

Tadeusz DZIULAK

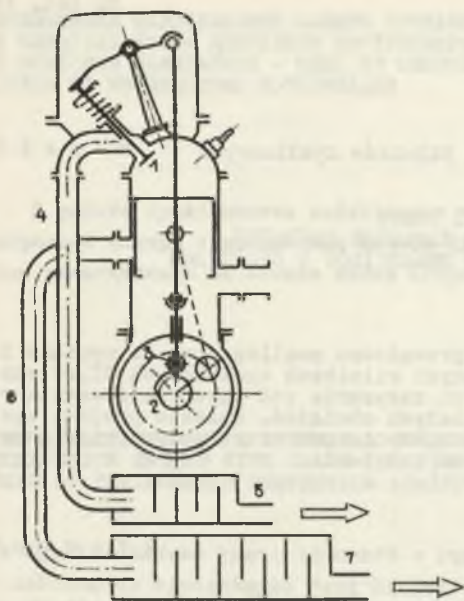
Instytut Techniki Ciepłej - Zakład Silników Spalinowych

MOŻLIWOŚĆ ZWIĘKSZENIA RÓWNOMIERNOŚCI PRACY
2-SUWOWYCH SAMOCHODOWYCH SILNIKÓW Z ZAPŁONEM ISKROWYM,
JAKO ŚRODEK DO REDUKCJI TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW W SPALINACH

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę procesu wymiany ładunku w 2-suwowych szybkoobrotowych silnikach spalinowych ZI, ze szczególnym uwzględnieniem przebiegu zasysania pod kątem zwiększenia równomierności pracy w zakresie małych obciążeń. Opiszano projekt zastosowania zaworu upustowego oraz proponowane przez autora rozwiązanie automatycznej regulacji procesu zasysania.

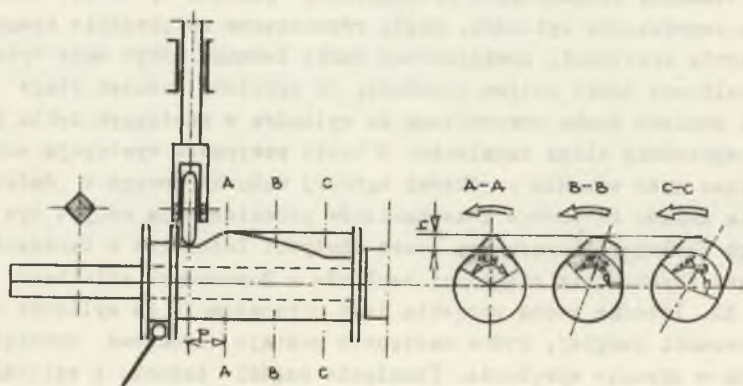
Zagadnieniem istotnym, decydującym o ekonomii pracy szybkoobrotowego silnika 2-suwowego i zakresie jego zastosowań jest zagadnienie sprawności wymiany ładunku cylindra. Z uwagi na nieustalony charakter przepływu czynnika oraz wpływ zjawisk falowych w układzie dolotowym i wylotowym, projektowanie rozrządu tych silników jest trudne. Problem wymiany czynnika powinien być rozpatrywany nie tylko pod kątem zmniejszenia do minimum zawartości w cylindrze resztek spalin, ale również powinien uwzględnić "jakość" wytwarzanych i emitowanych przez silnik spalin w pełnym zakresie użytecznych prędkości obrotowych. Silniki 2-suwowe w zastosowaniu do napędu pojazdów samochodowych muszą się odznaczać nie tylko dobrymi wskaźnikami, lecz również równomierną pracą w zakresie obrotów biegu jałowego.

Jak wiadomo, przymknięcie przepustnicy gaźnika powoduje zmniejszenie stopnia napełnienia cylindra, czyli równoczesne zwiększenie stopnia zanieczyszczenia spalinami, zmniejszonej dawki ładunku. Zbyt duże "rozcińczenie" spalinami dawki paliwa powoduje, że sprężony ładunek staje się niepalny i dopiero dawka wprowadzona do cylindra w następnym cyklu łącznie z dawką poprzednią ulega zapaleniu. W takim przypadku występują suwy jałowe, powodujące duże wahania prędkości kątowej wału korbowego i dodatkowe obciążenia układu korbowego i mechanizmów przeniesienia mocy. W tym aspekcie na uwagę zasługuje opracowany przez Instytut Lotnictwa w Warszawie projekt dotyczący zapewnienia ciągłości zapłonów w 2-suwowych silnikach spalinowych z ZI. Istotną cechą projektu jest wprowadzanie do cylindra w nadmiarze mieszanki ubogiej, która następnie zostaje częściowo usunięta przed zapłonem w okresie sprężania. Usunięcie części ładunku z cylindra odbywa się przy pomocy zaworu upustowego, działającego tylko w czasie pracy silnika w zakresie biegu jałowego względnie małych obciążeń.



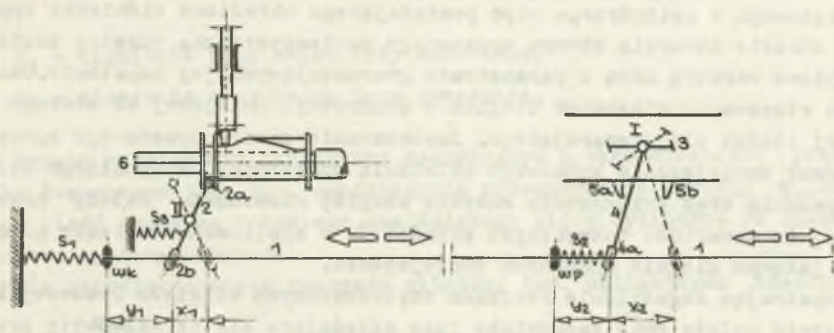
Rys. 1. Schemat silnika 2-suwowego z zapłonem iskrowym, z umieszczonym w głowicy zaworem upustowym

zmiennymi kątami działania $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ oraz profilami przejściowymi na odcinku nabiegowym p . W przedniej części krzywki znajdują się kołnierze oporowe umożliwiające jej przesuw osiowy.



Rys. 2. Krzywka sterująca zawór upustowy, przesuwna osiowo na trzpieniu wału korbowego

Schemat układu sterowania mechanizmu ilustruje rys. 3. Do uruchamiania i sterowania mechanizmu służy linka 1, na której znajdują się dwa węzły w_k i w_p przy sprężynach s_1 i s_2 . Do sterowania przesuwu osiowego krzywki służy dźwignia 2 zakończona końcówką jarzmem 2a oraz oczkiem 2b.



Rys. 3. Schemat układu sterowania zaworu upustowego

Dźwignia ta pozostaje pod działaniem sprężyny s_3 , ustalającej jej położenie przy wyłączonym działaniu krzywki. Obrotom przepustnicy gaźnika 3 steruje sztywno z nią połączona dźwignia 4 zakończona oczkiem 4a. Linka 1 przechodzi luźno przez oczko dźwigni 2b, oczko dźwigni 4a i jest uruchamiana przez obsługującego silnik. Skrajne położenia końca dźwigni 2 oznaczono odcinkiem x_1 , zaś dźwigni 4 odcinkiem x_2 . Długość sprężyny s_2 , y_2 jest znacznie większa od odcinka x_1 , zaś $x_2 = y_1$. Obrót przepustnicy gaźnika 3 dookoła osi I ograniczają nastawne elementy 5a, 5b. Ogranicznik 5b ustala położenie przepustnicy, przy którym zapłony następują jeszcze co każdy obrót wału korbowego. Dalszy przesuw linki 1 w prawo powoduje ścisnięcie sprężyny s_2 przez węzeł w_p , obrót dźwigni 2 dookoła osi II za pośrednictwem węzła w_k oraz przesuw osiowy krzywki na trzpieniu wału korbowego 6, do pozycji współpracy z rolką i popychaczem. Element ograniczający położenie przepustnicy gaźnika 5b może być sterowany automatycznie z wykorzystaniem podciśnienia za przepustnicą i prędkości obrotowej wału korbowego. Regulowany przesuw osiowy krzywki (rys. 2) umożliwi ciągłą zmianę czasu otwarcia zaworu upustowego, zależnie od wielkości kąta α w danym przekroju poprzecznym. W ten sposób można każdorazowo ustalać ilość świeżej mieszanki, która pozostanie w cylindrze i ulegnie spaleni.

Należy podkreślić, że zapalenie mieszanki zależy od stopnia jej uwarstwienia, usytuowania strefy palnej w stosunku do świecy zapłonowej oraz od stopnia zanieczyszczenia spalinami. Ilość spalin pozostałych w cylindrze po skończonym procesie wymiany ładunku w małym tylko stopniu zależy od obciążenia silnika, w przeciwieństwie do współczynnika napełnienia, który maleje ze spadkiem prędkości obrotowej silnika. W ten sposób zwiększa

się stopień zanieczyszczenia spalinami dawki paliwa. Zapalenie mieszanki nastąpi w tym takcie, w którym współczynnik resztek spalin będzie dostatecznie mały, a współczynnik nadmiaru powietrza λ mieścić się będzie w przedziale palności. Zastosowanie zaworu upustowego spowoduje usunięcie najbardziej zanieczyszczonej spalinami warstwy ładunku poprzednio częściowo sprężonego w cylindrze, a więc posiadającego określone ciśnienie końcowe. W okresie otwarcia zaworu upustowego zanieczyszczona warstwa zostanie zastąpiona warstwą nową o parametrach gwarantujących jej zapalenie. Umożliwia to stosowanie mieszanek ubogich o dwukrotnie mniejszej od obecnie stosowanej ilości oleju smarującego. Zastosowanie zaworu upustowego spowoduje jednak zmniejszenie końcowego ciśnienia sprężania, maksymalnego ciśnienia spalania oraz zwiększenie zużycia ubogiej mieszanki. Należy przypuszczać, że zawartość toksycznych składników w spalinach w okresie pracy na biegu jałowym ulegnie znacznemu zmniejszeniu.

Rozpatrując zagadnienie rozrządu szybkoobrotowych silników 2-suwowych ZI wyodrębnić należy dwie zasadnicze fazy składające się na całkowity proces wymiany ładunku cylindra: fazę ładowania skrzyni korbowej i wstępnego sprężania ładunku (faza przygotowawcza) oraz fazę wymiany ładunku i usunięcia produktów spalania. Zastosowanie wyłącznie tłoka jako elementu sterującego wymienionymi fazami w układach jednostkowych nie pozwala na uzyskanie pożądanej asymetrii rozrządu w celu polepszenia sprawności wymiany ładunku. Z tego też względu konieczne stało się zastosowanie dodatkowych urządzeń sterowniczych w postaci suwaków względnie przepustnic obrotowych, najczęściej w układach ssących, od rozwiązania których zależy sprawność całkowita silników 2-suwowych. W opracowanych dotychczas rozwiązaniach jako element sterujący wykorzystana była jedna z tarcz korbowych, co pozwalało na sterowanie napływu ładunku w kierunkach promieniowym względnie osiowym przy czym nie rozwiązany pozostał problem automatycznej regulacji jakościowej w czasie pracy silnika, tj. zmian kątów rozrządu w zależności od prędkości obrotowej. O jakości przebiegu pierwszej fazy złożonego procesu wymiany ładunku decyduje współczynnik zasysania η_z . Ponieważ ilość czynnika, względnie ciężar świeżego ładunku, który napłynął do skrzyni korbowej, zależy od zmiennej różnicy ciśnień między ciśnieniem zewnętrznym p_0 i panującym w układzie: skrzynia korbowa - rura ssąca, proces ssania (napełnienia) ma charakter drgający. Zjawiska falowe w wymienionym układzie zależą m.in. od czynnika czasu, czyli prędkości obrotowej. Wprowadzając pojęcie objętości szkodliwej lub względnej objętości szkodliwej skrzyni korbowej $\beta = \frac{V_{ss}}{V_s}$ oraz względne wysokości okna ssącego $h_s = \sigma_s \cdot S$ i dolotowego $h_d = \sigma_d \cdot S$ otrzymać można równanie w postaci:

$$\eta_z = \frac{V_{cs}}{V_s} = \frac{T_0}{p_0 \cdot T_{sr}} \cdot \frac{V_2}{V_s} \left[p_3 - p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n \right]$$

gdzie:

$V_1 = V_s(\beta + \sigma_d)$; $V_2 = V_s(\beta - \sigma_s + 1)$; V_{cs} oznacza całkowitą objętość czynnika wprowadzonego do skrzyni korbowej

zaś:

p_1 - ciśnienie przy końcu fazy ładowania,

p_3 - ciśnienie przy końcu fazy zasysania.

Drugim podstawowym parametrem decydującym o ekonomiczności pracy silnika 2-suwowego jest tzw. współczynnik przechwycenia ładunku η_p , określający ilość czynnika roboczego znajdującego się w cylindrze po zakończeniu procesu wymiany ładunku.

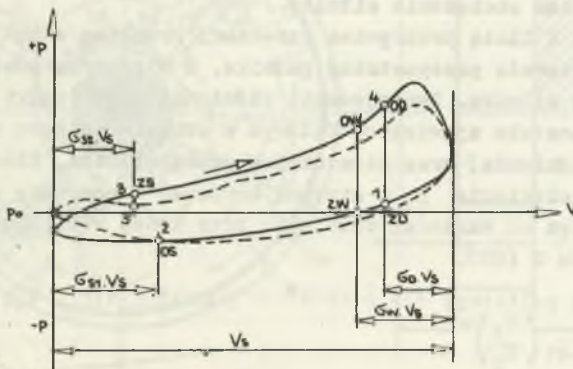
Dla zaprojektowanego rozrządu silnika, tzn. obliczonych czasoprzekroi

$$\Phi_s = \frac{1}{V_s} \int_{\alpha_{os}}^{\alpha_{zs}} f dt, \text{ względnie kątprzekroi } \Phi = \frac{1}{V_s} \int_{\alpha_{os}}^{\alpha_{zs}} r \frac{d\alpha}{6n}$$

nie można zapewnić optymalnych wartości parametrów η_z , η_p , p_e , σ_e w pełnym zakresie prędkości obrotowych silnika, z uwagi na charakter dynamiczny procesu wymiany ładunku i złożony wpływ charakterystyk układów dolotowego i wylotowego.

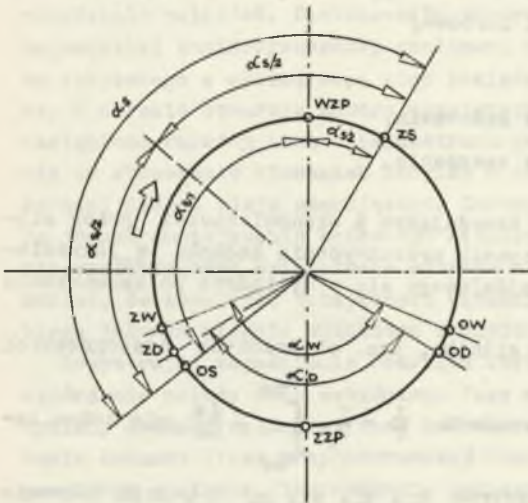
Zwiększenie efektu zasysania czynnika, a więc współczynnika η_z , a tym samym pozostałych parametrów decydujących o przebiegu charakterystyk silnika, osiągnąć można, jak już wspomniano, przez zastosowanie asymetrii rozrządu w układzie seacym.

Rysunek 4 przedstawia przebieg zmian ciśnienia w skrzyni korbowej przy asymetrycznym sterowaniu napływem świeżego czynnika, za rysunek 5 położy-



Rys. 4. Przebieg zmian ciśnienia w skrzyni korbowej przy asymetrycznym sterowaniu napływem świeżego czynnika

nie charakterystycznych punktów na kole rozrządu, określone kątami obrotu wału korbowego silnika.



Rys. 5. Koło rozrządu przy asymetrii okresu zasysania

Na rysunkach tych oznaczają:

OS, ZS - otwarcie i zamknięcie okienka ssącego

OW, ZW - otwarcie i zamknięcie okienka wylotowego,

OD, ZD - otwarcie i zamknięcie okienka dolotowego.

Jak wynika z rysunków, zamknięcie okienka ssącego po WZP, przy kącie $\alpha_{s2} < \alpha_{s1}$ zmniejsza intensywność cofania się ładunku spowodowaną powrotnym ruchem tłoka, co w sposób korzystny wpływa na wielkość ciśnienia p_3 , od którego rozpoczyna się wstępne sprężanie ładunku.

Analizując cały proces wymiany ładunku z uwzględnieniem drgań tłumionych w układzie ssącym i parametrów procesów dynamicznych układu wylotowego, stwierdzić należy wzajemną zależność ciśnień w punktach charakterystycznych określonych kątami rozrządu.

Przy danym systemie sterowania napływem ładunku, a więc stałych kątach α_{s1} , α_{s2} (rys. 5), przebieg ciśnień zależy od prędkości obrotowej będącej wykładnikiem obciążenia silnika.

Na rysunku 4 linią przerywaną oznaczono przebieg zmian ciśnienia przy częściowym otwarciu przepustnicy gaźnika, a więc przy zmniejszonej prędkości obrotowej silnika. Zmniejszenie ciśnienia p_3 (punkt 3' na wykresie) spowodowane zostało zjawiskiem falowym w okresie napływu mieszanki (narażenie fal ciśnienia) oraz niestabilną pracą silnika. Ciśnienie p_3 zależy od wielkości ciśnienia p_2 w skrzyni korbowej w momencie otwarcia okienka ssącego, a więc od wartości ciśnienia przy końcu rozprężania od punktu 1 (ZD) do punktu 2 (OS).

Z równania politropy dla parametrów punktów: 1(p_1, V_1); 2(p_2, V_2) ciśnienie $p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^m$

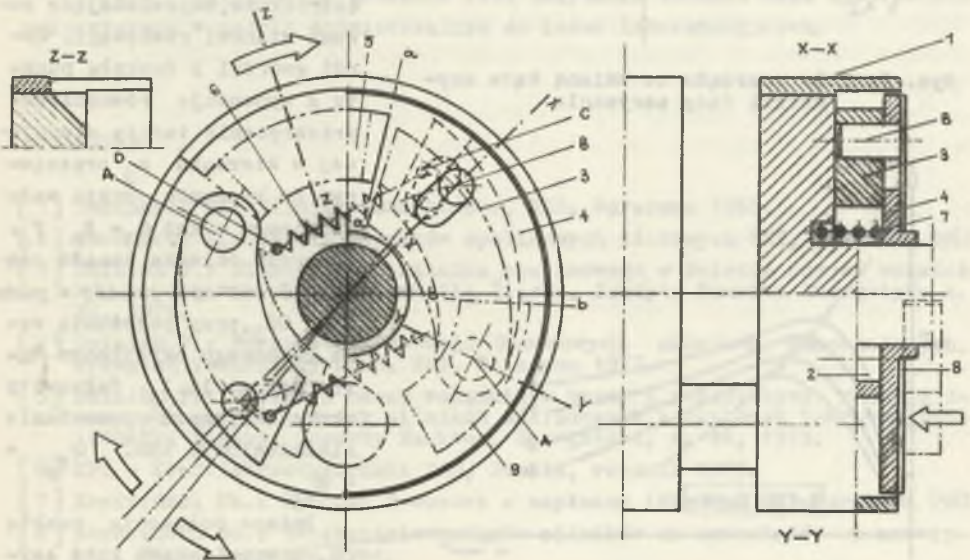
Dla rozrządu symetrycznego $p_2 = p_1 \left(\frac{\beta + \sigma_d}{\beta - \sigma_n + 1} \right)^n$.

Dla rozrządu asymetrycznego $p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^m$, gdzie: V_1 określa objętość skrzyni korbowej przy położeniu wału korbowego pod kątem $\frac{\alpha_D}{2}$ względem ZRP (punkt 1, ZD) - dla symetrii rozrządu po stronie dolotu. V_2 określa objętość skrzyni korbowej przy położeniu wału korbowego pod kątem α_{S_1} względem WRP (punkt 2, OS).

Jak wynika z poprzedniego równania, o wielkości współczynnika zasysania η_z dla obu rodzajów rozrządu decyduje objętość skrzyni korbowej w momencie otwarcia okienka ssącego, a więc parametry punktu 2 względem OS. Istniejące dotychczas rozwiązania rozrządu nie pozwalają na zmianę w czasie pracy silnika kąta α_{S_1} , od wielkości którego zależy objętość V_2 .

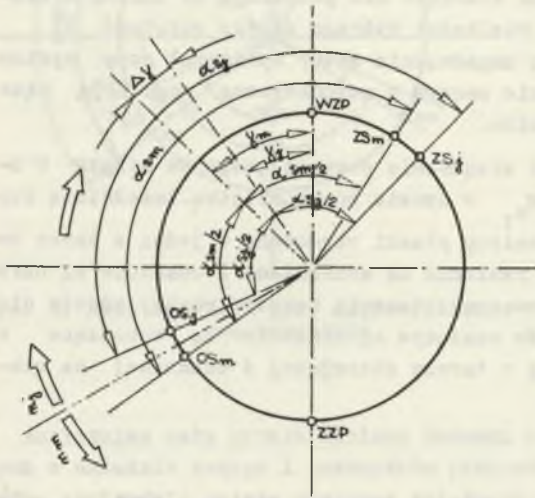
W dążeniu do rozwiązania tego zagadnienia autor opracował nowy system rozrządu asymetrycznego w układzie ssącym z automatyczną regulacją kąta α_{S_1} zależnie od obciążenia silnika.

Rysunek 6 przedstawia schemat urządzenia pozwalającego na ciągłą w ustalonym zakresie zmianę kąta α_{S_1} w czasie pracy silnika. Zasadniczą częścią mechanizmu jest regulator osiowy płaski wbudowany w jedną z tarcz wału korbowego 1. Wewnątrz tarczy ramienia na sworzniach 2 osadzone są obrotowo ciężarki 3. Osie A tych sworzni stanowią zarazem punkty obrotu ciężarków. Na końcach tych ciężarków osadzone są sworznie B, wchodzące w podłużne wycięcia znajdujące się w tarczy sterującej 4 osadzonej na czo-

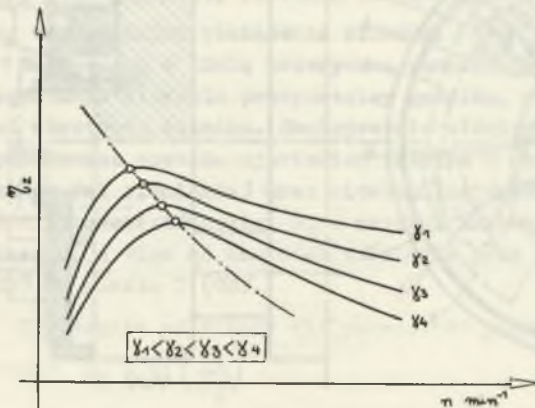


Rys. 6. Schemat mechanizmu automatycznej regulacji kąta asymetrii fazy zasysania

pie łożyskowym wału korbowego. W tarczy tej wycięte jest okienko 5, którego krawędź a - a (dla podanego kierunku obrotu) steruje wlotem mieszanki do skrzyni korbowej. Ciężarki utrzymywane są w położeniu dośrodkowym sprężynami 6, których końce osadzone są w punktach C, D. Tarcza sterująca 4 dociskana jest osiowo sprężyną 7 do nieruchomej tarczy oporowej 8, zapewniając w ten sposób dostateczną szczelność w okresie zasysania mieszanki. W tarczy tej i w ścianie skrzyni korbowej znajduje się okienko kanału ssącego 9. Otwarcie okienka ssącego nastąpi, jeżeli krawędź a - a okienka sterującego pokryje się z krawędzią b - b okienka kanału ssącego.



Rys. 7. Koło rozrzędu ze zmianą kąta asymetrii fazy zasysania



Rys. 8. Zależność funkcji $\eta_z = f(n)$ dla różnych wartości kąta asymetrii

Na rysunku 7 położenie ciężarków oraz tarczy sterującej 4 odpowiada maksymalnej prędkości obrotowej n_m silnika, przy której otwieranie okienka ssącego OS_m następuje przy kącie symetrii γ_m . W miarę spadku prędkości obrotowej i przejścia do zakresu obrotów biegu jałowego przy zmniejszonej sile odśrodkowej, siły reakcji sprężyn 6 spowodują przemieszczenie ciężarków i sworzni B w położenie dośrodkowe, odpowiadające nowemu stanowi równowagi. Obrót sworzni B dookoła punktu A spowoduje równoczesne przekręcenie tarczy sterującej w kierunku n_j przeciwnym do kierunku obrotu wału korbowego o kąt $\Delta\gamma = \gamma_m - \gamma_j$. Otwarcie okienka kanału ssącego 9 nastąpi później w punkcie OS_j , przy położeniu wału korbowego określonym kątem asymetrii γ_j . Całkowity okres zasysania pozostanie niezmienny, tzn. $\alpha_{sm} = \alpha_{sj}$.

Zmiana położenia punktu OS, a więc zmiana kąta asymetrii o wielkość $\Delta\gamma$ wpływnie decydująco na przebieg

funkcji $\eta_z = f(n)$, w pełnym zakresie obrotów silnika. Na rysunku 8 przedstawiono przebieg tej funkcji dla różnych wartości kątów γ , a więc dla różnych położenia punktu OS , w których następuje otwarcie okienka ssącego. Przy mniejszych wartościach kąta asymetrii maksimum krzywej przesuwają się w kierunku zakresu małych prędkości obrotowych. Oznacza to, w tym zakresie współczynnik zasysania osiąga większe wartości, co jest celem proponowanego rozwiązania regulacji. Przesunięcie punktu otwarcia okienka ssącego z OS_m do OS_j spowoduje zwiększenie objętości V_2 , tzn. korzystne obniżenie ciśnienia p_2 .

Opisane rozwiązanie jest przedmiotem zgłoszenia patentowego.

Wykorzystanie zmiany prędkości obrotowej jako impulsu wyjściowego w układzie regulacji kąta asymetrii γ , przyczyni się do wyraźnego poprawienia współczynników przechwycenia ładunku η_p oraz sprawności wymiany ładunku η_w . Oznaczać to będzie bardziej ekonomiczną i równomierną pracę silnika w zakresie obciążeń częściowych i biegu jałowego. Należy również przy puszczać, że strefa palna mieszanki podlegać będzie mniejszym przemieszczeniom, przy równoczesnym rozszerzeniu granicy palności. Rozszerzenie granicy palności, zależne od wymienionych poprzednio współczynników, pozwoli na stosowanie mieszanek ubogich, o dużych współczynnikach nadmiaru powietrza λ .

Zmiana kąta asymetrii w zależności od obciążenia silnika, szczególnie przy biegu jałowym, pozwoli na zmniejszenie emisji składników toksycznych w spalinach, w pierwszym rzędzie tlenku węgla i ciężkich węglowodorów aromatycznych.

Opisane rozwiązanie sterowania fazą zasysania ładunku może być również wykorzystane w modelu doświadczalnym do badań laboratoryjnych.

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 Nr 3, NOT, Warszawa 1973.
- [5] Dziulak T.: Kryteria oceny wskaźników pracy i perspektywy rozwoju 2-suwowych szybkobieźnych silników spalinowych z zapłonem iskrowym, Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe, Energetyka, z. 46, 1973.
- [6] KFT - Kraftfahrzeugtechnik VEB, Berlin, rocznik 1972.
- [7] Kordziński Cz.: Silniki 2-suwowe z zapłonem iskrowym WNT, Warszawa 1963
- [8] Kordziński Cz.: Zwiększanie osiągnięć silników do samochodów i motocykli, WKiŁ, Warszawa 1964.
- [9] Niewiarowski K.: Tłokowe silniki spalinowe, WKiŁ, Warszawa 1968.
- [10] Werner J.: Silniki spalinowe małej i średniej mocy, WNT, Warszawa 1971.

ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОЙ РАБОТЫ
ДВУХТАКТНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ КАК СРЕДСТВО
К РЕДУКЦИИ ТОКСИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ДВИГАТЕЛЯХ

Р е з ю м е

В работе проведен анализ процесса обмена рабочей смеси двухтактных быстроходных двигателей внутреннего сгорания ЗИ (искровое зажигание), с особенным учётом пробега засасывания под углом увеличения равномерности работы в пределе малых нагрузок. Описан проект применения клапана-байпаса и предполагаемое автором решение автоматической регулировки процесса засасывания.

THE POSSIBILITY OF INCREASING THE SMOOTHNESS OF OPERATION
OF TWOSTROKE ENGINES FOR MOTOR-CARS WITH SPARK IGNITION,
AS A MEANS OF REDUCING THE TOXIC COMPONENTS OF EXHAUST GASES

S u m m a r y

The paper contains an analysis of the process of load exchange in high-speed two-stroke combustion engines with spark ignition, taking particularly into account the process of suction from the viewpoint of the smoothness of operation in the range of small loads. There has also been described the project of applying a release valve (by-pass), as well as the automatic control of the suction process, suggested by the author of this paper.