

Prof. dr hab. inż. Andrzej Ambrozik
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechnika Świętokrzyska

Kielce, 2015.11.12

W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 20.11.2015
WM/G/104/15

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mirosława Urbanowicza pt. „Wpływ parametrów układu zapłonowego na kształtowanie charakterystyki silnika”

Podstawa opracowania:

Pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej z dnia 13.10.2015 r.
(znak: PK/WM/Dz/6.69/2015).

1. OCENA OGÓLNA TEMATU ROZPRAWY

Obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach dynamiczny rozwój motoryzacji związany jest z ciągłym doskonaleniem tłokowych silników spalinowych, przejawiający się poprawą ich ekonomiczno-energetycznych, ekologicznych i porównawczych wskaźników pracy oraz zwiększeniem ich trwałości i niezawodności.

Obiektem badań recenzowanej rozprawy doktorskiej jest silnik spalinowy o zapłonie iskrowym pracujący przy ilościowej regulacji mocy, która polega na doprowadzeniu do cylindra różnej ilości mieszanki palnej o prawie stałym składzie w zależności od zapotrzebowania na moc rozwijaną przez silnik. Regulację tą osiąga się przez dławienie dopływu mieszanki lub powietrza do cylindra. Wiąże się to jednak z występowaniem strat wymiany ładunku, które powodują małą sprawność użyteczną silnika w zakresie jego małych obciążeń. Najkorzystniej by było, gdyby silnik pracował ze zmiennym współczynnikiem nadmiaru powietrza λ , tym większym im mniejsze obciążenie silnika. Należy jednak pamiętać, że zasilanie silnika mieszanką homogeniczną o λ większym od 1,5 powoduje niestabilną pracę i zwiększenie emisji węglowodorów HC. Ewolucja układów zasilania silników o zapłonie iskrowym polegająca na wyeliminowaniu gaźnika polegała najpierw na zastąpieniu go układem wtrysku

jednopunktowego, a następnie wtryskiem wielopunktowym do układu dolotowego. Obecnie z powodzeniem stosuje się bezpośredni wtrysk benzyny do cylindrów GDI. Silniki z takim układem zasilania dobrze reagują na zmiany obciążenia oraz posiadają dobre właściwości rozruchowe nawet w niskich temperaturach. Spełnienie obecnych limitów emisji takich toksycznych składników spalin jak: CO, HC i NO_x zapewnia instalacja w układzie wylotowym trójfunkcyjnych reaktorów katalitycznych (TWC), które współpracują w układzie sprzężenia zwrotnego z sondą λ. Umożliwia to korekcję ilości paliwa doprowadzonego do cylindra. Zmniejszenie emisji NO_x można osiągnąć także przez zastosowanie recyrkulacji schłodzonych spalin EGR.

Dynamiczny rozwój elektroniki umożliwił stosowanie na coraz szerszą skalę elektronicznych układów sterujących wykorzystujących mikroprocesory EMS i ECU będący elektronicznym sterownikiem silnika ZI. System ten zawiera następujące bloki funkcjonalne:

- regulacja składu mieszanki z wykorzystaniem map charakterystyk i wskazań sondy lambda,
- odwzorowanie map charakterystyk zapłonu i składu mieszanki palnej w ustalonych warunkach pracy silnika oraz ocena tych charakterystyk w nieustalonych warunkach pracy,
- sterowanie składem mieszanki i jej zapłonem podczas rozruchu i nagrzewania silnika,
- odcinanie dopływu paliwa podczas hamowania silnikiem oraz po przekroczeniu prędkości obrotowej wału korbowego silnika,
- regulacja biegu jałowego za pomocą składu mieszanki i parametrów zapłonu,
- regulacja parametrów iskry zapłonowej (energia i czas trwania),
- regulacja procesu spalania na granicy detonacji, z wykorzystaniem czujnika spalania stukowego.

Ponieważ realizacja wyżej wymienionych funkcji w istotnym stopniu zależy od parametrów i funkcjonalności stosowanego w silniku układu zapłonowego, zatem wybór tematu rozprawy uważam za trafny, aktualny i celowy, zgodny z tendencjami rozwoju i doskonaleniem jakości procesu spalania, który w decydującym stopniu wpływa tak na postać charakterystyk silnika jak i wartości wszystkich wskaźników jego pracy.

2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Oceniana praca składa się ze wstępu, dziesięciu rozdziałów, spisu literatury i załącznika. Obejmuje ona 155 stron wydruku komputerowego, 107 rysunków, 8 tablic i 78 pozycji literatury oraz wykaz głównych skrótów i oznaczeń stosowanych w pracy.

Praca ma charakter analityczno-doświadczalny. Dotyczy poprawy właściwości dynamicznych silników o zapłonie iskrowym pracujących najczęściej według częściowych charakterystyk prędkościowych. Silniki te stosowane są przede wszystkim do napędu pojazdów samochodowych eksploatowanych w warunkach miejskich. Treść rozprawy ilustrowana jest dużą ilością dobrze tematycznie dobranych rysunków, co znacznie ułatwia jej czytelność. W pierwszym rozdziale, stanowiącym wstęp do pracy przedstawiono ogólny opis układów zapłonowych i na tym tle przyjęto hipotezę oraz sformułowano cel pracy. Zgodnie z przyjętą hipotezą wskazano, że zmiana parametrów elektrycznych obwodu pierwotnego cewki zapłonowej może wpływać na przebieg momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym. Sformułowanym celem ocenianej pracy jest doświadczalne potwierdzenie możliwości poprawy przebiegu krzywej momentu obrotowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym. Ponadto w rozdziale tym wskazano na potrzebę poszerzenia zdolności adaptacyjnych istniejących oraz opracowywanie nowych układów zapłonowych, które umożliwiłyby stosowanie nowych metod sterowania pracą tych układów.

W drugim rozdziale pracy dokonano szczegółowego opisu budowy i zasady działania bateryjnego układu zapłonowego z uwzględnieniem wpływu zmiany indukcyjności, rezystancji i pojemności na parametry pracy tego układu którymi są: narastanie prądu w uzwojeniu pierwotnym cewki, napięcie w uzwojeniu wtórnym oraz czas wyładowania iskrowego pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej. Wpływ kąta wyprzedzenia zapłonu na przebieg procesu spalania zilustrowano w tym rozdziale wykorzystując do tego celu otwarty wykres indykatorowy.

Trzeci rozdział pracy poświęcono dość szczegółowej analizie stanów pracy układu zapłonowego. Przebiegi napięcia i zaniku prądu w uzwojeniu pierwotnym, jak również stany nieustalone w obwodzie RLC przy wymuszeniu stałym przedstawiono w postaci wykresów sporządzonych z wykorzystaniem równań teoretycznych. W opisie tym, jako szczególnie ważny należy uznać opis metod zmiany indukcyjności i rezystancji cewki zapłonowej oraz opis sposobów modyfikacji tych parametrów prezentowane w literaturze specjalistycznej. Opisy te wykorzystywane są w dalszej części recenzowanej pracy. Potwierdzeniem tego jest opis konstrukcji cewki zapłonowej z regulowaną indukcyjnością. Konstrukcja tej cewki stanowi opracowanie własne Autora, opatentowane pod nr. 218399.

W piątym rozdziale pracy przedstawiono wpływ indukcyjności własnej obwodu pierwotnego cewki zapłonowej na przebieg napięcia pierwotnego i wtórnego dla różnych prędkości obrotowych wału korbowego silnika. Ponadto w rozdziale tym szczegółowo opisano badania układu zapłonowego ze zmienną indukcyjnością własną obwodu pierwotnego i z uwzględnie-

niem wpływu rezonansu napięć na przebieg prądu w obwodzie pierwotnym bateryjnego układu zapłonowego z zastosowaniem cewki zapłonowej o zmiennej przekładni.

Szósty rozdział pracy zawiera badania wpływu pojemności obwodu pierwotnego na pracę układu zapłonowego przy różnych prędkościach obrotowych wału korbowego. Mierzono tu napięcia w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym przy znamionowej i zwiększonej pojemności obwodu.

W siódmym rozdziale pracy przedstawiono analizę statystyczną wartości natężenia prądu iskry zapłonowej dla różnych prędkości obrotowych wału korbowego silnika i różnych wielkości przerw między elektrodami świecy zapłonowej.

W ósmym rozdziale pracy opisano możliwości zastosowania cewki zapłonowej o zmiennej indukcyjności w układach zapłonowych sterowanych elektronicznie. Opisano stanowisko badawcze oraz zastosowaną cewkę zapłonową z regulowaną indukcyjnością. Porównano działanie tej cewki z działaniem cewki sterowanej tradycyjnie. Wartości natężenia prądu w obwodzie pierwotnym układu zmodyfikowanego były mniejsze, co może korzystnie wpływać na trwałość takiego układu.

Dziewiąty rozdział pracy poświęcono badaniom i ocenie wpływu układu zapłonowego na charakterystyki prędkościowe silnika. Po krótkim wprowadzeniu teoretycznym popartym przykładem zaczerpniętym z literatury przedstawiono obiekty badań, którymi były silniki samochodu Polonez 1,5 SLE/AA i 1.6 GLI wraz z ich charakterystykami fabrycznymi. Następnie opisano typowe silnikowe stanowisko badawcze wraz z wyposażeniem oraz sposób przeprowadzania badań. Opisano tu badania silnika 1,5 SLE/AA oraz przedstawiono otrzymane wyniki badań. Wyniki tych badań oceniono jako zadowalające z punktu widzenia eksploatacji silnika stosowanego do napędu taksówki. Dalsze badania zrealizowano na silniku 1,6 GLI wyposażonego w standardowy układ zapłonowy oraz wyposażony w układ ze zmienną indukcyjnością do wartości $\frac{1}{4}$ indukcyjności znamionowej i zwiększonym odstępem elektrod świecy do 1mm (standardowy odstęp 0,8mm). Wyznaczono linie trendu dla momentu obrotowego przy obydwu regulacjach układu zapłonowego i wyznaczono stopień wiarygodności otrzymanych wyników stanowiący 9,5% błędu dla układu standardowego i 4,43 % błędu dla układu zmodernizowanego.

W podsumowaniu przedstawionym w dziesiątym rozdziale pracy stwierdzono, że proponowane zmiany regulacyjne układu zapłonowego zapewniają wzrost o 8,9 % elastyczności silnika przy jego pracy na obciążeniach częściowych. Wynik ten korzystnie wpłynie na zmniejszenie zużycia paliwa oraz lepsze przystosowanie się pojazdu do zmiennych warunków ruchu miejskiego. W pracy wskazano także na możliwości zastosowania płynnej zmiany in-

dukcyjności cewki zapłonowej, co czyni proponowane rozwiązanie jeszcze bardziej korzystnym w aspekcie eksploatacji samochodu.

3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Tematyka rozprawy obejmuje szeroki aspekt zjawisk towarzyszących przebiegowi zapłonu iskrowego w tłokowych silnikach spalinowych, bezpośrednio wpływającemu na przebieg pierwszej fazy procesu spalania w silniku. Specyfika inicjacji procesu spalania w tych silnikach istotnie różni się od tego zjawiska w silnikach o zapłonie samoczynnym. Treść pracy ilustrowana jest bardzo dużą ilością rysunków dobrze dobranych tematycznie, co znacznie ułatwia jej czytelność. Zawarte w pracy stwierdzenia i wnioski są logiczne i rzeczowe, wynikają z dużej ilości przeprowadzonych badań eksperymentalnych podpartych dobrym przygotowaniem teoretycznym. Jest to jedno z pierwszych opracowań tego typu, tak kompleksowo ujmujących problematykę poprawy przebiegu charakterystyki momentu obrotowego silników o zapłonie iskrowym. Badania wykonano z dużą starannością. Wnioski końcowe zostały poprawnie sformułowane i logicznie wynikają z opisu przeprowadzonych badań.

4. UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Uwagi te dotyczą strony edytorskiej pracy:

- s. 5 Rys. 1.1 ... to typowa tablica,
- s. 17 Wzór 2.11 – błędnie zapisany,
- s. 21 Parametry cewek zapłonowych ... pisane z odstępem 1, podczas gdy cała praca pisana jest z odstępem 1.5,
- s. 27 Podpis pod wzorem (2.16) powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 28 podpis pod wzorem (2.17 i 2.18) powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 38 Rys. 2.21 – to nie rysunek tylko tablica,
- s. 47 ... nieliniowej, gdzie: opis powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 52 Podpis pod rys. 3.5 powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 59 Rys. 3.5 podpis powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 73 Brak numeru wzoru i podpis pod wzorem powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 73 Brak numeru wzoru, opis pod rysunkiem powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 89 Brak numeru wzoru, podpis pod wzorem powinien być pisany z odstępem 1,
- s. 147 Brak tytułu tablicy,
- s. 148 Brak tytułu tablicy, brak podpisu pod rysunkami,
- s. 150 Brak numeru rysunku,

s. 151 Brak numeru wzoru, * nie jest znakiem mnożenia.

Wymienione powyżej uwagi w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą oceniam jako bardzo ciekawą z punktu widzenia poznawczego i przydatną dla celów praktycznych. Według mnie jest to szczególnie ważne w obecnych czasach, kiedy wymaga się konkretnych rozwiązań problemów technicznych. Autor w sposób jasny i jednoznaczny wykazał czego dokonał w trakcie realizacji badań, potrafił wyciągnąć z nich poprawne i logiczne wnioski sformułowane w oparciu o odpowiednią podbudowę teoretyczną.

5. KONKLUZJA

Biorąc pod uwagę dotychczasowy dorobek publikacyjny mgr inż. Mirosława Urbanowicza, w tym nagrodę na Forum w Moskwie w 2014 roku oraz przedstawioną do oceny rozprawę doktorską pt. „WPŁYW PARAMETRÓW UKŁADU ZAPŁONOWEGO NA KSZTAŁTOWANIE CHARAKTERYSTYKI SILNIKA”, uważam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych, w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dziennik Ustaw R.P Nr 65, poz.595 ze zm. w Dz. U. z 2005r., nr 164, poz. 1365), zaś jej Autor może być dopuszczony do publicznej obrony.