

Maciej MATUSZEWSKI, Jarosław MIKOŁAJCZYK,
Michał STYP-REKOWSKI

MODYFIKACJA CECH ŚRODKA SMARUJĄCEGO ZA POMOCĄ STANDARDOWYCH DODATKÓW SMAROWYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę dotyczącą możliwości modyfikowania środka smarującego – oleju bazowego SAE 30 – różnymi standardowymi dodatkami. Na podstawie danych literaturowych określono zakresy zmian możliwych do uzyskania w wyniku zastosowania wybranej grupy dodatków smarowych. Przeprowadzono wstępną analizę dotyczącą metodycznych możliwości optymalnego wyboru dodatków. Stwierdzono, że komputerowe wspomaganie tego doboru pozwala na szybsze i efektywniejsze ustalenie właściwego składu dodatku lub grupy dodatków smarowych.

Słowa kluczowe: środek smarujący, dodatek smarowy, modyfikacja cech smarowych

1. WPROWADZENIE

W większości ruchowych par kinematycznych (zarówno tocznych, jak i ślizgowych) występujące w nich tarcie powoduje zużywanie współpracujących elementów. Jest to proces niepożądany i dlatego dąży się do zmniejszenia jego intensywności. Jednym ze sposobów jest zastosowanie środków smarujących jako czynnika rozdzielnego (całkowicie lub częściowo) powierzchni współpracujących elementów.

W zależności od potrzeb, zdeterminowanych przede wszystkim warunkami, w jakich pary kinematyczne pracują, różnicuje się cechy stosowanych środków smarujących. W większości przypadków, aby uzyskać pożądany efekt, niezbędne jest zastosowanie dodatków modyfikujących własności i właściwości bazowych środków smarujących.

Celem badań była identyfikacja możliwości zmian warunków współpracy elementów pary kinematycznej dzięki zastosowaniu standardowych dodatków smarowych do oleju bazowego, a także określenie zakresu zmian jako efektu ich użycia. Przeprowadzono w tym celu porównanie wybranych parametrów najczęściej stosowanych do określania cech środków smarowych.

Jako obiekt analizy przyjęto zbiór dodatków utworzony na podstawie wykazu świadectw ochronnych udzielonych przez Urząd Patentowy RP polskim wynalazcom na opracowane przez nich wynalazki (patenty) [3].

Między składnikami mieszaniny oleju bazowego i dodatku występują różne interakcje, dlatego wybór właściwego składu mieszaniny jest zagadnieniem dosyć złożonym. Rozpatrzono więc wykorzystanie różnych metod pozwalających zoptymalizować wybór.

2. ZBIÓR ANALIZOWANYCH DODATKÓW

Analizę przeprowadzono na poniższym zbiorze dodatków smarowych [3]:

a) typu siarkowego:

- siarkowanych pochodnych kwasów tłuszczowych, w których siarkowaniu poddawano mieszaninę glicerydów kwasów tłuszczowych, zwłaszcza oleju rzepakowego lub sojowego i estrów metylowych kwasów tłuszczowych; nr patentu: 127 986 (w opisie zastrzeżono 4 odmiany tego dodatku),
- siarkowanych związków organicznych, którego istotą jest poddanie procesowi siarkowania za pomocą siarki elementarnej odpadowej frakcji tetramerowo-pentamerowej uzyskanej w procesie oligomeryzacji propylenu katalizatora dwusiarczku dwubenzylu; nr patentu: 134 603 (2 odmiany),
- siarkowanych związków organicznych, w którym procesowi siarkowania za pomocą siarki elementarnej poddano mieszaniny zawierające glicerydy kwasów tłuszczowych, zwłaszcza olej rzepakowy; nr patentu: 135 519 (3 odmiany);

b) na bazie soli amonowych kwasów dwualkilo-arylo-dwutiofosforowych; nr patentu: 139 033 (6 odmian);

c) na bazie pochodnych kwasów:

- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 143 152 (1 odmiana),
- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 143 153 (2 odmiany),
- tiofosfonowych; numer patentu: 143 867 (3 odmiany),
- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 145 933 (2 odmiany),
- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 145 934 (2 odmiany),
- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 145 935 (2 odmiany),
- dwualkilo-(arylo)-dwutiofosforowych; numer patentu: 145-936 (2 odmiany),

- tiofosfonowych; numer patentu: 146 075 (3 odmiany),
- fosfonowych; numer patentu: 148 847 (3 odmiany).

Z powyższego wykazu wynika, że analizowano zbiór 13 dodatków smarów występujących w 35 odmianach, różniących się modyfikowanymi cechami tribologicznymi i zmieniającymi w zróżnicowany sposób własności i właściwości mieszaniny, jakie tworzą z olejem bazowym. W prezentowanych badaniach był nim olej silnikowy o symbolu SAE 30.

3. RODZAJE I FUNKCJE ŚRODKÓW SMARUJĄCYCH

Wszelkie środki smarujące stosowane w szeroko pojętej budowie i eksploatacji maszyn dzielone są według różnych kryteriów. Najczęściej klasyfikuje się je jako kryterium przyjmując ich postać oraz pochodzenie.

Podział środków smarujących według postaci, w jakiej występują i są stosowane, obejmuje trzy podstawowe grupy:

- płynne (oleje),
- plastyczne (smary),
- stałe.

W praktyce najczęściej występują one w dwóch pierwszych stanach skupienia. Trzecia grupa jest rzadziej stosowana w czystej postaci ze względu na trudności z aplikacją.

Stosując kryterium pochodzenia, wszelkie środki smarujące dzieli się na:

- mineralne, mieszaniny węglowodorów stanowiących produkty przerobu ropy naftowej,
- syntetyczne, otrzymywane głównie przez polimeryzację węglowodorów nienasyconych, polikondensację związków krzemoorganicznych oraz estryfikację wyższych kwasów alifatycznych,
- biopochodne (roślinne i zwierzęce), najczęściej mieszaniny związków nienasyconych kwasów tłuszczowych.

W praktyce przemysłowej najczęściej stosuje się oleje lub smary pochodzenia mineralnego, a wynika to z ich cech eksploatacyjnych: własności fizycznych i charakterystycznych właściwości, a także z możliwości ich aplikacji.

Bezpośrednie działanie środków smarujących w parze ruchowej polega przede wszystkim na [7]:

- zmniejszeniu współczynnika tarcia, a tym samym zmniejszeniu intensywności zużywania ściernego,
- odprowadzaniu produktów zużycia ze strefy tarcia,
- odprowadzaniu ciepła,
- ochronie przed korozją,
- tłumieniu drgań.

Obecność środka smarującego w strefie współpracy elementów pary ciernej powoduje także skutki pośrednie, z których najistotniejsze to:

- zmniejszenie zużywanej energii,
- zwiększenie sprawności,
- zmniejszenie kosztów eksploatacji.

W grupie płynnych i plastycznych środków smarowych podstawową grupę tworzą smary mineralne uzyskane w wyniku rafinacji ropy naftowej. Rozwój technologii chemicznej, a także wyczerpywanie się zasobów naturalnych powoduje, że mineralne środki smarujące wypierane są przez środki syntetyczne, a ostatnio także pochodzenia roślinnego. Mimo dużej różnorodności podstawowych środków smarujących ich własności i właściwości w stanie czystym (bez dodatków) nie zawsze są wystarczające, dlatego też aby poprawić określoną cechę lub grupę cech, stosuje się dodatki smarowe, których działanie można sprowadzić do funkcji:

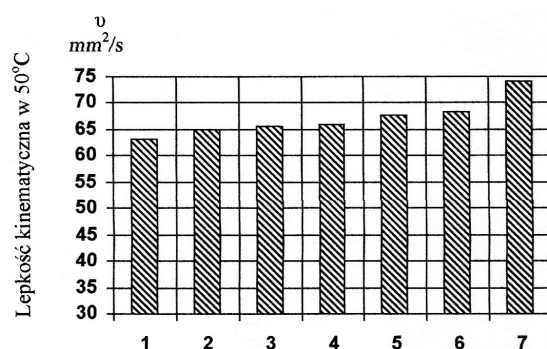
- zmieniającej lepkość i tarcie wewnętrzne,
- przeciwdziałających utlenianiu,
- zmniejszającej szybkość procesu korozji,
- przeciwdziałających zatarciu.

Analizując cechy poszczególnych dodatków stwierdzić można, że większość z nich ma zdolności modyfikowania więcej niż jednej wielkości fizycznej charakterystycznej dla olejów i smarów [8]. Aby więc dokonać wyboru najlepszego dodatku smarowego, niezbędna jest znajomość tych cech i zakresu, w jakich określone wielkości można zmieniać. Poniżej podano więc wybrane cechy olejów, które można modyfikować za pomocą dodatków smarowych, a także zakres, w jakim modyfikacja jest możliwa.

4. MOŻLIWOŚCI MODYFIKACJI ODDZIAŁYWANIA TRIBOLOGICZNEGO ŚRODKA SMARUJĄCEGO

W analizowanym, przedstawionym wyżej zbiorze 35 odmian dodatków tylko 6 zwiększa lepkość kinematyczną. Z grupy tej wyraźnie wyróżnia się dodatek chroniony patentem o numerze 127 986 (odmiana 1), który w największym stopniu zwiększa lepkość – do wartości ok. $74 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, a więc o ok. 17,5% w stosunku do oleju bazowego. Zwiększenie lepkości zmniejsza możliwości penetracyjne oleju, jednakże zwiększa jego przyczepność do współpracujących elementów maszyn. Z tego powodu stosowanie tego rodzaju dodatków jest wskazane tam, gdzie występuje smarowanie minimalne – nie ma brodzenia elementu w oleju.

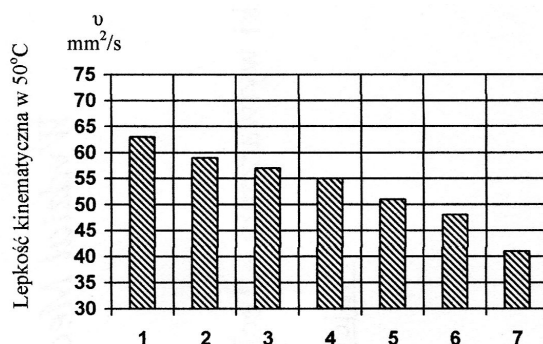
Gdy istnieje potrzeba smarowania z większą intensywnością, celowe jest zastosowanie dodatków zmniejszających lepkość kinematyczną oleju. Takich zastosowań jest na ogół więcej, o czym może świadczyć także większa liczba dodatków o takim działaniu (rys. 1).



Rys. 1. Możliwości zwiększenia lepkości kinematycznej oleju jako wynik zastosowania dodatków smarowych, odpowiednio wg patentów: 1 – olej bazowy, 2 – nr 135 519/2, 3 – nr 127 986/2, 4 – nr 135 519/1, 5 – nr 135 519/3, 6 – nr 127 986/4, 7 – nr 127 986/1

Fig. 1. Possibilities of oil kinematic viscosity increasing by means of lubricant additives in accordance with standards: 1 – basic oil, 2 – No. 135 519/2, 3 – No. 127 986/2, 4 – No. 135 519/1, 5 – No. 135 519/3, 6 – No. 127 986/4, 7 – No. 127 986/1

Na kolejnym wykresie (rys. 2) przedstawiono zestawienie wybranych dodatków smarnych, których 5% dodatek do oleju bazowego SAE 30 powoduje zmniejszenie lepkości kinematycznej mieszaniny.



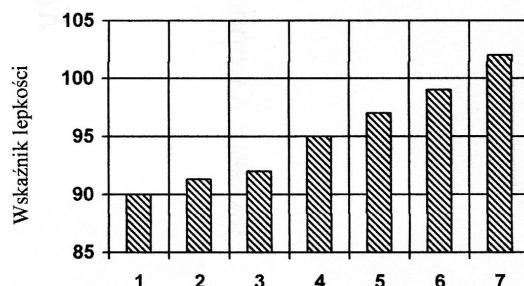
Rys. 2. Możliwości zmniejszenia lepkości kinematycznej oleju jako wynik zastosowania wybranych dodatków smarnych, odpowiednio wg patentów: 1 – olej bazowy, 2 – nr 145 935/1, 3 – nr 146 075/3, 4 – nr 143 867/1, 5 – nr 143 153/1, 6 – nr 139 033/3, 7 – nr 143 153/2

Fig. 2. Possibilities of oil kinematic viscosity decreasing by means of lubricant additives in accordance with standards: 1 – basic oil, 2 – No. 145 935/1, 3 – No. 146 075/3, 4 – No. 143 867/1, 5 – No. 143 153/1, 6 – No. 139 033/3, 7 – No. 143 153/2

Dodatek mający największy wpływ na zmniejszenie lepkości kinematycznej jest opisany w patencie o numerze 143 153/2. Zmniejsza on lepkość mieszaniny oleju bazowego z dodatkiem od ok. $63 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (dla samego oleju) do ok. $40 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli ok. 33%. Pozostałe analizowane dodatki miały w tym zakresie mniejsze zdolności.

Na rysunku 3 przedstawiono możliwość zwiększenia wskaźnika lepkości za pomocą dodatków smarowych. Wskaźnik lepkości jest wielkością będącą miarą zmian lepkości wraz ze zmianą temperatury. Im większa wartość tego

wskaźnika, tym mniejsza zmiana lepkości wraz ze zmianą temperatury. Uwzględniając duży zakres temperatur, w jakich pracują oleje silnikowe (od ujemnych podczas rozruchu silnika zimą do temperatur rzędu 220÷230°C), wskazane jest, aby charakteryzowały się one możliwie dużą wartością tego wskaźnika, co można osiągnąć stosując odpowiednie dodatki.



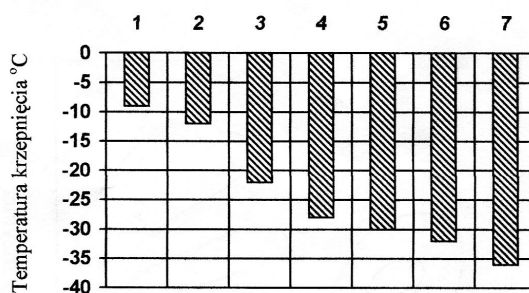
Rys. 3. Możliwości zwiększenia wskaźnika lepkości oleju w rezultacie zastosowania wybranych dodatków smarowych, odpowiednio wg patentów: 1 – olej bazowy, 2 – nr 139 033/1a, 3 – nr 139 033/4, 4 – nr 127 986/3, 5 – nr 127 986/4, 6 – nr 135 519/3, 7 – nr 135 519/1

Fig. 3. Possibilities of oil kinematic viscosity increasing by means of lubricant additives in accordance with standards: 1 – basic oil, 2 – No. 139 033/1a, 3 – No. 139 033/4, 4 – No. 127 986/3, 5 – No. 127 986/4, 6 – No. 135 519/3, 7 – No. 135 519/1

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 3 można stwierdzić, że analizowane dodatki umożliwiają zwiększenie wskaźnika od wartości 90 dla oleju bazowego do 102 w przypadku użycia dodatku, którego skład zastrzeżono w patencie o numerze 135 519/1. Możliwości zwiększenia wartości współczynnika nie są zatem duże, gdyż wynoszą jedynie ok. 13%.

Kolejny wykres (rys. 4) to zestawienie depresujących dodatków smarowych, czyli dodatków obniżających temperaturę krzepnięcia olejów. W polskich warunkach geograficznych jako bezpieczną wartość można przyjąć temperaturę -20°C, jaką zabezpieczają prawie wszystkie analizowane dodatki.

Na przedstawionych histogramach zaprezentowane są tylko cechy wybranych dodatków. Cechy pozostałych mieszczą się jednak w podanych na rysunkach zakresach.



Rys. 4. Możliwości zmiany temperatury krzepnięcia oleju w wyniku zastosowania wybranych dodatków smarowych, odpowiednio wg patentów: 1 – olej bazowy, 2 – nr 134 603/2, 3 – nr 135 519/3, 4 – nr 127 986/3, 5 – nr 127 986/2, 6 – nr 127 986/1, 7 – nr 135 519/1

Fig. 4. Possibilities of freezing temperature change in result of lubricant additives application in accordance with standards: 1 – basic oil 2 – No. 134 603/2, 3 – No. 135 519/3, 4 – No. 127 986/3, 5 – No. 127 986/2, 6 – No. 127 986/1, 7 – No. 135 519/1

5. SPOSOBY OPTIMALIZACJI DOBORU DODATKÓW SMAROWYCH

Zamieszczona powyżej analiza wykazała, że dobór dodatku smarowego jest zagadnieniem złożonym – każdy dodatek zmienia bowiem w różnym stopniu cechy utworzonej mieszaniny. Dodatki oddziałują także na siebie. Optymalny dobór dodatku również będzie złożony, gdyż powinny być uwzględnione wymienione wyżej przyczyny, co powoduje, że optymalizacja powinna być wielokryterialna. Poza tym istotne jest, aby wybrać właściwy wariant algorytmu i narzędzia poszukiwania rozwiązania optymalnego, możliwie bliskiego rozwiązaniu optymalnemu, także jeżeli będzie to optimum względne.

Jedną z metod możliwą do wykorzystania są sztuczne sieci neuronowe. Są one przydatne przede wszystkim w sterowaniu obiektami, lecz coraz częściej znajdują zastosowanie także w optymalizacji cech konstrukcyjnych – smar stanowi bowiem jedną z materiałowych cech konstrukcyjnych [4]. Jest to więc przykład zastosowania metod z grupy CAD w doborze cech konstrukcyjnych. Dzięki wykorzystaniu w tych działaniach komputera istnieje możliwość zrealizowania ich w krótkim czasie, uwzględniając w nich wiele czynników. Algorytm z wykorzystaniem sieci pozwala znaleźć rozwiązanie optymalne w sensie Pareto zarówno dla maksimum, jak i minimum funkcji ciągłych i nieciągłych, nawet wówczas, gdy nie jest znany ich model matematyczny [1]. Aby zwiększyć skuteczność wykorzystania sieci neuronowych w zagadnieniach optymalizacyjnych, opracowuje się metody hybrydowe, bazujące jednak na sieciach [9].

Od szeregu lat obserwuje się zwiększone zainteresowanie programami optymalizacyjnymi wykorzystującymi algorytmy genetyczne. Wynika to przede wszystkim z szybkiego rozwoju komputeryzacji, bez którego realizacja tych metod byłaby praktycznie niemożliwa. Przyczyną rosnącej liczby aplikacji algorytmów tego typu jest ich prostota oraz skuteczność poszukiwania rozwiązania. Nie wymagają one przy tym spełnienia ograniczeń, takich jak:

- ciągłość funkcji celu,
- istnienie jej pochodnych,
- jednomodalność funkcji celu,

wymaganych w tradycyjnych metodach analitycznych.

Metoda polega na śledzeniu skutków losowych zestawień cech charakteryzujących badany obiekt. Istotną cechą metody jest fakt, że sposób generowania obiektów, kodowania i wymiany parametrów czy też warunki zakończenia algorytmu mają istotny wpływ na wyniki działań optymalizujących [5], co można uznać za jej cechę ujemną.

Na podstawie porównania tej metody z tradycyjnymi metodami analitycznymi, przedstawionego w pracy [6], wynika, że stosowanie tradycyjnych metod optymalizacji może być ograniczone z powodu wyznaczania za ich pomocą optimum lokalnego, a nie globalnego. Metody wykorzystujące algorytm genetyczny, charakteryzujące się większą pracochołnością w porównaniu z metodami tradycyjnymi, zapewniają natomiast większe prawdopodobieństwo wyznaczenia ekstremum globalnego.

Minimalizacja wyżej wymienionej, negatywnej cechy metod wykorzystujących algorytmy genetyczne jest możliwa dzięki zastosowaniu metod hybrydowych. Metoda taka stanowi połączenie dwóch (rzadziej większej liczby) metod, wykorzystując w niej jedynie wybrane, przydatne cechy metod składowych, np. metoda z wykorzystaniem algorytmu genetyczno-neuronowego może być z powodzeniem stosowana do rozwiązywania zagadnień optymalizacji, dla których znane są optymalizujące sieci neuronowe [2]. Kryteria takie są spełnione m.in. w przypadku analizowanego oddziaływania dodatków smarowych na olej, a także nawzajem na siebie.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozważania wykazały, że w rezultacie stosowania dodatków smarowych istnieją możliwości modyfikowania wielu cech tribologicznych mieszaniny oleju bazowego i dodatków, lecz jedynie w ograniczonym zakresie.

Dobór najlepszego wariantu mieszaniny jest czynnością złożoną ze względu na interakcje zachodzące między samymi dodatkami, dlatego też bardzo istotny jest wybór metody optymalizacji tego zagadnienia.

Podsumowując tę część rozważań, do rozwiązania problemu doboru składu dodatków smarowych, przy kryterium wykorzystania maksimum zdolności modyfikujących poszczególnych ich przedstawicieli, proponuje się rozpatrzyć możliwość zastosowania algorytmów genetycznych. Uzyskany w ten sposób zbiór wartości opisujących ekstremum lokalne może także być uznany jako rozwiązanie przydatne w praktyce – jedna z istotniejszych cech negatywnych tej metody w analizowanym problemie traci więc na znaczeniu. Metody hybrydowe, jako bardziej pracochołne, wydają się mniej przydatne w rozwiązywaniu opisywanego zagadnienia optymalizacyjnego – zależy to jednak od wagi rozwiązywanego problemu.

LITERATURA

- [1] BALICKI J.: Neuronowe metody wyznaczania rozwiązań optymalnych w sensie Pareto. Zeszyt Naukowy Wydziału Mechanicznego nr 19, Wydawnictwo WSI, Koszalin 1995, 17-24.
- [2] BALICKI J., ŻAK B.: Algorytm genetyczno-neuronowy w optymalizacji leksykograficznej przydziałów operacji do procesorów. Materiały XIV Ogólnopolskiej konferencji „*Poliptymalizacja i CAD*”. Zeszyt Naukowy Wydziału Mechanicznego nr 20, Wydawnictwo WSI, Koszalin 1996, 17-24.
- [3] Biuletyn Urzędu Patentowego RP, roczniki 2006÷2010.
- [4] DIETRICH J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
- [5] PAWŁOWSKI J.: Program optymalizacji oparty na algorytmach genetycznych. Zeszyt Naukowy Wydziału Mechanicznego nr 20, Wydawnictwo WSI, Koszalin 1996, 239-248.
- [6] RUTCZYŃSKA-WDOWIAK K.: Porównanie algorytmu genetycznego i klasycznej metody optymalizacji statycznej w problemie poszukiwania minimum funkcji wielu zmiennych. W: W. Tarnowski (red.), *Poliptymalizacja i komputerowe wspomaganie projektowania*. WNT, Warszawa 2002, 225-232.
- [7] STYP-REKOWSKI M.: Zagadnienia tribologiczne w budowie obrabiarek skrawających. Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 2004.
- [8] STYP-REKOWSKI M., OZIMINA D., MADEJ M.: Antiwear Additives as Retarding Agents of Elements with Ceramic Coatings Wear. *Industrial Lubrication and Tribology* vol. 62, No. 5, 2010, 275-278.
- [9] SUN. K.T., FU H.C.: A Hybrid Neural Model for Optimization Problems. *IEEE Trans. on Computers*, vol. 42, No. 2, 1993, 219-227.

MODIFICATION OF LUBRICANTS FEATURES BY MEANS OF STANDARD ADDITIVES

Summary: In this paper analysis concerning modification possibilities of some features of base oil (SAE 30) by means of some standard lubricant additives is presented. On the base of literature studies there are determined the range of possible changes as a result of some group of additives application. Initial analysis refer to methodical possibilities of optimal choice of additives are presented too. It seems that computer aided choice enable faster and more effective determination the best composition of individual or group of lubricant additives but in limited range.

Key words: lubricant, lubricant additive, modification of lubricating features