

ZASTOSOWANIE METODY SAMOHAMOWANIA I SAMONAPĘDZANIA DO OCENY STANU SILNIKÓW SPALINOWYCH MAŁYCH MOCY

Jerzy Langman

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy Kraków

Streszczenie. Stosowane powszechnie maszyny napędzane silnikami spalinowymi małych mocy wymagają częstych zabiegów regulacyjno-diagnostycznych. Dotychczas nie opracowano skutecznej metody diagnostycznej, za pomocą której można między innymi określić ich rzeczywistą moc. Zaproponowana metoda samohamowania i samonapędzania pozwala na określenie poprawności pracy nie tylko samego silnika, ale też sprzęgniętych z silnikiem organów roboczych.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, diagnostyka, samonapędzanie, samohamowanie

Wprowadzenie

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost liczby eksploatowanych małych maszyn napędzanych silnikami spalinowymi takich jak: wykaszarki, piły łańcuchowe, ogrodowe kosiarki rotacyjne, kosiarki listwowe, odśnieżarki, miniciągniki ogrodnicze itp. Wszystkie te maszyny posiadają jedną wspólną cechę – źródłem energii jest silnik spalinowy małej mocy (do ok. 3 kW) zarówno dwu jak i czterosuwowy. Intensywna eksploatacja tych maszyn powoduje konieczność częstego wykonywania czynności serwisowych takich jak wymiana olejów, regulacji, obsługa i przeglądów połączonych z konserwacją zwłaszcza posezonową oraz napraw. Podstawą wszystkich działań mających na celu utrzymanie w stanie sprawności i zdatności eksploatacyjnej urządzeń technicznych są badania diagnostyczne. Zasadniczo w stosunku do małych maszyn napędzanych silnikami małej mocy nie ma opracowanych skutecznych i tanich metod ich diagnozowania.

Analiza niesprawności małych maszyn

Przeprowadzone badania mające na celu określenie zbioru najczęściej występujących niesprawności pozwalają na stwierdzenie iż głównymi przyczynami nieprawidłowej pracy małych maszyn są stany awaryjne silników napędowych. Stany te spowodowane są zarówno zaniedbaniami użytkownika w zakresie obsługi jak też są konsekwencją nieprawidłowego stanu technicznego organów roboczych napędzanych bezpośrednio silnikiem spalino-

wym. Stany awaryjne silnika napędowego, powodujące zmniejszenie jego mocy o 20–30% powoduje zauważalne dla użytkownika zmniejszenie podstawowych parametrów eksploatacyjnych takich jak wydajność maszyny, zwiększone zużycie paliwa oraz zwiększoną emisją zanieczyszczeń zawartych w spalinach zwłaszcza silników dwusuwowych. Oprócz występowania stanów niesprawności maszyn spowodowanych stanami awaryjnymi poszczególnych modułów funkcjonalnych małych maszyn połączonych w strukturę szeregową z silnikiem napędzającym istnieje jeszcze inna przyczyna obniżenia wartości podstawowych parametrów eksploatacyjnych. Jest nią nieprawidłowa regulacja, zwłaszcza układu zasilania, silników spalinowych. Jest ona często przeprowadzana na wycucie, bez stosowania jakichkolwiek przyrządów diagnostycznych. Zasadniczo w pracach serwisowych używane są testery szczelności cylindrów oraz obrotomierze zarówno indukcyjne jak i rezonansowe.

Propozycja metody diagnostycznej małych maszyn

Celem poszukiwań była taka metoda diagnostyczna, która za pomocą najmniejszej liczby testów pozwalałaby zarówno na ocenę stanu technicznego całej maszyny (ewentualnie ocenę jakości przeprowadzonych regulacji), jak też na lokalizację powstałego uszkodzenia. Z całej grupy różnorodnych metod diagnostycznych na szczególne wyróżnienie zasługuje metoda znana w literaturze pod nazwą sanonapędzania i samohamowania silnika spalinowego. W wyborze jednej metody diagnostycznej skupiono się głównie na silniku spalinowym, gdyż reszta zespołów małych, jednofunkcyjnych maszyn jest z nim połączona za pośrednictwem krótkiego łańcucha poszczególnych par kinematycznych. Krótki łańcuch par kinematycznych, w którym występuje stan awaryjny, ma bezpośredni wpływ na jakość pracy silnika napędowego charakteryzującym się niską wartością mocy w porównaniu z mocą silników instalowanych w pojazdach trakcyjnych używanych w rolnictwie. Wyróżniona metoda samonapędzania i samohamowania jest metodą starą, opracowaną w latach 60-tych XX wieku, jednak nie była ona powszechnie stosowana z uwagi na trudności w realizacji sprzętowej całego toru pomiarowego. W chwili obecnej przy zastosowaniu techniki cyfrowej realizacja sprzętowa toru pomiarowego jest możliwa przy zaangażowaniu niewielkich środków finansowych. Metoda ta zasadza się na pomiarze prędkości kątowej ω i przyspieszenia kątowego ϵ wału korbowego silnika podczas jego przyspieszania pod wpływem gwałtownie zwiększonej dawki paliwa oraz podczas zmniejszania prędkości kątowej ω wału korbowego silnika od prędkości maksymalnej do zera na skutek wyłączenia zapłonu lub całkowitego odcięcia dawki paliwa. Metoda ta pozwala na ocenę ilościową mocy efektywnej silnika spalinowego jak też mocy strat zarówno wewnętrznych silnika jak też mocy traconej na pokonanie oporów pracy całego łańcucha kinematycznego dołączonego do silnika.

Podstawy teoretyczne metody

Zmiana prędkości kątowej ω wału korbowego silnika powoduje powstanie reakcyjnego momentu obrotowego M_I [Hebda i inni 1980]:

$$M_I = I_R \cdot \varepsilon$$

gdzie:

- I_R – zredukowany moment bezwładności elementów silnika będących w ruchu obrotowym i posuwisto – zwrotnym,
- ε – przyspieszenie kątowe wału korbowego.

W czasie eksploatacji silnika wartość zredukowanego momentu bezwładności nie ulega zmianie, wobec tego wartość reakcyjnego momentu obrotowego M_I będzie zależeć od wartości przyspieszenia kątowego wału korbowego silnika ε .

Efekt samohamowania silnika uzyskuje się w przypadku gdy gwałtownie zwiększymy dawkę paliwa w silniku pracującym na biegu jałowym, czyli wówczas $\varepsilon > 0$. Wytworzony podczas spalania paliwa moment M_d jest równoważony przez moment strat wewnętrznych silnika M_{st} i moment reakcyjny M_I . Ponieważ $M_d - M_{sw} = M_e$ wobec tego $M_I = M_e$, czyli wyznaczając wartość reakcyjnego momentu M_I określa się wartość momentu efektywnego M_e .

Samonapędzanie silnika wystąpi w przypadku gdy $\varepsilon < 0$, to znaczy gdy odetniemy dopływ paliwa lub wyłączymy zapłon w pracującym z maksymalną prędkością obrotową silniku. Reakcyjny moment M_I , będący czynnikiem napędzającym silnik, jest równoważony przez moment strat wewnętrznych M_{sw} . Wyznaczając wartość momentu reakcyjnego tym samym wyznaczamy wartość momentu strat wewnętrznych silnika spalinowego.

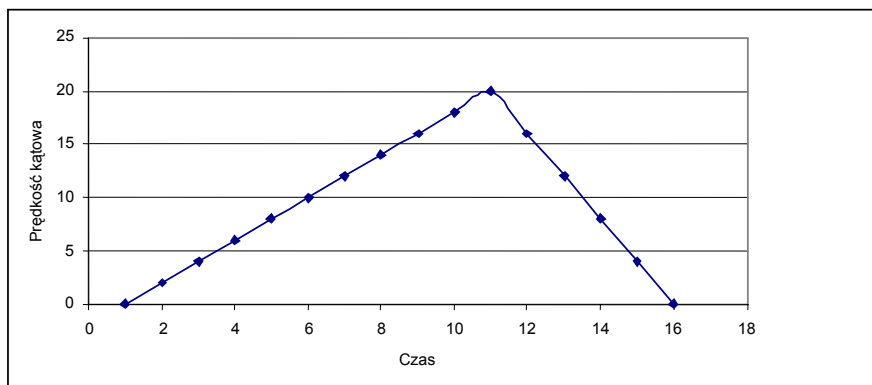
Wykreślając charakterystykę $\varepsilon = f(\omega)$ tym samym określamy zachowanie się silnika w fazach samohamowania i samonapędzania.

Wyniki badań

W Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki UR w Krakowie został zrealizowany tester diagnostyczny do określania mocy silnika jak również mocy strat. Został on zrealizowany w technice cyfrowej z wykorzystaniem mikrokontrolera serii AVR. Tester ten umożliwia zdjęcie charakterystyki $\omega = f(t)$, $\varepsilon = f(t)$ a następnie transmisję danych do komputera stacjonarnego celem graficznego przedstawienia powyższych charakterystyk.

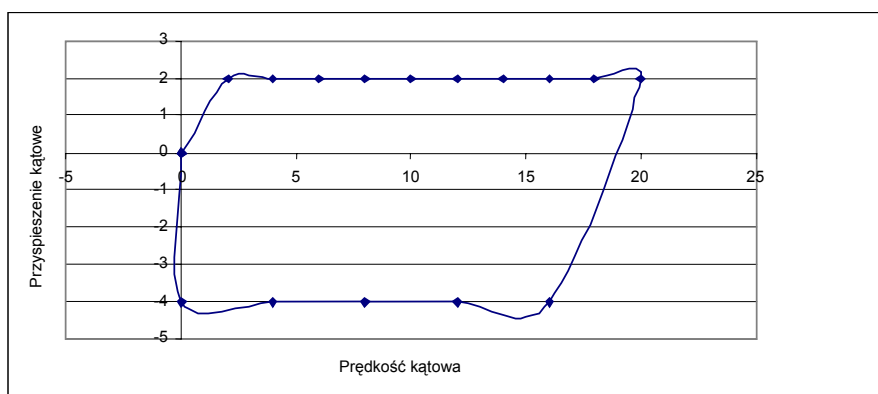
Na rys. 1 przedstawiono charakterystykę $\omega = f(t)$ dla całkowicie sprawnego silnika czterocylindrowego 1 cylindrowego połączonego sztywno z aparatem tnącym śmigłowym. Jak widać linie obrazujące wzrost prędkości kątowej wału korbowego jak i spadek prędkości kątowej są liniami prostymi. Można z tego wnioskować o prawidłowej pracy wszystkich układów silnika jak też o stałej wartości oporów wewnętrznych silnika. Opory sztywno połączonego aparatu tnącego są stałe.

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę $\varepsilon = f(\omega)$ opracowaną na podstawie charakterystyki $\omega = f(t)$ przedstawionej na rys. 1.



Rys. 1. Charakterystyka $\omega = f(t)$ podczas przyspieszania i hamowania silnika całkowicie sprawnego z dołączonym sztywno aparatem tnącym śmigłowym

Fig. 1. The $\omega = f(t)$ characteristic during acceleration and braking (testing) of a fully operational engine with rigidly connected airscrew cutting apparatus

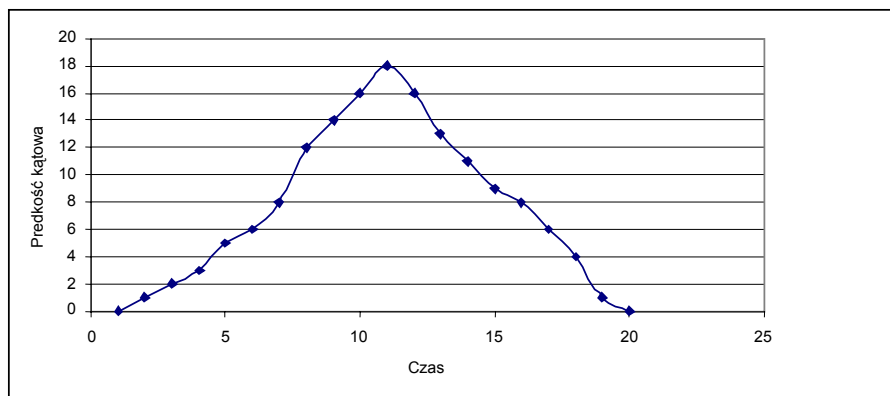


Rys. 2. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ opracowana na podstawie charakterystyki $\omega = f(t)$ z rys. 1

Fig. 2. The $\varepsilon = f(\omega)$ characteristic developed on the basis of the $\omega = f(t)$ characteristic from Fig. 1

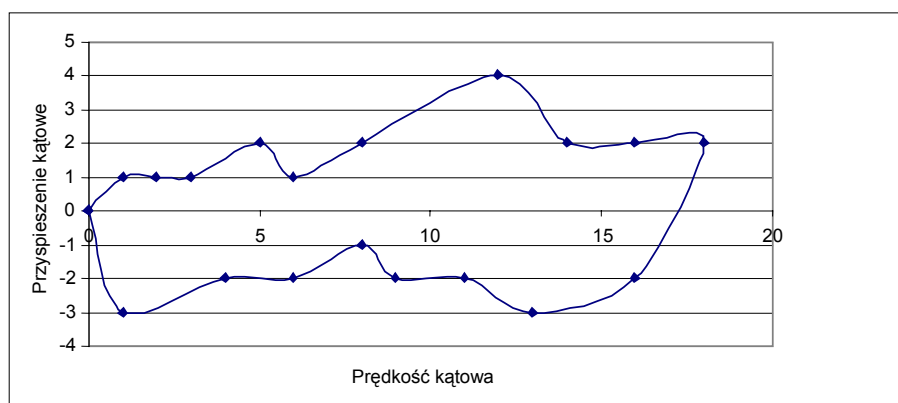
Jak widać przyspieszenie kątowe jak też opóźnienie kątowe wału korbowego silnika mają wartość stałą w całym zakresie zmian prędkości kątowej wału korbowego silnika spalinowego, co świadczy o jego poprawnej pracy.

Natomiast na rys. 3 i 5 przedstawiono charakterystyki $\omega = f(t)$ oraz na rys. 4 i 6 charakterystyki $\varepsilon = f(\omega)$ silników z występującymi usterkami w układzie zasilania i przekazania napędu na organy robocze maszyny.



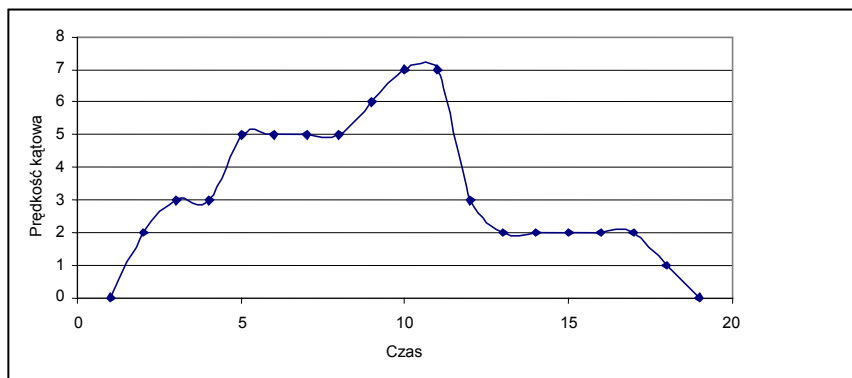
Rys. 3. Charakterystyka $\omega = f(t)$ silnika z usterkami układu zasilania oraz zwiększonymi oporami wewnętrznymi

Fig. 3. The $\omega = f(t)$ characteristic of an engine with supply system defects and increased internal resistance values



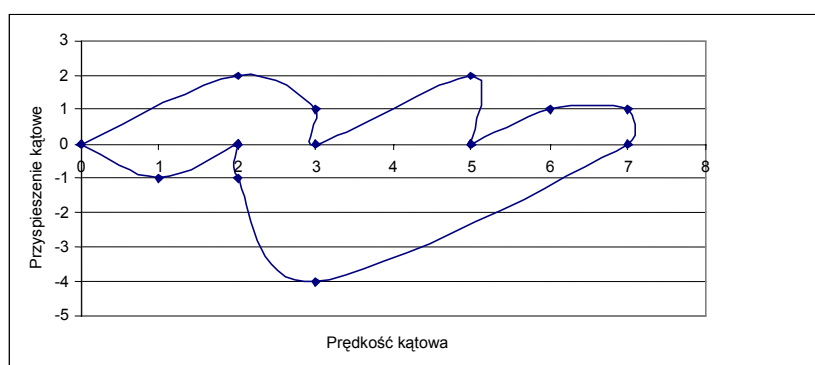
Rys. 4. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ silnika z usterkami układu zasilania oraz zwiększonymi oporami wewnętrznymi

Fig. 4. The $\varepsilon = f(\omega)$ characteristic of an engine with supply system defects and increased internal resistance values



Rys. 5. Charakterystyka $\omega = f(t)$ silnika niewłaściwą regulacją gaźnika oraz usterkami w układzie przeniesienia napędu na organy robocze maszyny

Fig. 5. The $\omega = f(t)$ characteristic of an engine with improper carburettor control and defects in transmission system to machine working units



Rys. 6. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ silnika niewłaściwą regulacją gaźnika oraz usterkami w układzie przeniesienia napędu na organy robocze maszyny

Fig. 6. The $\varepsilon = f(\omega)$ characteristic of an engine with improper carburettor control and defects in transmission system to machine working units

Analizując powyższe charakterystyki można zauważyć iż jakkolwiek usterki występujące w silniku lub w układzie przeniesienia napędu na organy robocze małej maszyny powodują zauważalną deformację przebiegu charakterystyki $\omega = f(t)$ oraz $\varepsilon = f(\omega)$, co może być podstawą do procesu diagnozowania obiektu. Górna (dodatnia) część charakterystyki $\varepsilon = f(\omega)$ jest kształtowana przez procesy zachodzące w silniku podczas wzrostu prędkości kątowej wału korbowego i może wskazywać na występujące usterki w układach zasilania, zapłonowym oraz korbowo-tłokowym, jak też na niewłaściwą regulację. Dolna część powyższej charakterystyki (część ujemna) wskazuje na zwiększone opory wewnętrzne

silnika jak też opory stawiane przez dołączone organy robocze spowodowane występującymi ich stanami awaryjnymi.

Wnioski

1. Z uwagi na małą moc silników napędzających małe maszyny jakiegokolwiek usterki czy niewłaściwa regulacja powodują zauważalną dla użytkownika zmianę podstawowych parametrów eksploatacyjnych.
2. Zaproponowana metoda samonapędzania i samohamowania jako metoda diagnozowania małych maszyn napędzanych silnikami spalinowymi wydaje się być prostą i skuteczną, gdyż polega na pomiarze zmian prędkości kątowej wału korbowego w czasie.
3. Charakterystyki $\varepsilon = f(\omega)$ odzwierciedlają zarówno stan techniczny silnika lub jakość jego regulacji oraz stan techniczny dołączonego do niego łańcucha kinematycznego organów roboczych maszyny.

Bibliografia

Hebda M., Niżyński S., Pelc H. 1980. Podstawy diagnostyki pojazdów samochodowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa. ISBN-83-206-0007-3.

EMPLOYING THE METHOD OF SELF-BRAKING AND SELF-PROPELLING TO ASSESS CONDITION OF LOW-POWER COMBUSTION ENGINES

Abstract. Universally used machines driven by low-power combustion engines require frequent adjustment and diagnostic operations. To date, no effective diagnostic method has been developed, which among other things would allow to determine their actual power. The proposed method of self-braking and self-propelling allows to determine correctness of operation not only for the engine itself, but also for working units coupled with the engine.

Key words: combustion engine, diagnostics, self-propelling, self-braking

Adres do korespondencji:

Jerzy Langman; e-mail: rlangma@cyf-kr.edu.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków