

jednostka napędowa Fiat 1.3 JTD 16V MULTIJET, której szczegółowe dane techniczne zestawiono w publikacji [4]. Pomiarów dokonano przy następujących prędkościach obrotowych (węzłach głównych) n [obr/min]: $x_0=1400$, $x_1=1800$, $x_3=2200$, $x_4=2600$, $x_5=3000$, $x_6=3400$. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia charakterystyk zewnętrznych momentu obrotowego $T_{iq}=f(n)$ i mocy efektywnej $P_e=f(n)$, zgodnie z wytycznymi normy PN-ISO 15550:2009 [5].

Przeprowadzenie obliczeń możliwe było po przyjęciu argumentów pośrednich: $\{x=1600, 2000, 2400, 2800, 3200\}$. Przykładowo dla pierwszego z nich macierz trójkątną Aitkена przedstawiono w tabeli 1. Taka forma prezentacji danych była wygodniejsza przy działaniach realizowanych w programach komputerowych. Wartość poszukiwana (końcowa) wielomianu interpolacyjnego wyniosła w tym przypadku $W_{1,2,3,4,5}(x)=0,125$.

Tab. 1. Wyznaczenie wartości wielomianu interpolacyjnego dla argumentu $x=1600$ (T_{iq})

x_i	y_i	$W_{0,i}(x)$	$W_{0,1,i}(x)$	$W_{0,1,2,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,4,5}(x)$
1400	0,096					
1800	0,133	0,115				
2200	0,131	0,105	0,120			
2600	0,131	0,102	0,118	0,122		
3000	0,128	0,100	0,117	0,121	0,124	
3400	0,121	0,099	0,117	0,121	0,123	0,125

Poprawność formuł w arkuszu kalkulacyjnym można łatwo sprawdzić, podstawiając wartość argumentu w dowolnym punkcie pomiarowym. Przykładowo dla $x=x_0=1400$ końcowy człon macierzy musi się równać y_5 (tabela 2).

Tab.2. Sprawdzenie wartości wielomianu interpolacyjnego dla argumentu $x=1400$ (T_{iq})

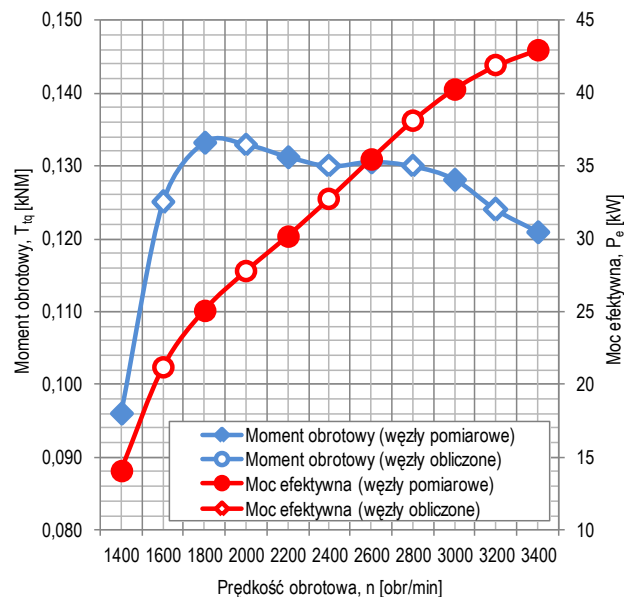
x_i	y_i	$W_{0,i}(x)$	$W_{0,1,i}(x)$	$W_{0,1,2,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,4,5}(x)$
1400	0,096					
1800	0,133	0,282				
2200	0,131	0,184	-0,110			
2600	0,131	0,154	0,025	0,295		
3000	0,128	0,136	0,088	0,186	0,078	
3400	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121

W analogiczny sposób przeprowadzono obliczenia dla charakterystyk mocy użytecznej $P_e=f(n)$. Ich graficzną interpretację przedstawiono na rysunku 1. W celu odróżnienia węzły główne całkowicie pokryto kolorem, a punkty pośrednie pozostawiono bez wypełnienia.

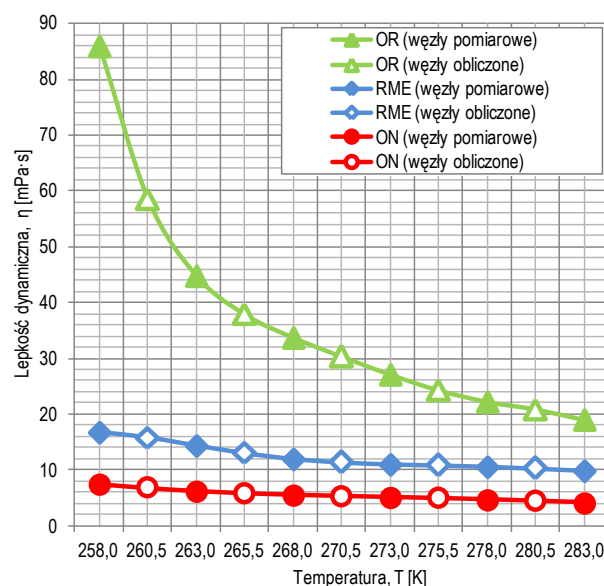
W procesie długotrwałych i uciążliwych badań na hamowni silnikowej uzyskuje się zazwyczaj wiele charakterystyk, np. przy zmianie parametrów dolotowych, korekcji nastaw regulacyjnych, zasilaniu różnymi paliwami, itp. Zastosowanie proponowanej metody nie tylko zmniejsza liczbę prowadzonych pomiarów, znacznie skracając czas całego procesu, ale również ogranicza koszty ponoszone na materiały pędne i eksploatacyjne. Ponadto można ją bez problemu zaadoptować dla innych jednostek napędowych w badaniach o zbliżonym profilu, przy wymaganej jakości oferowanego przybliżenia [6].

Kolejnym przykładem zastosowania proponowanej metodyki były charakterystyki lepkości dynamicznej (rysunek 2). Sporządzono je dla trzech rodzajów paliw: oleju napędowego (η_{ON}), oleju rzepakowego (η_{OR}) oraz estru metylowego oleju rzepakowego (η_{RME}). Wykorzystano do tego celu wiskozymetr

rotacyjny Rheotest 2, którego pojemnik probierczy połączono z termostatem cieczowym.



Rys. 1. Charakterystyki zewnętrzne silnika Fiat 1.3 JTD 16V MULTIJET: $T_{iq}=f(n)$, $P_e=f(n)$



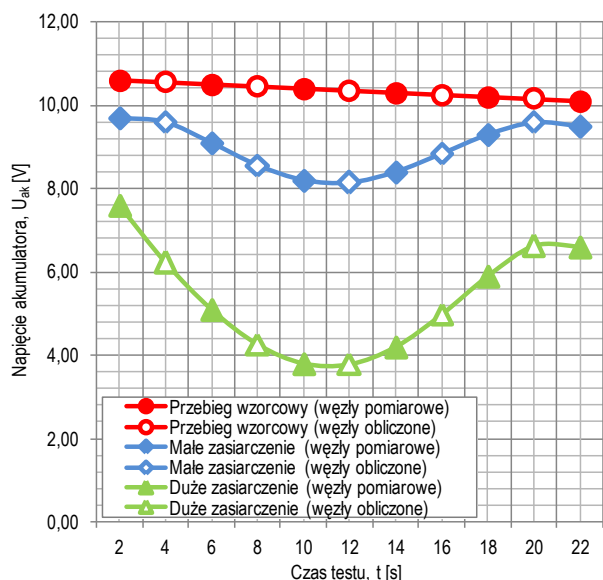
Rys. 2. Charakterystyki lepkości dynamicznej badanych paliw: $\eta_{ON}=f(T)$, $\eta_{OR}=f(T)$, $\eta_{RME}=f(T)$

Z uwagi na czasochłonność uzyskania i utrzymania poszczególnych temperatur, zdecydowano się ograniczyć liczbę punktów pomiarowych do sześciu: $x_0=258$, $x_1=263$, $x_3=265$, $x_4=273$, $x_5=278$ oraz $x_6=283$. Podobnie jak w przypadku charakterystyk silnika, wyznaczono schematy Aitkена dla wszystkich punktów pośrednich. Przykład jednego z nich, sporządzonego w celu wykreślenia krzywej oleju rzepakowego, pokazano w tabeli 3. Alogiczne wygenerować można wykresy pozostałych parametrów reologicznych, w tym lepkości kinematycznej, gęstości, płynięcia, itp.

Tab. 3. Wyznaczenie wartości wielomianu interpolacyjnego dla argumentu $x=280,5$ (η_{OR})

x_i	y_i	$W_{0,i}(x)$	$W_{0,1,i}(x)$	$W_{0,1,2,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,4,5}(x)$
258	86,01					
263	44,83	-99,30				
268	33,75	-31,58	137,74			
273	27,15	-2,28	70,49	-30,39		
278	22,28	14,31	33,25	7,13	25,89	
283	19,04	25,74	10,11	31,38	15,94	20,91

Metodę Aitkena wykorzystano również do sprawdzenia akumulatora samochodowego pod obciążeniem. Procedura ta pozwala określić jego zdolność do uruchomienia silnika. Przy bezproblemowym działaniu napięcie na zaciskach biegunowych powinno mieć względnie stałą wartość w czasie trwania badania. Gwałtowny spadek tego parametru może świadczyć o nieprawidłowościach, np. opadzie masy czynnej, zasiarczeniu, zwarcia w celach.



Rys. 3. Charakterystyki akumulatorów rozruchowych o różnym stanie zasiarczenia

Oprogramowanie profesjonalnych testerów oferuje zwykle odrębny tryb pracy, w którym zakres czasowy oraz częstotliwość próby są ogólnie założone, co ma ułatwić jej bezpieczne przeprowadzenie. Podobny pomiar można jednak przeprowadzić przy wykorzystaniu tańszych urządzeń, mając bezpośredni wpływ na zadane parametry (zakres obciążenia, liczbę punktów pomiarowych, czas trwania testu).

Tab. 4. Wyznaczenie wartości wielomianu interpolacyjnego dla argumentu $x=12$ (U_{DZ})

x_i	y_i	$W_{0,i}(x)$	$W_{0,1,i}(x)$	$W_{0,1,2,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,i}(x)$	$W_{0,1,2,3,4,5}(x)$
2	7,60					
6	5,10	1,35				
10	3,80	2,85	3,60			
14	4,20	4,77	3,91	3,76		
18	5,90	6,54	3,94	3,69	3,79	
22	6,60	7,10	3,51	3,58	3,80	3,78

Rysunek 3 obrazuje przykładowe charakterystyki trzech 12V akumulatorów: wzorcową (U_{WZ}), małego zasiarczenia (U_{MZ}) oraz dużego zasiarczenia (U_{DZ}). Do obliczenia punktów pośrednich posłużyły macierze trójkątne, co pokazano na przykładzie (tabela 4).

Wnioski

Proponowana metodyka znalazła swoje praktyczne zastosowanie w badaniach laboratoryjnych. Należy jednak podkreślić, iż interpolacja wielomianami narzuca pewne ograniczenia, które trzeba uwzględnić na etapie planowania eksperymentu. Istnieje bowiem konieczność zachowania równych odstępów między wybranymi punktami pomiarowymi. Ponadto dodawanie kolejnych węzłów może prowadzić do wystąpienia niepożądanych zakłóceń (oscylacji) na końcach przedziału dyskretnego i tym samym zafalszowania wyników doświadczenia. W takim przypadku lepsze rezultaty przynosi interpolacja przedziałowa, wykorzystująca funkcje sklepane.

Bibliografia

1. Billo E J.: *Excel® for Scientists and Engineers. Numerical Methods*. Wiley-Interscience. John Wiley & Sons. Inc. New Jersey (2007).
2. Fausett L V.: *Applied numerical analysis using Matlab®*. Pearson Education. Inc. Upper Saddle River. New Jersey (2008).
3. Fortuna Z, Macukow B, Wąsowski J.: *Metody numeryczne*. WNT. Warszawa (2009).
4. Gołębiowski W, Stoeck T.: *Relationships between Common Rail accumulator and vehicle traction properties*. TEKA - Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. vol. 13. no 1. Lublin-Rzeszów (2013).
5. PN-ISO 15550: *Silniki spalinowe tłokowe. Określanie i metoda pomiaru mocy silnika. Wymagania ogólne*. Wydawnictwo Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, Warszawa (2009).
6. Stoeck T, Abramek K F.: *Application of the polynomial interpolation method for determining performance characteristics of a diesel engine*. Metrology and Measurement Systems. Polish Academy of Sciences. Committee on Metrology and Scientific Instrumentation. vol. XXI. no. 1. Warszawa (2014).

Make good use of Aitkens diagram in laboratory researches

Abstract

Article describes calculation procedure basing on interpolation Aitkens method, which has been used by determining two-dimensional characteristics (2D). Main aim was limitation measure points and analytical assessment remaining dates. Measure allowed to shorten experiment time by reduction exploitation costs.

Key words: interpolation, laboratory researches, two-dimensional characteristics.

Autorzy:

Dr inż. **Tomasz Stoeck** - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Dr inż. **Tomasz Osipowicz** - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie