

ROZRUCH SILNIKA TŁOKOWEGO JAKO PROCES DIAGNOSTYCZNY

Józef PSZCZÓLKOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny
ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, fax.: (022) 683 97 96, e-mail: jpszczola@wme.wat.waw.pl

Streszczenie

Scharakteryzowano rozruch tłokowego silnika spalinowego jako proces diagnostyczny. Przedstawiono model diagnostyczny rozruchu silnika i wskazano parametry wyjściowe procesu, które mogą być wykorzystane jako parametry diagnostyczne, ponieważ mają cechy tego typu wielkości. Wskazano elementy systemu i ich właściwości, które mogą być obiektami diagnozy na podstawie oceny parametrów przebiegu rozruchu. Scharakteryzowano zasady budowy modeli diagnostycznych poszczególnych elementów systemu pozwalających na wnioskowanie o ich stanie na podstawie zmierzonych wielkości podczas rozruchu. Przedstawiono wstępny algorytm diagnozowania silnika i elementów elektrycznego układu rozruchowego.

Słowa kluczowe: tłokowe silniki spalinowe, rozruch w niskiej temperaturze, diagnostyka techniczna

PISTON ENGINE START-UP AS A DIAGNOSTIC PROCESS

Summary

Piston combustion engine start-up as a diagnostic process is characterised. Engine start-up diagnostic model is presented and output process parameters are shown, which can be used as diagnostic parameters because they have such quantities features. System elements and their properties are pointed which can be diagnosis objects on the basis of start-up course parameters evaluating. The principles of diagnostic models developing of individual system elements, which will let come to conclusions on their state with the help of measured quantities under engine starting. A preliminary diagnostic algorithm is presented for engine and electric starting system testing.

Key words: piston engine, low temperature start-up, technical diagnostics

1. WPROWADZENIE

Każde urządzenie techniczne, w fazie jego produkcji uzyskuje określoną strukturę zapewniającą mu możliwość realizacji zadań, do których wypełniania zostało zaprojektowane. W trakcie trwania eksploatacji elementy i układy urządzenia podlegają różnego rodzaju oddziaływaniom, związanym zarówno z jego funkcjonowaniem, jak też pochodzącymi ze środowiska zewnętrznego. Samo urządzenie również wykazuje oddziaływania na środowisko, celowe, związane z wykonywaniem funkcji jak też uboczne, najczęściej niepożądane. Wskutek tych oddziaływań zachodzą procesy zużycia i starzenia elementów powodujące na ogół niekorzystną zmianę jego parametrów efektywnych. Dla utrzymania ich wartości w określonych granicach, narzuconych przez system eksploatacji, konieczne jest, najczęściej okresowe przywracanie stanu pierwotnego elementów urządzenia, a ostatecznie jego likwidacja. Ten zakres działań eksploatacyjnych dotyczących utrzymania lub przywracania stanu nazywany jest obsługiwaniem.

Ostatnie dziesięciolecia charakteryzuje istotna zmiana zasad eksploatacji maszyn. Dotyczy ona

głównie metody realizacji działań obsługowych. Planowo – zapobiegawcza metoda obsługiwaniami i napraw charakteryzuje się występowaniem stałych przedziałów czasowych lub czasowo – przestrzennych, w których dokonywane są pewne czynności na urządzeniu przewidziane przez producenta lub system eksploatacji. Drugą istotną cechą tej metody jest cykliczność zakresu wykonywanych czynności co oznacza hierarchizację działań (zakres czynności obsługiwaniami tzw. wyższego rzędu obejmuje zakres rzędu niższego) oraz okresowe powtarzanie cyklu. Metoda ta ma niewątpliwie szereg zalet, ale z pewnością nie jest efektywna – wielkość poniesionych nakładów nie jest współmierna do uzyskanych, lub możliwych do uzyskania efektów.

Dlatego coraz częściej podejmowane są działania wdrażania metody obsługiwaniami dynamicznego lub według stanu technicznego. W tym przypadku zakres działań obsługowo – naprawczych jest (powinien być) ściśle związany z rzeczywistym stanem urządzenia i istniejącymi w tym zakresie potrzebami. Zasadność tego typu działań jest zależna od dokładnego rozpoznania stanu urządzenia, a zwłaszcza prognozy przyszłych zmian stanu.

Obydwie z wymienionych funkcji spełnia diagnostyka techniczna.

Diagnostyka odgrywa coraz większą rolę w systemach eksploatacji urządzeń technicznych umożliwiając znaczne zwiększenie ich niezawodności, a szczególnie gotowości do wypełniania odpowiednich funkcji. Intensywny rozwój diagnostyki technicznej związany jest z rozwojem środków pomiaru i rejestracji parametrów procesów roboczych maszyn oraz metod opracowania danych z zastosowaniem techniki komputerowej. W związku z tym dla celów diagnostycznych wykorzystuje się coraz więcej parametrów procesów wyjściowych maszyn mogących pełnić funkcję symptomów stanu.

Wzrost roli diagnostyki w eksploatacji maszyn wynika przede wszystkim z:

- potrzeb racjonalnej eksploatacji, której głównymi kryteriami są minimalizacja kosztów eksploatacji i przestojów urządzeń. Stąd powszechne jest dążenie do “przeniesienia” czynności naprawczych do cyklu procesów obsługowych – wykonywanych odpowiednio wcześniej zabiegów profilaktycznych. Skutki uszkodzeń i koszty przestojów są często wielokrotnie większe od kosztów planowej wymiany zespołów;
- wzrostu możliwości zarówno technicznych jak i metodologicznych diagnostyki związanych z intensywnym rozwojem tej dziedziny wiedzy (środków i metod diagnozowania). Rozwój środków i metod diagnozowania powoduje, że dla celów diagnostyki możliwe jest użycie wielu nowych parametrów diagnostycznych (symptomów stanu) wykorzystujących nie stosowane dotychczas cechy procesów roboczych, dla których zwiększa się dostępność diagnostyczna, a więc i możliwości ich zastosowania;
- zmiany cech obiektów eksploatacji, dla których dzięki stosowaniu nowych materiałów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych oraz technologii produkcji, uzyskuje się ich zwiększoną trwałość. Ponadto współczesne obiekty wyposażone są w dużą ilość różnego rodzaju układów pomiarowych wielkości, które pełniąc inne funkcje w urządzeniu, mogą być również wykorzystywane dla celów diagnostyki. Dla przykładu, pojazdy mechaniczne wyposażano pierwotnie jedynie w trzy proste układy pomiarowe: ciśnienia oleju, poziomu paliwa i temperatury płynu chłodzącego. Wraz z wystąpieniem wymagań w zakresie emisji, pojawieniem się elektronicznego sterowania zapłonem i wtryskiem paliwa, zaczęto stosować nowe czujniki dla ścisłego sterowania pracą silnika i emisją spalin. W nowoczesnych pojazdach trudno określić ważniejsze zespoły, w których nie stosowano by różnego rodzaju układów pomiarowych [1]. Te czynniki powodują, że zwiększają się potrzeby i wzrasta

opłacalność stosowania środków diagnozy, zwłaszcza pokładowych, których istnienie powoduje istotne przeniesienie procesu diagnostycznego z podsystemu obsługiwanego do podsystemu użytkownika urządzeń;

- rozwoju metod rejestracji i przetwarzania sygnałów diagnostycznych, szczególnie w związku z wykorzystaniem techniki cyfrowej (komputerowej) do tych celów. Szybkość przetwarzania sygnałów powoduje, że znacznie zwiększa się ilość informacji wtórnej na podstawie zmierzonych wartości sygnałów diagnostycznych. Nowe jakościowo możliwości diagnostyczne pojawiają się w związku z rozwojem sztucznej inteligencji i stosowaniem w diagnostyce komputerowych systemów doradczych lub ekspertowych. Przykładem nowych możliwości diagnostycznych jakie pojawiły się dzięki zastosowaniu technik cyfrowych mogą być komputerowe systemy diagnostyczne [2] wykorzystujące do oceny stanu silnika tzw. jego charakterystykę dynamiczną.

Wymienione czynniki powodują również, że istnieją możliwości wykorzystania dla celów diagnostyki parametrów rozruchu silnika w niskiej temperaturze otoczenia.

2. DIAGNOSTYCZNE ASPEKTY PROCESU ROZRUCHU SILNIKA

Rozruch tłokowego silnika spalinowego jest okresem inicjowania jego samodzielnej pracy i warunkuje możliwość jego celowego wykorzystania. W celu zainicjowania pracy silnika niezbędne jest dostarczenie energii z zewnętrznego źródła poprzez napędzanie przez układ rozruchowy, najczęściej elektryczny, wału korbowego z określoną prędkością obrotową. Układ rozruchowy składa się z silnika prądu stałego szeregowego lub szeregowo-bocznikowego i elementu przekładniowego, który umożliwia zmniejszenie momentu sił rozrusznika potrzebnego do rozruchu, jak również optymalizację wymiarów i masy układu rozruchowego. Źródłem energii zasilającym silnik elektryczny jest najczęściej akumulator ołowiowo-kwasowy. W trudnych warunkach rozruchu układ rozruchowy powinien zapewnić odpowiednią wartość prędkości obrotowej wału korbowego silnika w dostatecznie długim czasie. Wartość tych dwu parametrów jest zależna od cech wszystkich elementów systemu silnik – układ rozruchowy. Wielkościami charakteryzującymi elementy systemu, które wpływają na wartości parametrów wyjściowych są:

- moment oporu silnika;
- rzeczywista moc mechaniczna rozrusznika;
- pojemność akumulatora kwasowego;
- przełożenie między wieńcem koła zamachowego a zębniakiem rozrusznika.

Parametry pracy rozrusznika są zależne od napięcia na zaciskach obciążonego akumulatora, a stąd bezpośrednio od jego temperatury i natężenia prądu. Podczas rozruchu silnika wprawienie w ruch obrotowy wału korbowego wymaga pokonania oporów: statycznych (tarcia), bezwładności elementów ruchomych oraz oporów sprężania ładunku w cylindrach silnika.

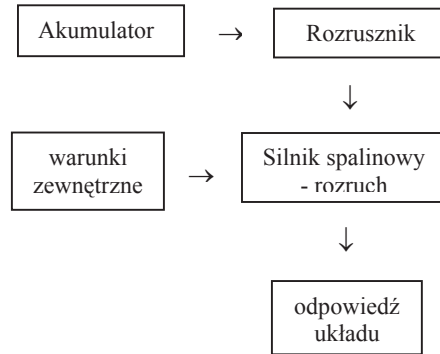
W diagnostyce pojazdów mechanicznych, zwłaszcza silników, znaczne rezerwy możliwości rozpoznania stanu występują w wykorzystaniu procesów rozruchowych silnika, które dotychczas nie są w dostatecznym stopniu stosowane. Już sam rozruch silnika (łatwość podjęcia samodzielnej pracy) jest dobrym testem poprawności działania dla wszystkich układów wpływających na wartość wymuszanej przez rozrusznik prędkości obrotowej wału korbowego oraz tworzenie i zapłon mieszaniny paliwowo-powietrznej. Wykazywany przez silnik poziom właściwości rozruchowych zawiera informacje o stanie technicznym tych układów lub urządzeń wspomagających rozruch. Jednakże taka, choć precyzyjna, ocena stanu ogólnego wszystkich układów silnika byłaby procesem pracochłonnym i kosztownym, gdyż wymagałaby realizacji rozruchu według procedur właściwych dla tego typu badań silników.

Drugim ważnym diagnostycznym aspektem rozruchu jest fakt, że podczas jego realizacji ujawnia się największa liczba uszkodzeń układów silników. Jest to bezpośrednio związane z dużą czułością przebiegu procesów rozruchowych od warunków ich realizacji – wymuszeń zewnętrznych dla przebiegu procesów tworzenia, zapłonu i spalania mieszaniny paliwowo-powietrznej. Dla przykładu, realizowane w warunkach normatywnych badania granicznej temperatury rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym wykazują przeciętnie jej wzrost o około 2 stopnie po zastosowaniu akumulatora wychłodzonego do temperatury badania (ok. $-10 \div -15$ °C) zamiast akumulatora o temperaturze dodatniej ok. $+18$ °C oraz dodatkowo 2 stopnie, jeżeli akumulator zostanie wstępnie rozładowany do stanu 70% pojemności znamionowej.

Cechy diagnostyczne procesu rozruchu silnika spalinowego można rozważyć na podstawie prostego modelu diagnostycznego, który przedstawiono na rys.1. Obiektem diagnozy jest układ: silnik spalinowy – rozrusznik – akumulator rozruchowy, gdyż współpraca i cechy wszystkich elementów decydują o przebiegu rozruchu i generowaniu sygnałów diagnostycznych. Podstawowym parametrem wejściowym wymuszającym procesy rozruchowe silnika jest temperatura. W głównym stopniu charakteryzuje ona warunki zewnętrzne, w których realizowany jest rozruch silnika, zwłaszcza przy założeniu, że układ pozostaje w stanie równowagi cieplnej z otoczeniem.

Stan obiektu diagnozy charakteryzowany jest przez następujący zbiór parametrów:

- pojemność rzeczywista lub zdolność rozruchowa akumulatora kwasowego przy danym jego stanie technicznym i termicznym;
- zbiór charakterystyk rozrusznika: momentu siły, prędkości obrotowej i mocy;
- wartość oporów ruchu silnika spalinowego zależna od jego cech konstrukcyjnych i parametrów stanu, w szczególności od lepkości oleju smarującego i ciśnienia sprężania ładunku w cylindrach.



Rys. 1. Diagnostyczny model rozruchu silnika spalinowego

Istotą diagnostyki jest, że wartości wymienionych cech układu powinny być określone na podstawie wartości cech sygnałów wyjściowych – odpowiedzi układu na wymuszenia zewnętrzne, do których można zaliczyć:

- czas rozruchu silnika lub graniczną temperaturę rozruchu – jak podkreślono wyżej byłyby to parametr zawierający największą ilość informacji o stanie układów silnika, jednakże koszty procesu diagnozowania byłyby nadmierne, jak również możliwości diagnozy szczegółowej znacznie ograniczone,
- natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik – jako parametr diagnostyczny zawiera największą ilość informacji o stanie układu realizującego rozruch. Charakteryzuje zarówno zdolność akumulatora do oddawania prądu w warunkach obciążenia rozruchowego, zależy od stanu rozrusznika charakteryzując związek między poborem prądu a wytworzonym momentem siły, zawiera informacje o wielkości momentu oporów ruchu silnika spalinowego, jeżeli charakterystyki rozrusznika są znane (zgodne z określonymi przez producenta),
- napięcie na zaciskach obciążonego akumulatora (lub rozrusznika) – zawiera informacje diagnostyczne o stanie źródła energii zasilającego rozrusznik. Napięcie jest wielkością zależną od pojemności znamionowej, natężenia pobieranego prądu, temperatury oraz stanu akumulatora (jego stopnia naładowania i stanu zużycia),
- prędkość obrotowa wału korbowego wymuszana przez rozrusznik – jest wypadkową cech elementów biorących udział w rozruchu: silnika jako obiektu reprezentowanego przez

moment oporów ruchu, elektromechanicznych charakterystyk rozrusznika i zdolności rozruchowej akumulatora.

3. PARAMETRY ROZRUCHU SILNIKA I ICH CECHY DIAGNOSTYCZNE

Natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik, napięcie na zaciskach akumulatora i prędkość obrotowa wału korbowego stanowią odpowiedź układu silnik – rozrusznik – akumulator rozruchowy na wymuszenie, jakim jest realizacja rozruchu silnika spalinowego. Aby te wielkości mogły pełnić funkcje parametrów diagnostycznych, powinny spełniać warunki wymagane dla tego typu wielkości. Jako najważniejszy należy wymienić warunek informatywności. W przypadku natężenia prądu pod tym względem można wskazać dwa obiekty oceny diagnostycznej na podstawie tego parametru. Przy założeniu, że charakterystyki rozrusznika są zgodne z podanymi przez producenta, wytwarzany przez niego moment siły zależy tylko od natężenia pobieranego prądu (zmiany charakterystyk w funkcji temperatury można pominąć).

Drugim obiektem oceny jest silnik spalinowy, w aspekcie jego rozruchowych oporów ruchu. Warunkiem właściwej ich oceny jest równowaga termiczna silnika – pomiędzy jego elementami nie mogą występować gradienty temperatury. Ponieważ moment oporu silnika zależy od lepkości oleju smarującego, która jest funkcją temperatury, to jej wartość powinna być ściśle określona. Składowa zmienna momentu oporu silnika podczas napędzania wału korbowego przez rozrusznik zależy głównie od ciśnienia sprężanego w cylindrach silnika ładunku powietrza. Stąd też na podstawie parametrów sygnałów wyjściowych procesu rozruchu można określić wartość tego parametru. Aktualnie natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik jest wykorzystywane w diagnostyce silnika do oceny jakościowej ciśnienia sprężania w cylindrach, tj. oceny równomierności sprężania w poszczególnych cylindrach. Nie wyznacza się natomiast na tej podstawie wartości ciśnień. Przeprowadzono badania wstępne korelacji ciśnień sprężania powietrza i amplitudy składowej zmiennej natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik. Stwierdzono istnienie korelacji w warunkach danej próby rozruchowej, natomiast nie istnieje ona w przypadku porównywania wyników pomiarów w różnych warunkach zewnętrznych: różnych temperaturach otoczenia i silnika lub zmiennej mocy układu rozruchowego. Dlatego dla celów diagnostycznego wykorzystania tego parametru konieczna jest budowa modeli matematycznych obiektów diagnozowanych. Podkreślić natomiast należy, że różnice ciśnień sprężania ładunku w cylindrach są znacznie bardziej uwidaczniane podczas napędzania wału korbowego silnika w warunkach obniżonych temperatur – dla silnika wychłodzonego.

Napięcie na zaciskach charakteryzuje zdolność akumulatora kwasowego do oddawania energii. Przy danym natężeniu pobieranego prądu napięcie na

zaciskach akumulatora zależy także od jego pojemności znamionowej Q , temperatury elektrolitu T oraz stanu naładowania k , który może być utożsamiany ze stanem technicznym źródła energii. Stwierdzono, że zależność napięcia na zaciskach akumulatora U od parametrów charakteryzujących jego stan (stopień naładowania) i obciążenie może być przyjęta jako funkcja liniowa typu (ostateczna postać tej zależności zostanie przyjęta po opracowaniu bazy danych o rozruchu silników spalinowych):

$$U = U(Q, I, T, k) \quad (1)$$

Wartość prędkości obrotowej wału korbowego silnika napędzanego przez układ rozruchowy może służyć do wyznaczenia mocy rzeczywistej rozrusznika, jeżeli na podstawie wartości natężenia prądu określona zostanie wartość jego momentu siły. Moc rozrusznika w danych warunkach pracy stanowi podstawowy parametr oceny jego stanu technicznego (musi być ona odniesiona do jego rzeczywistej charakterystyki mocy).

Łatwo można wykazać, że diagnostyczne sygnały procesu rozruchu spełniają także pozostałe warunki dla parametrów diagnostycznych: jednoznaczności, czułości i stabilności. Warunek jednoznaczności oznacza, że zależność określonego parametru stanu obiektu diagnozowanego jest funkcją monotoniczną parametru diagnostycznego. Na podstawie analizy znanych charakterystyk momentu siły rozrusznika i napięcia akumulatora od natężenia prądu można stwierdzić, że są to funkcje monotoniczne. Również w sposób monotoniczny moment oporu silnika zależy zarówno od lepkości oleju smarującego, jak też i prędkości obrotowej wału korbowego. Składowa stała i zmienna momentu oporu zależne są również od jego stanu technicznego, a w szczególności od wartości ciśnienia sprężania ładunku powietrza w cylindrze. Stąd też pomiar natężenia prądu rozrusznika pozwala na jednoznaczną ocenę składowych momentu oporu silnika.

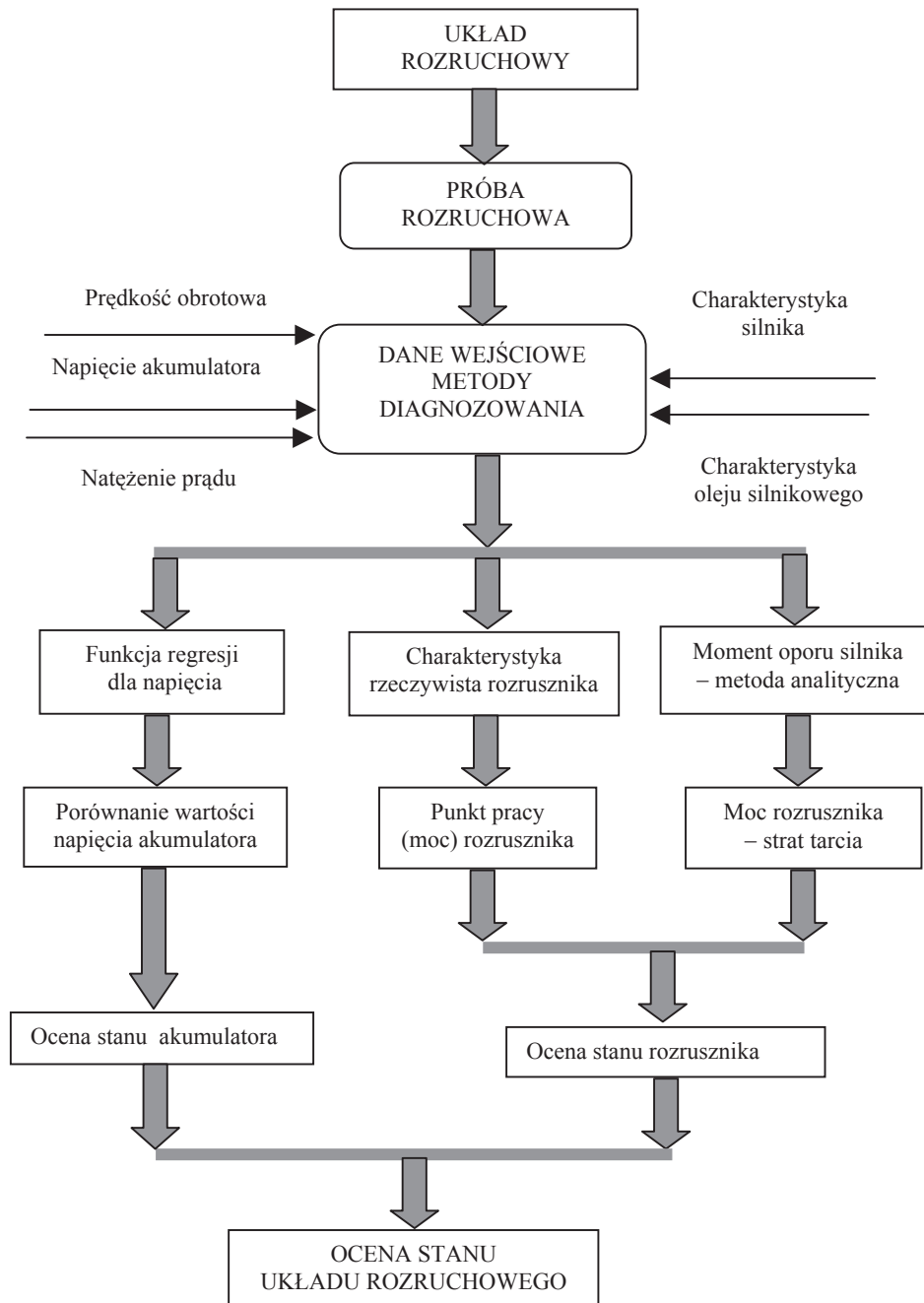
Czułość danego parametru diagnostycznego stosowanego do określenia konkretnego parametru stanu wyraża się stosunkiem ich gradientów. Subiektywna ocena czułości jest związana z czułością aparatury pomiarowej i zależy również od wiarygodności modelu diagnostycznego, wyrażającego związek parametru stanu i parametru diagnostycznego. Współczesne metody pomiaru wymienianych wyżej parametrów wyjściowych procesu rozruchu pozwalają na osiągnięcie wystarczająco dużych dokładności pomiaru, a stąd i oceny czynników wpływających na ich zmiany. Warunek stabilności oznacza nie istnienie lub pomijalny wpływ nieznanymi czynników losowych na mierzone wartości parametrów diagnostycznych. W przypadku pomiarów sygnałów wyjściowych procesów rozruchu błędy losowe są pomijalnie małe, istnieje zaś duży wpływ parametrów stanu układu na wartości tych sygnałów. Dlatego też problemy diagnostycznego wykorzystania procesu rozruchu

tłokowego silnika spalinowego będą stanowiły przedmiot dalszych badań i analiz.

4. ALGORYTM DIAGNOZOWANIA SILNIKA

Opracowano wstępny algorytm diagnozowania układu rozruchowego silnika (rys. 2) na podstawie parametrów procesu jego rozruchu. Bazę do oceny stanu układu rozruchowego (również silnika) stanowi wynik przeprowadzonej próby rozruchowej silnika (napędzania wału korbowego przez

rozrusznik) w warunkach równowagi termicznej z otoczeniem. Jako dane wejściowe metody służą zmierzone parametry diagnostyczne oraz określone charakterystyki silnika (parametry geometryczne) i oleju smarującego. Ocena stanu akumulatora rozruchowego może być dokonana wprost poprzez porównanie wartości zmierzonej napięcia na jego zaciskach z wartością wynikającą z omawianej wyżej funkcji regresji (1) dla danych warunków realizacji próby rozruchowej.



Rys. 2. Algorytm diagnozowania układu rozruchowego silnika

Dla dokonania oceny stanu rozrusznika elektrycznego niezbędna jest znajomość momentu oporu silnika, zarówno wyznaczona na podstawie wyników pomiaru natężenia prądu i charakterystyki

rozrusznika oraz wyznaczona metodami analitycznymi, traktowana jako wzorcowa dla danego silnika smarowanego olejem o znanej lepkości. Rozruchowy moment oporu silnika, jak

zaznaczono wyżej, jest wielkością zależną przede wszystkim od jego cech konstrukcyjnych, lepkości oleju smarującego oraz prędkości obrotowej napędzania wału korbowego. Określenie analityczne jego wartości na podstawie analizy cech skojarzeń tribologicznych jest praktycznie niemożliwe.

Istnieją formuły empiryczne pozwalające na wyznaczenie jego przybliżonej wartości. Ich postać ogólna jest następująca:

$$M_o = kA v^a n^b \quad (2)$$

gdzie: k , a , b – parametry stałe, A – parametr uwzględniający wymiary powierzchni trących silnika, v – lepkość kinematyczna oleju, n – prędkość obrotowa wału korbowego.

W pracy [3] scharakteryzowano znane tego typu zależności literaturowe i podano współczynniki pozwalające na zwiększenie dokładności obliczeń dla współczesnych silników spalinowych.

Podstawowe znaczenie w proponowanej metodzie oceny stanu rozrusznika ma wyznaczenie jego rzeczywistej charakterystyki mocy oraz jej charakterystyki normowanej. Sposób ich określenia podano w pracy [4]. Przebieg charakterystyki mocy rozrusznika zbliżony do paraboli wskazuje na możliwość ich opisu za pomocą wielomianu drugiego stopnia w zależności od natężenia prądu. Przyjęto funkcję regresji postaci:

$$P = aI^2 + bI + c \quad (3)$$

gdzie: P – moc rozrusznika, [kW] lub [KM]; a , b , c – współczynniki funkcji regresji; I – natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik [A].

Stan techniczny silnika w aspekcie jego oporów rozruchu może być określony poprzez porównanie wartości momentu oporu wyznaczonego w wyniku przeprowadzonego eksperymentu (napędzania wału korbowego) oraz na podstawie wymienionych wyżej formuł analitycznych. Składowa zmienna natężenia prądu rozrusznika (momentu oporu) może stanowić przesłankę do wyznaczenia wartości ciśnienia sprężania powietrza w cylindrach silnika. Dla tego celu konieczne jest zbudowanie modelu rozruchu silnika umożliwiającego skorelowanie wartości ciśnienia i natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik. Opracowano wstępny model procesu sprężania powietrza w cylindrach silnika w warunkach rozruchu silnika spalinowego [5].

5. PODSUMOWANIE

Istotną cechą współczesnej eksploatacji maszyn jest stałe, systematyczne zwiększanie roli diagnostyki technicznej, szczególnie w zakresie stosowania pokładowych systemów diagnostycznych. Szerokie możliwości jej stosowania wynikają zarówno ze zmiany cech obiektów eksploatacji, w tym pojazdów mechanicznych oraz rozwoju metod i środków diagnostowania wykorzystujących techniki rejestracji i przetwarzania cyfrowego. W diagnostyce silników spalinowych niedostateczne jest wykorzystanie jako parametrów diagnostycznych cech procesów

roboczych i towarzyszących podczas ich rozruchu. Jako rozruchowe parametry diagnostyczne silnika mogą być traktowane: natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik, napięcie na zaciskach akumulatora lub rozrusznika oraz prędkość obrotowa wału korbowego wymuszana przez rozrusznik w fazie wstępnej rozruchu (lub bez podania paliwa do cylindrów silnika o zapłonie samoczynnym). Na podstawie wartości tych parametrów może być dokonywana ocena stanu akumulatora, rozrusznika, a przede wszystkim silnika, w aspekcie oceny czynników wpływających na jego moment oporu – lepkości oleju smarującego, ciśnienia sprężania ładunku powietrza i ogólnego zużycia zespołów.

Metoda diagnozowania może być opracowana na bazie empirycznych i modelowych zależności charakteryzujących właściwości elementów systemu rozruchu, wśród których podstawowe znaczenie ma wyznaczenie ciśnienia sprężania ładunku powietrza w cylindrze silnika i charakterystyk rozrusznika w rzeczywistych warunkach pracy. Zbiór charakterystyk rozrusznika elektrycznego wykazuje zależność przebiegu od właściwości źródła energii – akumulatora kwasowego. Skutkiem tego jest, że szczególnie charakterystyka mocy ma różny przebieg w zależności od temperatury akumulatora oraz jego obciążenia prądowego. W rzeczywistych warunkach rozruchu silnika spalinowego parametry charakterystyki mocy rozrusznika różnią się znacznie od jej parametrów nominalnych, podanych przez producenta.

LITERATURA

- [1] Holt. D.: Sensors and the automobile. Automotive Engineering, No 9, 1998
- [2] Piętał. A.: Problems of the diagnosis of diesel engines. II International Scientifically-Technical Conference Explo-Diesel And Gas Turbine '01, Międzyzdroje 2001
- [3] Dziubak T., Pszczółkowski J.: Rozruchowy moment oporu silników spalinowych. Biuletyn WAT Nr 8–9, Warszawa, 1999
- [4] Pszczółkowski J.: Metoda wyznaczania charakterystyki mocy rozrusznika elektrycznego. Biuletyn WAT Nr 9, Warszawa, 2001
- [5] J. Pszczółkowski: Termodynamiczne parametry obiegu silnika w warunkach rozruchu. VIII Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Rozruch silników spalinowych, SYMROZ 2002, Szczecin, 2002



Dr inż. Józef Pszczółkowski,
adiunkt w Instytucie
Pojazdów Mechanicznych
Wojskowej Akademii
Technicznej w Warszawie.