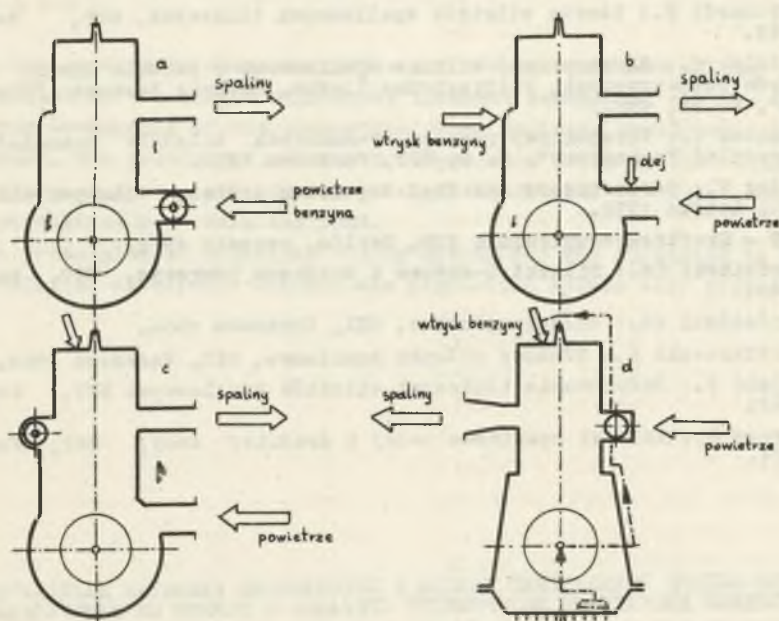
W przedstawionych układach na szczególną uwagę zasługuje fakt, że w 2-suwowym silniku z wtryskiem paliwa przepłukanie cylindra odbywać się będzie wyłącznie przy pomocy czystego powietrza bez strat paliwa, co wybitnie wpłynie na zmniejszenie emisji węglowodorów.

Regulacja dawki paliwa, w zależności od obciążenia, związana pośrednio z rodzajem rozrządu i ładowania, powinna zapewnić wzrost sprawności ogólnej silnika.

Dotychczasowe wyniki badań potwierdzają wyższość regulacji jakościowej nad ilościową. W systemie tym przy utrzymaniu niezmiennych ilości powietrza ładującego, zmianom podlega tylko dawka wtryskiwanej benzyny, sterowana układem elektronicznym.

Rozwiązanie właściwego systemu olejenie silnika nie powinno następować większych trudności konstrukcyjnych. W przypadku wykorzystania skrzyni korbowej w procesie wymiany ładunku, olej smarujący może być okresowo dawkowany do skrzyni (rys. 10b).

Przy otwartej skrzyni korbowej system olejenia nie będzie się różnił od systemu olejenia pod ciśnieniem silników 4-suwowych (rys. 10d).



Rys. 10. Schematy układów: silnik 2-suwowy - pompa ładująca. a. zasilanie gaźnikowe z wykorzystaniem skrzyni korbowej jako zbiornika wyrównującego i zastosowaniem suwaka obrotowego sterującego napływem ładunku. b. zasilanie wtryskowe z wykorzystaniem skrzyni korbowej jako zbiornika wyrównującego; zastosowanie suwaka obrotowego w przewodzie przelotowym zapewniającego zmianę czasoprzekroju. c. zasilanie wtryskowe z wykorzystaniem skrzyni korbowej jako zbiornika wyrównującego; zastosowanie suwaka obrotowego w przewodzie przelotowym zapewniającego zmianę czasoprzekroju. d. zasilanie wtryskowe, bez udziału skrzyni korbowej w procesie wymiany ładunku; zastosowanie suwaka obrotowego po stronie dolotu powietrza, zapewniającego rozrząd asymetryczny; oddzielny układ olejenia pod ciśnieniem

Wydaje się, że zastosowanie w silnikach 2-suwowych sterowanego wtrysku benzyny pozwoli na uściślenie zależności przebiegu procesu wymiany ładunku od charakterystyk układu ssąco-wylotowego. Można zaryzykować twierdzenie, że silnik 2-suwowy stanie się mniej "synchroniczny".

Już obecnie wyłania się konieczność przeprowadzenia nowych, kompleksowych badań modelowych dla opracowania wytycznych odpowiadających nowym tendencjom rozwojowym silników 2-suwowych. Dwusuwowy silnik spalinyowy z zapłonem iskrowym stoi u progu nowej kariery.

LITERATURA

1. Bernhardt M.: Silniki samochodowe, WKŁ, Warszawa 1968.
2. Bernhardt M.: Teoria silników spalinowych tłokowych. WNT, Warszawa 1963.
3. Dziulak T.: Elastyczność silnika spalinowego w świetle nowych wskaźników porównawczych, Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe "Energetyka", Z. 34, 1970.
4. Dziulak T.: Perspektywy rozwoju 2-suwowych silników samochodowych, "Przegląd Techniczny", Z. 3, NOT, Warszawa 1973.
5. Judge W.: Carburetors and fuel injection system, Champan and Hall LTD, London 1970.
6. KFT - Kraftfahrzeugtechnik VEB, Berlin, rocznik 1972.
7. Kordziński Cz.: Silniki 2-suwowe z zapłonem iskrowym, WNT, Warszawa 1963.
8. Kordziński Cz.: Układy wylotowe, WKŁ, Warszawa 1964.
9. Niewiarowski K.: Tłokowe silniki spalinowe, WKŁ, Warszawa 1968.
10. Wajand J.: Doładowanie tłokowych silników spalinowych WNT, Warszawa 1962.
11. Werner J.: Silniki spalinowe małej i średniej mocy, WNT, Warszawa 1971.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДВУХТАКТНЫХ БЫСТРОХОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Р е з ю м е

В работе даются черты и перспективы дальнейшего развития двухтактных быстроходных двигателей внутреннего сгорания ЗI, на основании главных проблем токсичности выхлопных газов. Проанализирован вопрос влияния уменьшения степени сжатия на сравнительные показатели четырёхтактных и двухтактных двигателей и на их конструкторские черты. Поданы тоже основы впрысковой системы питания, а также рассмотрена предлагаемая автором модифицированная бесконтактная электронная система регулирования.

CRITERIA OF WORK INDICATORS ESTIMATION AND THE DEVELOPMENT
PERSPECTIVES OF THE TWO-STROKE HIGH-SPEED INTERNAL COMBUSTION
ENGINES WITH SPARK IGNITION

S u m m a r y

In the paper some characteristics and the perspectives of the further development of two-stroke high-speed internal combustion engines ZI against the background of the combustion gases toxicity problems - have been discussed. The problem of a reduced compression ratio on the comparative indicators of four - and two-stroke engines, as well as their combustion characteristics have been analysed.

The principles of injection supply system and the suggested by the author modified electronic contactless regulation system were presented too.