

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Instytut Pojazdów

LABORATORIUM SILNIKÓW SPALINOWYCH

Charakterystyka układu zasilania silnika ZS

Opracowanie
Dr inż. Ewa Fudalej-Kostrzewa

Warszawa 2011

Opracowanie: dr inż. Ewa Fudalej – Kostrzewa

CHARAKTERYSTYKA UKŁADU ZASILANIA SILNIKA ZS

W silnikach o zapłonie samoczynnym z reguły stosuje się wtryskowe układy zasilania. Odnaczają się one, bez względu na rozwiązanie konstrukcyjne, następującymi cechami charakterystycznymi:

- doprowadzają paliwo do komór spalania poszczególnych cylindrów w ilościach odpowiadających chwilowemu obciążeniu silnika,
 - rozpoczynają i kończą wtrysk dawki paliwa przy ściśle określonych położeniach tłoka w cylindrze silnika,
 - dostosowują kształt strugi rozpylonego paliwa do kształtu komory spalania i do występującego w niej zawirowania powietrza,
 - rozpylają wtryskiwane paliwo na drobne kropelki, zazwyczaj o przeciętnej średnicy około 10 μm .
- Oprócz wymienionych cech, opis właściwości układu zasilania uzupełniają:
- charakterystyka przebiegu wtrysku,
 - charakterystyka prędkościowa dawkowania,
 - charakterystyka rozpylenia.

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyki prędkościowej dawkowania na przykładzie układu zasilania z tłoczkową pompą wtryskową, co praktycznie sprowadza się do wyznaczenia charakterystyki prędkościowej pompy wtryskowej.

Zakres ćwiczenia obejmuje również:

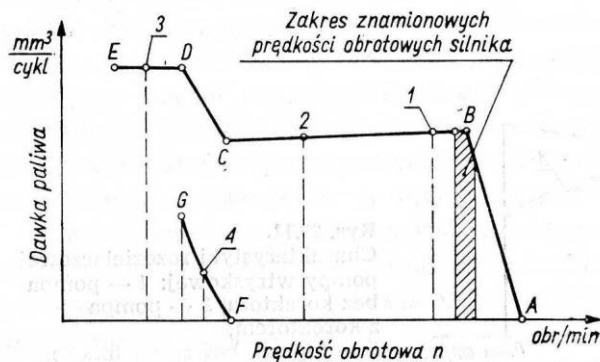
- ustawienie geometrycznego początku tłoczenia (GPT),
- wyznaczenie charakterystyki kąta początku wtrysku.

2. OKREŚLENIE CHARAKTERYSTYKI

Charakterystyka prędkościowa pompy wtryskowej przedstawia przebieg zmian wielkości dawki paliwa przypadającej na jeden wtrysk, w funkcji prędkości obrotowej wałka krzywkowego pompy, przy stałym położeniu listwy sterującej i stałej wartości ciśnienia początku wtrysku. Jest przedstawiona na rys.

2.1. Można wyróżnić na niej następujące zakresy pracy:

- A-B - charakterystyka prędkościowa regulatora,
- B-C - charakterystyka prędkościowa pompy,
- D-E - charakterystyka pompy przy dawce wzbogaconej,
- F-G - charakterystyka regulatorowa prędkości obrotowej biegu jałowego,
- A - koniec zmniejszania dawki przez regulator,
- B - początek zmniejszania dawki przez regulator,
- G - początek pracy regulatora na prędkości obrotowej biegu jałowego,
- F - koniec pracy regulatora na prędkości obrotowej biegu jałowego.



Rys. 2.1. Charakterystyka prędkościowa pompy wtryskowej z regulatorem prędkości obrotowej

Na charakterystyce są również oznaczone następujące punkty:

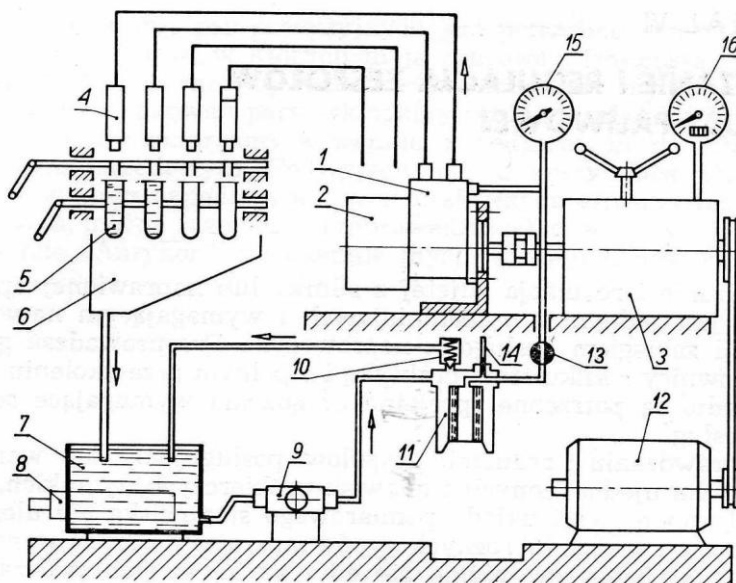
- 1 dawka pomiarowa – dawka paliwa przy ustaleniu dźwigni sterującej w położeniu odpowiadającym maksymalnemu wydatkowi i przy prędkości obrotowej pompy odpowiadającej 90 – 95% prędkości znamionowej silnika (dopuszczalne odchyłki dawki $\pm 3\%$),
- 2 dawka paliwa przy ustaleniu dźwigni sterującej jak w punkcie 1 charakterystyki i przy prędkości obrotowej pompy odpowiadającej około 50% prędkości znamionowej silnika,
- 3 dawka paliwa potrzebna do rozruchu silnika,
- 4 dawka biegu jałowego – dawka potrzebna do równomiernej pracy silnika przy prędkości obrotowej biegu jałowego.

3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

3.1. WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI PRĘDKOŚCIOWEJ POMPY WTRYSKOWEJ

a) STANOWISKO BADAWCZE

Charakterystykę prędkościową pompy wtryskowej wyznacza się na stanowisku probierczym służącym do sprawdzania i regulacji pomp wtryskowych pokazanym na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Schemat stanowiska do badania pomp wtryskowych

1 – pompa wtryskowa, 2 – regulator prędkości obrotowej, 3 – przekładnia, 4 – wtryskiwacze, 5 – naczynia pomiarowe, 6 – rynienka, 7 – zbiornik paliwa, 8 – grzejnik z termostatem, 9 – pompa zasilająca, 10 – zawór przelewowy, 11 – filtr paliwa, 12 – silnik elektryczny, 13 – zawór redukcyjny, 14 – termometr, 15 – manometr, 16 – obrotomierz

Pompa wtryskowa (1) z regulatorem prędkości obrotowej (2) jest zamocowana na płycie stanowiska. Napęd otrzymuje od wrzeciona stanowiska poprzez sprzęgło kłowe. Wrzeciono jest

napędzane przez silnik elektryczny (12) za pośrednictwem pasków klinowych i przekładni (3). Prędkość obrotową wrzeciona można odczytać na obrotomierzu (16) a liczbę wykonanych obrotów wrzeciona na liczniku obrotów, który można dowolnie włączać, wyłączać i kasować jego wskazania.

Paliwo jest dostarczane do pompy ze zbiornika paliwa (7) za pośrednictwem pompy zasilającej (9). Ciśnienie zasilania paliwem może być regulowane za pomocą zaworu reducyjnego (13). Wielkość ciśnienia jest wskazywana przez manometr (15). W układzie doprowadzającym paliwo znajduje się filtr (11), którego zadaniem jest oczyszczanie paliwa zasilającego pompę wtryskową i zabezpieczenie przed zużyciem par precyzyjnych pompy wtryskowej i wtryskiwaczy stanowiska.

Paliwo tłoczone przez pompę wtryskową jest doprowadzane przewodami wtryskowymi do wtryskiwaczy stanowiska (4) osadzonych w tzw. miernicy. Składa się ona z odpowiednio uformowanych naczyń tłumiących, do których jest wtryskiwane paliwo w celu uspokojenia i z których wypływając może być kierowane albo do przezroczystych naczyń pomiarowych (5) z podziałką wskazującą objętość wtrysniętego paliwa, albo do rynienki (6), skąd jest odprowadzany z powrotem do zbiornika. Do rynienki jest również wylewane paliwo z naczyń pomiarowych po wykonaniu odczytu.

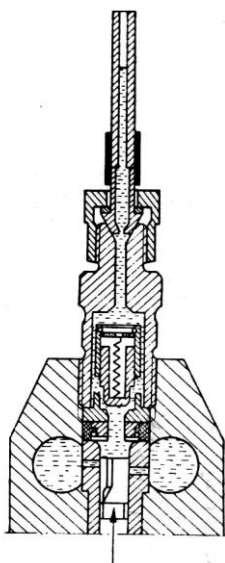
Warunki sprawdzania i regulacji pomp wtryskowych na stanowiskach probierczych są ściśle określone. Dotyczą one:

- typu rozpylaczy – D1Z1.12 (Friedmann und Maier) lub DN12SD12 (Bosch),
- ciśnienia otwarcia – 175^{-5} bar,
- wymiarów przewodów wtryskowych – średnica zewnętrzna 6 mm, średnica wewnętrzna $2^{\pm 0,1}$ mm, długość 600 mm,
- rodzaju oleju – Shell Calibration Fluid B, Bosch Ol 61v11, Karibrol z dodatkiem Lubrizolu,
- temperatury oleju – powinna wynosić $35^{\pm 5}$ °C,
- ciśnienia oleju – powinno wynosić $1^{\pm 0,1}$ bar.

b) POMIARY

Charakterystykę prędkościową pompy wtryskowej tłoczkowej wyznacza się dla dawki nominalnej, to znaczy dla przypadku, gdy listwa zębata sterująca dawkowaniem pompy jest oparta o zderzak. Pomiary polegają na zmierzeniu ilości paliwa wtryskiwanego do naczyń pomiarowych 5 (rys. 3.1) przez wtryskiwacze współpracujące z poszczególnymi sekcjami, przy prędkościach obrotowych obejmujących cały zakres pracy pompy. Dla badanej pompy ten zakres wynosi od około 200 obr/min do około 1200 obr/min. Pomiary wykonuje się zwykle co 100 obr/min. Wobec tego, że dawki wtryskiwane jednorazowo są niewielkie, należy zmierzyć ilość paliwa wtrysniętą w czasie np. 300 – 400 wtrysków do każdego naczynia pomiarowego.

3.2. USTAWIENIE GEOMETRYCZNEGO POCZĄTKU TŁOCZENIA (GPT)



Rys. 3.2. Ustawienie geometrycznego początku tłoczenia

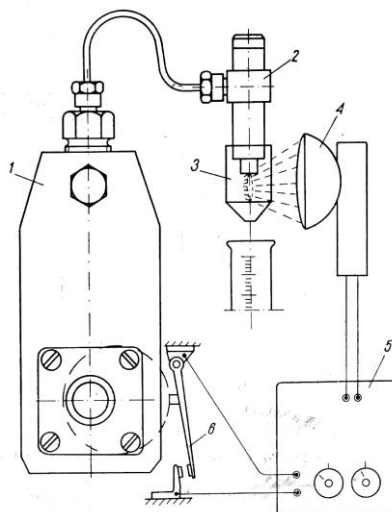
Podczas ustawiania położenia wałka krzywkowego pompy w stosunku do wału korbowego silnika wykorzystuje się geometryczny początek tłoczenia (GPT) paliwa przez pierwszą sekcję pompy wtryskowej. Najczęściej stosowany sposób ustawienia geometrycznego początku tłoczenia polega na obserwacji ruchu słupa cieczy w szklanej rurce o małej średnicy (rzędu 1 mm), przykręconej do króćca zamiast przewodu wtryskowego (rys. 3.2.). W chwili rozpoczęcia tłoczenia przez sekcję pompy, słupek cieczy w rurce powinien drgnąć ku górze. To położenie wałka krzywkowego pompy zaznacza się na stanowisku probierczym ustawiając znacznik związany z obudową przekładni na wybraną wartość na podziałce kątowej na kole wrzeciona, która to wartość w dalszych pomiarach będzie stanowiła punkt odniesienia. W pompach wtryskowych te znaki są naniesione na obudowie pompy i na wałku krzywkowym lub elemencie związanym z nim na stałe.

3.3. WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI KĄTA POCZĄTKU WTRYSKU

Kąt początku wtrysku α_{kw} jest mierzony względem geometrycznego początku tłoczenia (GPT). Położenie wałka krzywkowego pompy odpowiadające GPT w pierwszej sekcji jest zaznaczane przez ustawienie nieruchomego znacznika. Do wyznaczenia kąta początku wtrysku wykorzystuje się lampę stroboskopową, w której impulsy elektryczne wyzwajające błyski są uzyskiwane od przerywacza umieszczonego przy wrzecionie stanowiska probierczego, dającego jeden impuls na jeden obrót wrzeciona, przy jego ściśle określonym położeniu kątowym, które może być przestawiane w zakresie pełnego obrotu. Za pomocą takiej lampy oświetla się przezroczyste naczynie tłumiące osadzone na końcu próbnego wtryskiwacza, do którego następuje wtrysk paliwa, a następnie przestawiając odpowiednio przerywacz wyszukuje się takie ustawienie kątowe, przy którym zaczyna być widoczny początek strugi paliwa wychodzącej z rozpylacza w chwili rozpoczynania się wtrysku. Po znalezieniu takiego położenia przerywacza, oświetla się podziałkę kątową umieszczoną na kole wrzeciona, na której odczytuje się kąt początku wtrysku paliwa w stosunku do nieruchomego znacznika.

Za pomocą lampy stroboskopowej można nie tylko wyznaczyć kąty początku wtrysku paliwa, ale przez odpowiednie przestawienie przerywacza uzyskiwać stojący obraz całego strumienia paliwa w poszczególnych jego fazach rozwoju.

Sposób sprawdzania kąta początku wtrysku paliwa za pomocą lampy stroboskopowej jest przedstawiony na rys. 3.2.



Rys. 3.3. Schemat układu do wyznaczenia kąta początku wtrysku za pomocą lampy stroboskopowej
1 – pompa wtryskowa, 2 – uchwyt, 3 – wtryskiwacz, 4 – lampa, 5 – nadajnik, 6 – styk ruchomy

Pomiary kąta początku wtrysku należy wykonać dla zakresu C-B prędkości obrotowej pompy wtryskowej (rys. 2.1). Rozpocząć pomiary od minimalnej wartości prędkości obrotowej (punkt C) i zwiększając kolejno prędkość obrotową o 100 obr/min zakończyć pomiary przy wartości maksymalnej (punkt B).

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Na podstawie wyników pomiarów należy sporządzić:

- a) charakterystykę prędkościową pompy,
- b) charakterystykę kąta początku tłoczenia.

Charakterystyka prędkościowa pompy

Obliczyć wielkość pojedynczych dawek q [$\text{mm}^3/\text{wtrysk}$] wtrysniętych przez poszczególne sekcje pompy przy kolejnych prędkościach obrotowych.

Sporządzić wykres $q(n)$, przy czym:

- w zakresie E – D charakterystyki (rys. 2.1.) nanieść wartości dawek średnich wyznaczonych jako średnie arytmetyczne dawek dla poszczególnych sekcji,
- w zakresie C – B charakterystyki (rys. 2.1.) nanieść wartości dawek wyznaczonych dla każdej sekcji,
- w zakresie działania regulatora (zakres B – A na rys. 2.1.) nanieść wartości dawek średnich wyznaczonych jako średnie arytmetyczne dawek dla poszczególnych sekcji.

Sporządzić wykres stopnia rozrzutu dawek paliwa $\varphi_d(n)$:

$$\varphi_d = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{sr}} \cdot 100\%$$

gdzie: q_{\max} – dawka największa,

q_{\min} – dawka najmniejsza,

$$q_{sr} = \frac{q_{\max} + q_{\min}}{2} - \text{dawka średnia}$$

Charakterystyka kąta początku wtrysku

Na podstawie wyników pomiarów sporządzić wykres $\alpha_{kw}(n)$.

5. OCENA WYNIKÓW POMIARÓW I WNIOSKI

Uzyskane wyniki badania pompy wtryskowej pozwalają ocenić prawidłowość jej pracy, stan techniczny i sformułować zalecenia co do warunków dalszej jej eksploatacji i konieczności przeprowadzenia naprawy. Podstawą oceny są warunki regulacji pompy określone przez producenta.

Z zasady działania pompy wtryskowej tłoczkowej wynika, że wykresem prędkościowej charakterystyki dawkowania powinna być linia prosta równoległa do osi odciętych. Rzeczywisty przebieg charakterystyki jest inny, głównie z powodu dławienia paliwa w otworach dopływowych w cylinderku sekcji tłoczącej. Na przebieg charakterystyki ma również wpływ szczelność zespołu cylinderek-tłoczek oraz opór hydrauliczny wtryskiwaczy. Czynniki te mogą ulegać zmianom podczas użytkowania silnika. Szczególnie dotyczy to szczelności elementów tłoczących, zmniejszającej się w miarę zużywania pompy. Zużycie poszczególnych elementów nie przebiega identycznie.

Do zasadniczych wad pomp wtryskowych tłoczkowych zalicza się m.in. trudność uzyskania jednakowego dawkowania przez poszczególne zespoły tłoczące pompy i konieczność okresowej kontroli oraz regulacji dawkowania. W praktyce eksploatacyjnej uznaje się jako zło konieczne niejednakowe zasilanie poszczególnych cylindrów silnika. Określa je stopień rozrzutu dawek paliwa φ_d . Stopień ten zmienia się w zależności od wielkości dawki i prędkości obrotowej wałka pompy. W warunkach znamionowych wynosi zazwyczaj kilka procent. Szczegółowe dane dotyczące sposobu jego określania i wartości dopuszczalnych podają instrukcje obsługi poszczególnych wytwórni.

Stopień rozrzutu dawek zależy w bardzo dużym stopniu od warunków pracy pompy. Zmniejszenie dawki do połowy znamionowej może spowodować nawet 10-krotne zwiększenie φ_d . Podobnie zmniejszenie prędkości obrotowej do połowy znamionowej powoduje zwiększenie φ_d . Przy dawkowaniu odpowiadającym biegowi, luzem φ_d może ulec jeszcze znacznie większemu zwiększeniu.

Warunki regulacji pompy wtryskowej P24T8-3a.71WBIFVR z regulatorem prędkości obrotowej R8V20-120/74DW przeznaczonej dla silnika Ursus S4001:

Regulacja dawki:

- dawka nominalna: $q_n = 49,5_{-1}^{+2} \frac{mm^3}{wtrysk}$ przy prędkości obrotowej $n = 900$ obr/min

- dawka biegu jałowego: $q_j = 10 \text{ do } 15 \frac{mm^3}{wtrysk}$ przy prędkości obrotowej $n = 250$ obr/min

- dawka rozruchowa: $q_r = 70_{-5}^{+5} \frac{mm^3}{wtrysk}$ przy prędkości obrotowej $n = 150$ obr/min

Regulacja prędkości obrotowej:

- zakres minimalny: początek działania regulatora: maks. 200 obr/min, koniec działania regulatora: -,

- zakres maksymalny: początek wyłączenia wtrysku paliwa: 1010_{-20}^{+20} obr/min, koniec wyłączenia wtrysku paliwa: 1080_{-30}^{+30} obr/min.

6. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie powinno zawierać:

- przedstawienie zakresu i celu badań,
- opis zastosowanej do tego aparatury,
- opis przeprowadzonych pomiarów,
- wyniki pomiarów,
- opracowanie wyników pomiarów,
- ocenę wyników pomiarów i wynikające stąd wnioski i zalecenia.