

Stanisław Polanowski

WYGLĄDZANIE WYKRESÓW INDIKATOROWYCH RUCHOMYMI OBIEKTAMI APROKSYMUJĄCYMI Z WIĘZAMI ŁAMANymi

STRESZCZENIE

W pracy zdefiniowano pojęcie więzów (więzi) łamanych. Na przykładzie wygładzania zakłócenia impulsowego i aproksymacji funkcji progowej porównano właściwości wygładzające wielomianowych obiektów aproksymujących z więzami łamanymi i klasycznych ruchomych obiektów wielomianowych zwanych filtrami Savitzky'ego – Golaya. Na przykładach pokazano wpływ powtórzeń (przejsć) na stopień wygładzenia i deformację aproksymowanych przebiegów. Pokazano, że wprowadzenie więzi łamanych do wielomianu danego stopnia tworzy obiekt o właściwościach aproksymujących pośrednich pomiędzy właściwościami wielomianów bez więzów stopnia niższego i wyższego. Następnie właściwości obiektów aproksymujących porównano na przykładzie aproksymacji rzeczywistego wykresu indykatorowego. W tym przypadku najkorzystniejsze wyniki wygładzania uzyskano, stosując obiekt aproksymujący na bazie wielomianu łamanego 3. stopnia. Oceniono wpływ uzyskanej jakości wygładzenia wykresu indykatorowego na przebiegi pochodnych pierwszego i drugiego rzędu oraz intensywność wydzielania ciepła i ciepła wydzielonego.

RUCHOMA WIELOKROTNA APROKSYMACJA SZEREGU POMIAROWEGO

Istotą ruchomej aproksymacji jest wyznaczanie w każdym punkcie j szeregu pomiarowego wartości aproksymowanej dla przedziału aproksymacji o zadanej szerokości. Ruchomy punkt aproksymacji j nazywany jest także punktem kontrolnym.

Jeżeli w charakterze kryterium aproksymacji przyjąć minimum sumy kwadratów odchyleń, to dla p -tego powtórzenia aproksymacji kryterium to można zapisać następująco:

$$MIN(S_{pj}) = MIN \left[\sum_{i=j-k_{lp}}^{i=j-k_{rp}} (\hat{y}_{(p-1)i} - \hat{y}_{pi})^2 \right], \quad (1)$$

gdzie: MIN – operator minimum;
 S_{pj} – suma kwadratów odchyłeń dla kroku aproksymacji p ;
 \hat{y}_p – wartości uzyskane z aproksymacji w kroku p ;
 $\hat{y}_{0i} = \tilde{y}_i$ – wartości pomierzone;
 k_{lp}, k_{rp} – lewy i prawy koniec przedziału aproksymacji dla kroku p .

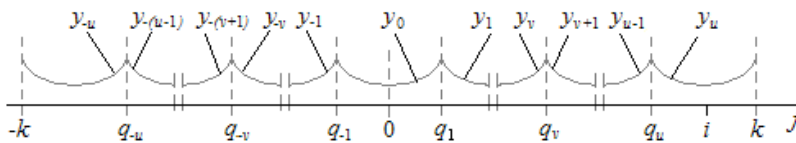
Jeżeli modele przebiegów nie są znane, to są one najczęściej aproksymowane za pomocą wielomianów potęgowych lub trygonometrycznych.

Najprostszym przykładem ruchomej aproksymacji jest ruchoma średnia. Jest ona średniokwadratową aproksymacją wielomianem potęgowym stopnia zerowego i także wielomianem potęgowym pierwszego stopnia, jeżeli punkt aproksymacji leży w centrum przedziału aproksymacji.

Jako pierwsi algorytmy ruchomej aproksymacji wielomianami potęgowymi przedstawili Savitzky i Golay [5]. Filtry wielomianowe Savitzky'ego – Golaya są dostępne w wielu znanych pakietach programów przeznaczonych do obróbki danych. W pracy zastosowano aproksymację ruchomymi wielomianami bez więzów z wykorzystaniem własnego opracowania algorytmów [3, 4].

OBIEKTY APROKSYMUJĄCE NA BAZIE FUNKCJI ŁAMANYCH

Pożądaną jakość aproksymacji można niekiedy uzyskać, modyfikując funkcje aproksymujące przez narzucenie więzi innych niż równość na wartości pochodnych funkcji lewostronnych i prawostronnych w punktach q_v (rys. 1.) obiektu aproksymującego zwanych węzłami [1, 2].



Rys. 1. Schemat centralnego obiektu aproksymującego bez więzów w punkcie kontrolnym $i = 0$:

$y_v [v = -u (1) u]$ – funkcje aproksymujące; $q_v [v = -u (1) u, u \neq 0]$ – węzły

Przyjęto, że obiekt aproksymujący jest centralny, jeżeli punkt kontrolny znajduje się w punkcie centralnym (środkowym) obiektu aproksymującego. Obiekt aproksymujący jest symetryczny, jeżeli zachodzi symetria węzłów, więzów i rodzaju funkcji oraz ich współczynników względem centrum obiektu.

Dla wygody zapisów matematycznych dla obiektu aproksymującego wprowadzono oddzielną oś argumentów i , gdzie położenia punktu kontrolnego $i = 0$ dla każdego kolejnego j . Na ogół punkt kontrolny jest umiejscawiany w punkcie centralnym przedziału aproksymacji (obektu aproksymującego). Jeżeli w punkcie kontrolnym zostanie umieszczony węzeł, to na schemacie modelu obiektu będzie oznaczenie q_1 dla tego punktu oraz y_{-1} i y_1 dla funkcji sąsiadujących, a dalej jak na rysunku 1.

Więź łamana polega na zadaniu dla wybranej pochodnej rzędu m w wybranym węźle q_v , współczynnika załamania $w_{vm} \neq 1$, co jest równoznaczne z narzueniem określonej nieciągłości tej pochodnej w rozpatrywanym węźle. Zapis matematyczny takiej więzi jest następujący:

$$y_v^{(m)}(q_v) = w_{vm} y_{v-1}^{(m)}(q_v). \quad (2)$$

Wartości funkcji w węzłach obiektu aproksymującego są zakładane jako ciągłe, tzn. zachodzi:

$$y_v^{(0)}(q_v) = y_{v-1}^{(0)}(q_v). \quad (3)$$

Najprostszym obiektem łamanym jest odcinek prostej łamanej, czyli odcinek łamanej. Jeżeli do budowy centralnego obiektu aproksymującego z węzłami łamanymi użyć wielomianu potęgowego 3. stopnia:

$$y_v = a_v + b_v i + c_v i^2 + d_v i^3, \quad (4)$$

to dla oznaczeń jak na rysunku 1. jego współczynniki wyrażają się następująco:

$$a_v = a_{v-1} + (1 - w_{v1})q_v b_{v-1} + q_v^2(1 - 2w_{v1} + w_{v2})q_v^2 c_{v-1} + (1 - 3w_{v1} - 3w_{v2} - w_{v3})q_v^3 d_{v-1}; \quad (5)$$

$$b_v = w_{v1} b_{v-1} + 2(w_{v1} - w_{v2})q_v c_{v-1} + 3(w_{v1} - 2w_{v2} + w_{v3}),$$

$$c_v = w_{v2} c_{v-1} + 3(w_{v2} - w_{v3})q_v d_{v-1},$$

$$d_v = w_{v3} d_{v-1},$$

gdzie: w_{v1} , w_{v2} , w_{v3} – współczynniki (stałe) załamania pochodnych rzędu 1., 2. i 3.

Analogiczne wzory łatwo rozisać dla wielomianów potęgowych innych stopni, a także dla innych funkcji.

Dla zobrazowania wpływu stopnia wielomianów i węzłów łamanych na wyniki wygładzania posłużono się przykładami obróbki wielomianami zerowego, trzeciego i piątego stopnia bez więzów i z więzami.

Przebiegi pokazane na rysunkach zamieszczonych w pracy zobrazowano za pomocą łamanych, a pochodne pierwszego i drugiego rzędu zostały wyznaczone jako przyrosty liniowe odpowiednio wartości funkcji i pochodnej pierwszego rzędu.

Uniknięto w ten sposób wpływu ewentualnego dalszego wygładzania przebiegów przez funkcje wygładzania wbudowane w programy komputerowe.

WPLYW WIĘZI ŁAMANYCH NA WŁAŚCIWOŚCI WIELOMIANOWEGO OBIEKTU APROKSYMUJĄCEGO

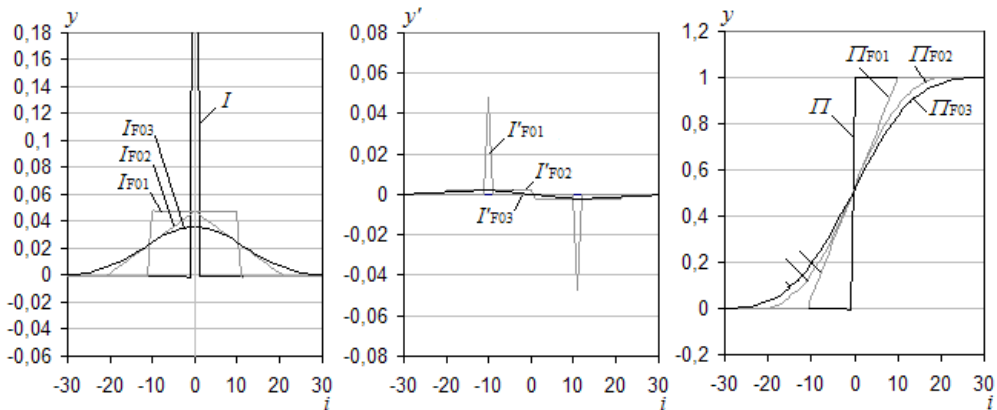
Właściwości przybliżające i wygładzające obiektów aproksymujących zostały rozpatrzone na przykładach wygładzania zakłócenia impulsowego o wartości $I(0) = 1$ (rys. 2.).

Jak widać na rysunku 2., w przypadku wygładzania ruchomą średnią wynik pierwszego kroku wygładzania I_{F01} ma formę prostokąta, a na pochodnej pierwszego rzędu I'_{F01} występują dwa znaczące ostrza, co jest oczywiste. Dopiero na przebiegach I_{F03} i I'_{F03} , uzyskanych po trzecim przejściu obiektu, ostrza nie występują w tej skali zobrazowania. Jeżeli przyjąć, że kolejne przybliżenia funkcji powinny cechować się jak najmniejszymi zniekształceniami, to – jak widać na rysunku 2. – trzeci krok aproksymacji w porównaniu z pierwszym wnosi względnie mniejsze zakłócenia. W praktyce, na przykład obrabiając wykresy indykatorowe, wymaga się jednocześnie jak najlepszego wygładzenia przebiegu i jak najmniejszych zniekształceń amplitudowych i fazowych, co jest sprzeczne.

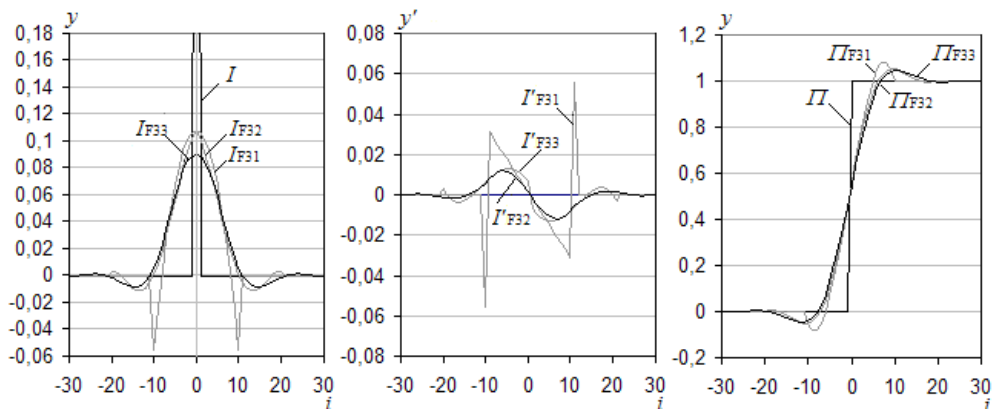
Na rysunku 3. pokazano wyniki 3-krotnej ruchomej aproksymacji zakłócenia I i funkcji II wielomianem 3. stopnia (w przypadku centralnego obiektu aproksymującego obiekt zbudowany na wielomianie 3. stopnia redukuje się do wielomianu 2. stopnia).

Błędy fazowe aproksymowania funkcji II obiektem F3 (rys. 3.) są mniejsze niż w przypadku aproksymowania obiektem FO (rys. 2.), lecz na przebiegach aproksymowanych pojawiły się dodatkowe zakłócenia. Należy także zauważyć, że przebieg II_{F33} , uzyskany po trzecim kroku aproksymowania, prawie pokrywa się z wynikiem drugiego kroku aproksymowania II_{F32} . Analogiczny objaw jest widocz-

ny w przypadku wygładzania zakłócenia impulsowego, jeżeli porównać przebiegi I_{F32} i I_{F33} oraz I'_{F32} i I'_{F33} . Wykonywanie kolejnych kroków aproksymacji może nie poprawiać wyników w sposób istotny. Ta właściwość pogłębia się wraz ze wzrostem stopnia wielomianu aproksymującego i zmniejszaniem wartości k . Dla poprawienia jakości wygładzania należałoby obniżyć stopień wielomianu lub zwiększyć przedział aproksymacji, co prowadzi do zwiększenia zniekształceń przebiegu.

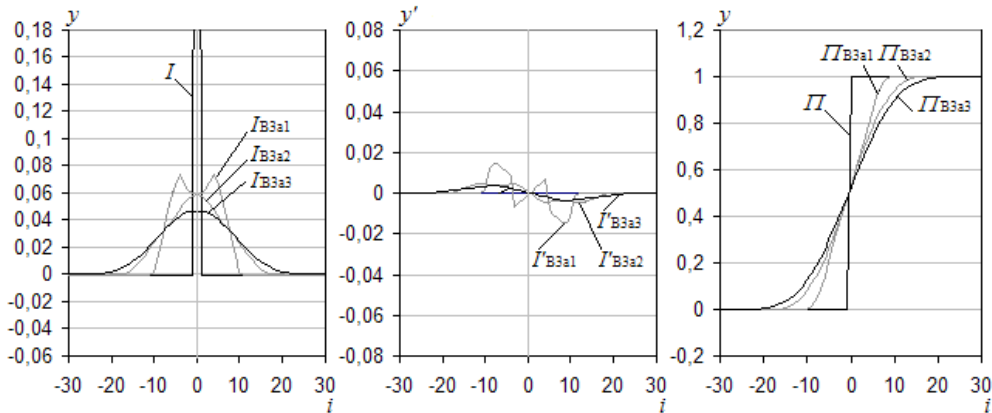


Rys. 2. Wyniki aproksymowania zakłócenia impulsowego $I: I(0) = 1, I(i \neq 0) = 0$ i funkcji progowej $II: II(i < 0) = 0, II(i \geq 0) = 1$ za pomocą obiektu typu F0 (ruchoma średnia, $k = 10$) dla 3 kroków aproksymacji: F01, F02, F03, I' – pochodna pierwszego rzędu zakłócenia I



Rys. 3. Wyniki aproksymowania zakłócenia impulsowego $I: I(0) = 1, I(i \neq 0) = 0$ i funkcji progowej $II: II(i < 0) = 0, II(i \geq 0) = 1$ za pomocą obiektu typu F3 (wielomian 3. stopnia, $k = 10$) dla 3 kroków aproksymacji: F31, F32, F33, I' – pochodna pierwszego rzędu zakłócenia I

Zastosowanie więzów łamanych umożliwia uzyskanie stanów pośrednich. Na rysunku 4. pokazano wyniki aproksymowania przebiegu za pomocą obiektu aproksymującego typu B3a bazującego na wielomianie potęgowym 3. stopnia.



Rys. 4. Wyniki aproksymacji zakłócenia impulsowego $I: I(0) = 1, I(i \neq 0) = 0$ i funkcji progowej $II: II(i < 0) = 0, II(i > 0) = 1$ z zastosowaniem obiektu typu B3a dla 3 kroków aproksymacji oznaczonych indeksami: B3a1, B3a2, B3a3,
 I' – pochodna pierwszego rzędu zakłócenia I ;
 parametry obiektu B3a: $q_1 = 4, q_2 = 8, q_3 = 9, k = 10$

Porównując przebiegi pochodnych po pierwszym kroku aproksymowania I'_{FO1} (rys. 2.), I'_{F31} (rys. 3.) i I'_{Ba1} (rys. 4.), można zauważyć, że już po pierwszym kroku aproksymowania obiektem B3a uzyskano najniższy poziom odchylenia I'_{FO1} w porównaniu z poprzednimi obiektami (rys. 2. i rys. 3.), a przy tym zniekształcenia fazowe przebiegu II są mniejsze niż w przypadku aproksymowania obiektem F0 (rys. 2.), lecz większe niż dla obiektu F3.

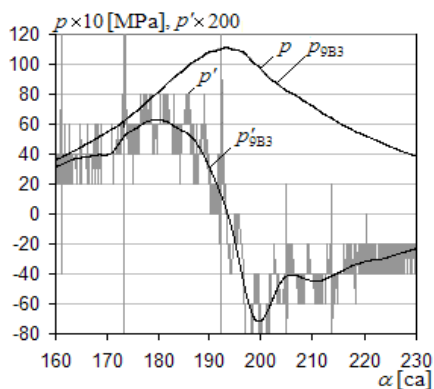
Wprowadzając więzy łamane, można więc kształtować właściwości aproksymującego obiektu. Wprowadzenie więzów łamanych można rozpatrywać jako zmniejszenie giętkości obiektu aproksymującego. Analogiczne kształtowanie właściwości aproksymujących uzyskuje się poprzez wprowadzanie tradycyjnych więzów, na przykład zwiększając giętkość przez rozcinanie pochodnych, lecz w takim przypadku rośnie liczba współczynników modelu matematycznego obiektu.

Powyższe przykłady ilustrują także rolę powtórzeń aproksymacji w procesie wygładzania przebiegu.

PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI RUCHOMYCH WIELOMIANÓW ŁAMANYCH NA PRZYKŁADZIE WYGLĄDZANIA WYKRESU INDIKATOROWEGO

Wyglądanie wykresów indykatorowych jest koniecznością tam, gdzie istnieje potrzeba wyznaczania pochodnych pierwszego i wyższych rzędów. Zagadnienie wyglądzania wykresów indykatorowych związane jest szczególnie z problemem wyznaczania intensywności wydzielania ciepła z przebiegu ciśnienia cylindrowego.

Pomiary wykonywane w warunkach eksploatacji mogą być obarczone zakłóceniami różnego pochodzenia. Głównym źródłem zakłóceń są: czujnik z układem pomiarowym, przetwornik analogowo-cyfrowy, metoda pomiaru, zakłócenia zewnętrzne. Do zakłóceń wynikających z zastosowanej metody pomiarowej należą zakłócenia wnoszone przez kanały gazowe i zawory indykatorowe. Do zakłóceń zewnętrznych należy zaliczyć zakłócenia impulsowe wnoszone do układu pomiarowego przez sterowniki tyrystorowe, układy zapłonowe silników o zapłonie iskrowym oraz przesłuchy sygnałów pomiędzy torami kablowymi. W obecnie stosowanych układach pomiarowych zakłócenia o częstotliwości sieci zasilającej na ogół nie występują. Wymienione rodzaje zakłóceń są często spotykane podczas wykonywania doraźnych lub okresowych pomiarów w warunkach eksploatacji. Możliwości ich usunięcia w tych warunkach są ograniczone, nawet jeżeli ich obecność zostanie wykryta na początku sesji pomiarowej. Próby wyznaczania pochodnych bezpośrednio z pomierzonych przebiegów ciśnień z pominięciem wyglądzania skazane są na ogół na niepowodzenie, czego przykład pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Przebieg wyglądzany p i jego pochodna pierwszego rzędu:
 p – ciśnienie pomierzone na zaworze indykatorowym silnika Sulzer 6A25/30
 $(n = 750 \text{ obr./min}, p_i = 1,8 \text{ MPa})$; p' – pochodna pierwszego rzędu wyznaczona bezpośrednio
z przebiegu p jako jego przyrosty; p_{9B3}, p'_{9B3} – przebieg wyglądzony i pochodna pierwszego
rzędu wyznaczone z zastosowaniem obiektu aproksymującego typu 9B3 (tab. 1.)

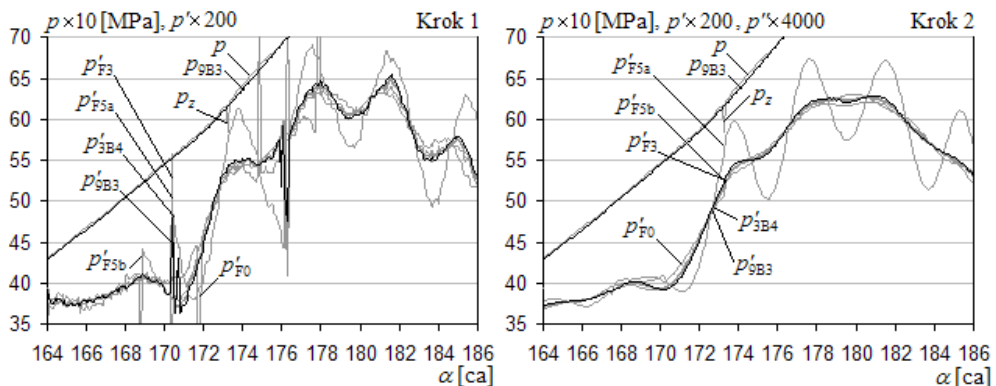
W tej skali zobrazowania zakłócenia przebiegu ciśnienia p nie są znaczące dla oceny wartości ciśnień lub wyznaczania wartości ciśnienia indykowanego, natomiast zakłócają przebieg pochodnej pierwszego rzędu p' wyznaczonej bezpośrednio z przebiegu p . Ich obecność może stanowić przeszkodę przy wyznaczaniu przebiegu intensywności wydzielania ciepła.

W tabeli 1. zamieszczono parametry wybranych obiektów aproksymujących, które wykorzystano do porównania właściwości wygładzających obiektów bez więzów i z więzami łamanymi.

Tabela 1. Parametry obiektów aproksymujących zastosowanych do aproksymacji wykresu indykatorowego silnika 6A25/30 (rys. 5.). W przypadku każdego obiektu wykonano po 3 kroki aproksymacji z zachowaniem wartości parametrów obiektu

Typ obiektu	Stopień wielomianu	Liczba węzłów	Liczba więzów	Parametry węzłów, przedziału i więzów
9B3a	3(2)	8	24 (16)	$q_1 = 0, q_2 = 26, q_3 = 27, q_4 = 28, k = 29, w_{v1} = w_{v2} = w_{v3} = -1$ dla $v = 1, 2, 3, 4$
F0	0(1)	0	0	$k = 15$
F3	3(2)	0	0	$k = 29$
F5a	5(4)	0	0	$k = 29$
F5b	5(4)	0	0	$k = 45$
3B5	5 (4)	2	10 (8)	$q_1 = 28, k = 29, w_{v1}, \dots, w_{v5} = -1$ dla $v = 1, \dots, 5$

Po dwóch pierwszych krokach aproksymacji (rys. 6.) wygładzeniu uległy zakłócenia wysokoczęstotliwościowe i średniczęstotliwościowe.



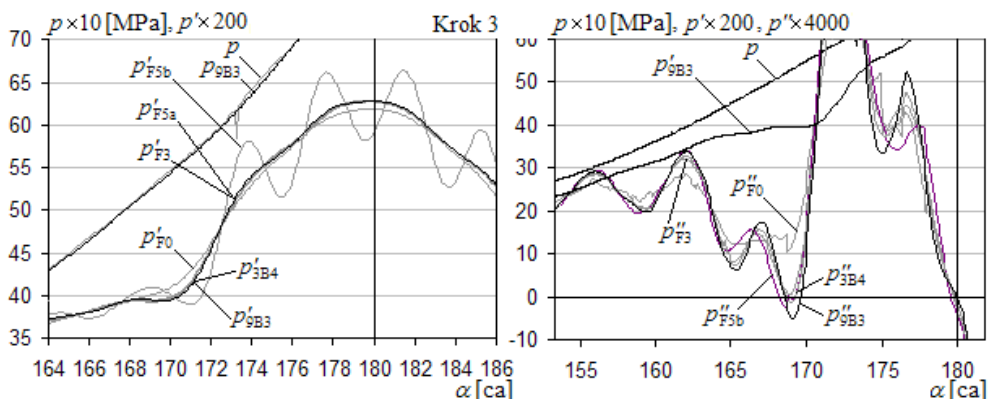
Rys. 6. Przebiegi pochodnych pierwszego rzędu p' dla dwóch pierwszych kroków aproksymacji ciśnienia p (rys. 1.) z zastosowaniem wybranych obiektów aproksymujących (tab. 1.): p_{9B3} – przebieg wygładzony obiektem 9B3; p_z – zakłócenie impulsowe

Jak widać na rysunku 6., po pierwszym kroku aproksymacji występują nadal duże wartości zakłóceń pochodnych p' spowodowane przez zakłócenie impulsowe p_z . Po drugim kroku aproksymacji zakłócenia te ulegają wygładzeniu, a jedynie przebieg pochodnej p'_{S5a} wyróżnia się silnymi oscylacjami.

Dla ich stłumienia konieczne jest znaczne zwiększenie przedziału obiektu. Dopiero dla $k = 45$ oscylacje zanikają, co wynika z przebiegu p'_{S5b} .

Porównywalny poziom wygładzenia można uzyskać bez zwiększania przedziału obiektu, wprowadzając do obiektu S5 więzy łamane i tworząc na przykład obiekt 3B5 (tab. 1.). Dla tej skali zobrazowania przebiegi wygładzone za pomocą poszczególnych obiektów praktycznie pokrywają się i z tego względu na rysunku 6. zobrazowano tylko jeden z nich, tzn. przebieg p_{9B3} .

Poziom wygładzenia przebiegów uznano za wystarczający po trzecim kroku aproksymacji (rys. 7.).



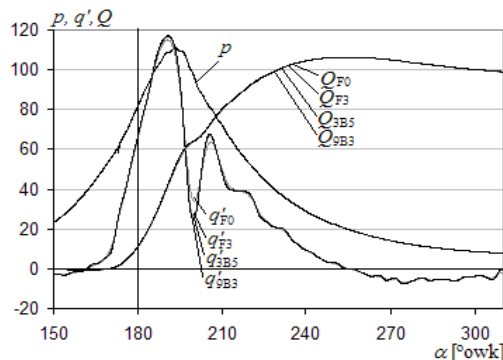
Rys. 7. Przebiegi pochodnych pierwszego rzędu p' i drugiego rzędu p'' dla 3. kroku aproksymacji ciśnienia p (rys. 1.) z zastosowaniem wybranych obiektów aproksymujących (tab. 1.): p_{9B3} – przebieg ciśnienia wygładzony obiektem 9B3

Jak widać na rysunku 7., oscylacje przebiegu p_{S5a} w porównaniu z drugim krokiem aproksymacji (rys. 6.) nie zmalały. Największy poziom gładkości osiągnęła krzywa p'_{F0} , lecz dla tego przypadku wystąpiły największe zniekształcenia fazowe. Należy zauważyć, że dla obiektu F0 zastosowano mniejsze wartości k niż dla pozostałych obiektów (tab. 1.). Przebiegi p' dla pozostałych obiektów aproksymujących praktycznie pokrywają się. Różnice w jakości ich wygładzenia są widoczne po porównaniu pochodnych drugiego rzędu p'' (rys. 7.). Na przebiegu p''_{F0} są widoczne ostrza, co nie przejawia się na przebiegu p'_{F0} w tej skali zobrazowania.

Można przyjąć, że najlepsze parametry dynamiczne i jakość wygładzenia uzyskano dla wygładzania obiektem 9B3. Jednak przebiegi p'' (rys. 7.) charakteryzują się nadal dużymi oscylacjami i na przykład wyznaczenie miejsca zerowego pochodnej p'' wiązałoby się z możliwością popełnienia znacznych błędów. Znane są propozycje wykorzystania kąтового położenia pierwszego, począwszy od DMP tłoka, punktu zerowego p'' jako punktu odniesienia GMP. Wiadomo, że błąd w ocenie położenia GMP rzędu 1° owk prowadzi nawet do 10% błędu wyznaczenia średniego ciśnienia indykowanego lub intensywności wydzielania ciepła.

Jak już zauważono, zasadniczym celem wygładzania wykresów indykatorowych jest wyznaczenie dostatecznie gładkich pochodnych pierwszego rzędu dla wyznaczania przebiegów intensywności wydzielania ciepła, mogących stanowić główne źródło informacji diagnostycznej dla silników okrętowych średnio- i wolnoobrotowych.

Na rysunku 8. porównano przebiegi intensywności wydzielania ciepła q' i ciepła wydzielonego Q uzyskane dla wykresu p (rys. 5.) z zastosowaniem czterech obiektów aproksymujących (tab. 1.).



Rys. 8. Porównanie przebiegów intensywności wydzielania ciepła $q' = dq/d\alpha$ i ciepła wydzielonego $Q(\alpha)$ dla czterech obiektów aproksymujących (tab. 1.) dla przebiegu p jak na rysunku 1.

Przebiegi intensywności wydzielania ciepła q' wyznaczono w oparciu o I zasadę termodynamiki, traktując czynnik roboczy jako jednorodny gaz doskonały w całym przedziale trwania procesu.

Jak widać z porównania przebiegów na rysunku 8., tylko przebieg q'_{F0} odchyła się zauważalnie w okolicach występowania ekstremów, natomiast przebiegi q'_{F3} , q'_{3B5} , q'_{9B3} praktycznie pokrywają się.

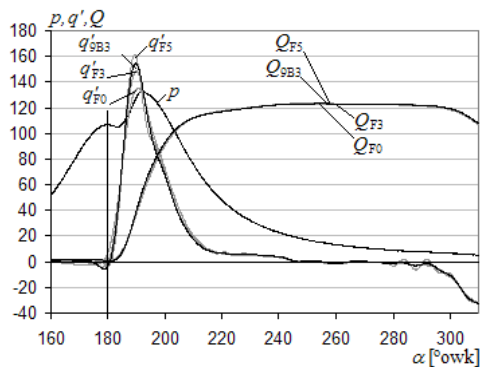
Zbieżność wyznaczonych przebiegów Q jest jeszcze większa, co jest wynikiem całkowania zakłóceń.

W tabeli 2. przytoczono parametry obiektów aproksymujących wykorzystanych do wyznaczenia przebiegów p' , a następnie przebiegów q' i Q z wykresu indykatorowego silnika okrętowego wolnoobrotowego (rys. 9.).

Wybierając pomiędzy osiągnięciem wystarczającej gładkości przebiegu q' a minimalizacją błędów fazowych i amplitudowych, za najlepszą przyjęto aproksymację obiektem 9B3. Przebieg q'_{F0} charakteryzuje się największymi błędami amplitudowymi i fazowymi. W przypadku przebiegu q'_{F5} nie udało się wygładzić oscylacji widocznych w przedziale 280 – 300 °owk (rys. 6.). Jest to początek wylotu spalin związany z przepływem (inna postać bilansu energii), lecz ten fragment może być bardzo użyteczny dla diagnostyki układów przepłukania i doładowania.

Tabela 2. Parametry obiektów aproksymujących zastosowanych do aproksymacji wykresu indykatorowego silnika 6RTA76 (rys. 9.)

Typ obiektu	Stopień wielomianu	Liczba węzłów	Liczba więzów	Parametry węzłów, przedziału i więzów
9B3	3(2)	6	24 (16)	Wartości: q_v dla $v = 1, 2, 3, 4$ krok 1: 0, 6, 7, 8, $k = 9$, krok 2: 0, 16, 17, 18, $k = 19$, krok 3: 0, 37, 38, 39, $k = 40$, krok 4: 0, 57, 58, 59, $k = 60$, $w_{v,1} = w_{v,2} = w_{v,3} = -1$ dla $v = 1, 2, 3, 4$
F0	0(1)	0	0	3 kroki aproksymacji: $k = 9, 19, 39$
F3	3(2)	0	0	4 kroki aproksymacji $k = 9, 19, 39, 59$
F5	5(4)	0	0	4 kroki aproksymacji: $k = 9, 19, 39, 59$



Rys. 9. Porównanie przebiegów intensywności wydzielania ciepła $q' = dq/da$ i ciepła wydzielonego Q uzyskanych z zastosowaniem czterech obiektów aproksymujących (tab. 2.) dla wykresu indykatorowego silnika okrętowego wolnoobrotowego 6RTA76 ($n = 104$ obr./min, $p_i = 1,8$ MPa)

Tak jak w poprzednim przypadku (rys. 5.) przebiegi ciepła wydzielonego Q praktycznie pokrywają się. Dopiero zobrazowanie tych przebiegów w większej skali ujawniłoby różnicę pomiędzy przebiegiem Q_{F0} a pozostałymi przebiegami.

DEKOMPOZYCJA ZAKŁÓCEŃ

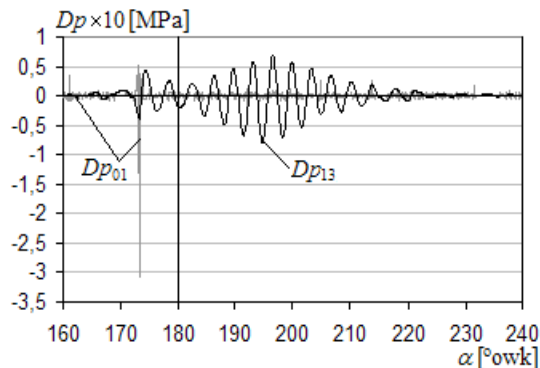
Wykonując proces wygładzania przebiegu, można wyznaczyć wartości usuwanych zakłóceń dla oceny ich poziomu, wykrycia zakłóceń o nadmiernych odchyleniach oraz dla ustalenia źródeł zakłóceń. Niekiedy, na przykład w diagnostyce, przedmiotem zainteresowania bywają same zakłócenia.

Zakłócenia są wyznaczone jako odchylenia resztowe pomiędzy dwoma wybranymi krokami wygładzania p , np. $p = l$ i $p = t$.

$$Dy_{lt} = y_l - y_t,$$

gdzie $t > l \geq 0$.

Na rysunku 10. zobrazowano zakłócenia wyznaczone w wyniku aproksymowania ciśnienia p z rysunku 1. za pomocą obiektu aproksymującego 9B3.



Rys. 10. Zakłócenia Dp wyznaczone w wyniku aproksymowania wykresu indykatorowego p (rys. 5.) obiektem 9B3 (tab. 1.)

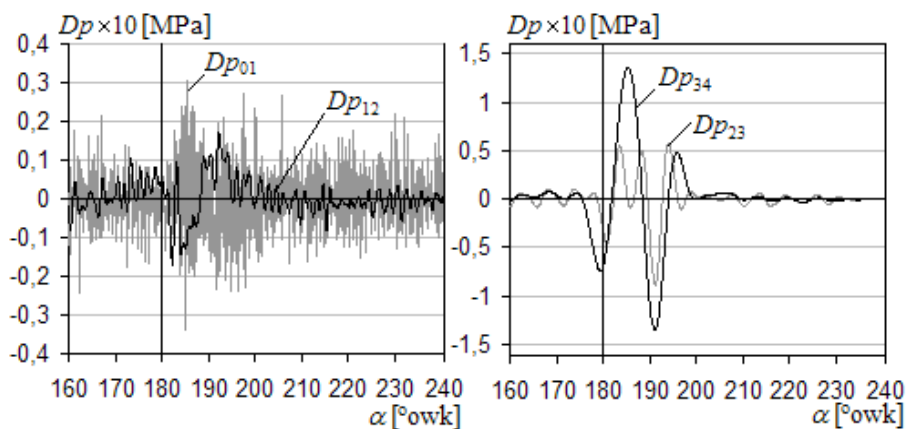
Wydzielono zakłócenia wysokoczęstotliwościowe Dp_{01} , na które składają się zakłócenia wnoszone przez układ pomiarowy z przetwornikiem analogowo-cyfrowym oraz zakłócenia impulsowe o nieznanym pochodzeniu. Zakłócenia Dp_{13}

są wnoszone głównie przez kanały gazowe i zawór indykatorowy. Mogą one zawierać także błąd nieadekwatności obiektu aproksymacji. Zakłócenia Dp_{01} uzyskano po pierwszym kroku aproksymacji, a zakłócenia Dp_{13} po trzecim kroku aproksymacji.

Ruchoma aproksymacja daje na ogół możliwość dokonywania podziałów zakłóceń na dużą liczbę poziomów drogą zmiany parametrów obiektów i samych obiektów oraz stosowania dużej liczby kroków aproksymacji, lecz wyniki takiego działania na ogół nie będą miały sensu.

Na rysunku 11. pokazano przykład wydzielenia zakłóceń po każdym z czterech kroków aproksymacji wykresu indykatorowego silnika RTA76 (rys. 9.).

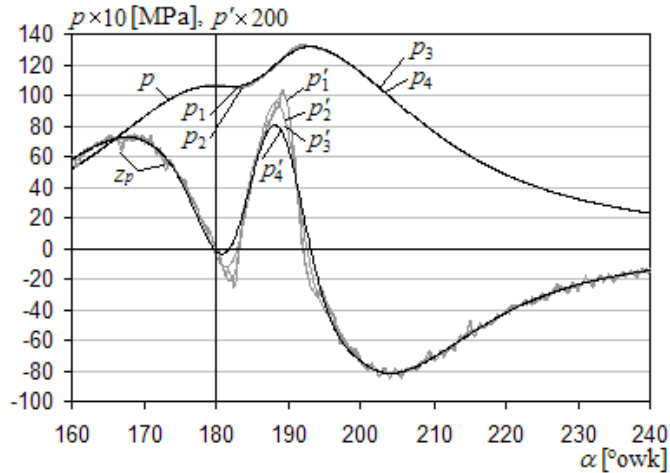
O ile zakłócenia Dp_{01} można uznać za powstałe w torach pomiarowych, to na zakłócenia Dp_{02} składają się te powstałe w torach pomiarowych oraz te w kanałach gazowych. Zakłócenia Dp_{23} i Dp_{34} wynikają głównie z oscylacji ciśnienia w kanałach gazowych i celowe jest ich zsumowanie.



Rys. 11. Przebiegi zakłóceń $Dp_{01} - Dp_{34}$ uzyskane w wyniku czterech kroków aproksymacji przebiegu p (rys. 11.) obiektem 9B3 (tab. 2.)

Do odchylenia Dp_{34} przedostaje się pewien poziom sygnału użytecznego z powodu błędu nieadekwatności modelu obiektu aproksymującego.

Jak widać z porównania przebiegów wygładzonych $p_1 - p_4$, (rys. 12.), zakłócenia mogą nie być obserwowane bezpośrednio na przebiegu pomierzonym p i na przebiegach wygładzonych, a ujawniają się na przebiegach pochodnych $p'_1 - p'_4$ (rys. 12.) i na przebiegach zakłóceń (rys. 11.).



Rys. 12. Przebiegi pochodnych pierwszego rzędu $p_1' - p_4'$ ciśnień wygładzonych $p_1 - p_4$ dla 4 kroków aproksymacji wykresu indykatorowego p (rys. 9.) obiektem typu 9B3 (tab. 2.); z_p – zakłócenia spowodowane przesłuchami sygnałów w torach kablowych

Identyczne przejawy występują w przypadku stosowania analizy falkowej [6]. Dla poprawienia jakości aproksymacji należałoby rozpatrzyć celowość zastosowania obiektów aproksymujących innych typów.

WNIOSKI

W sytuacji kiedy postać modelu matematycznego reprezentowanego przez dane pomiarowe nie jest znana lub znana tylko częściowo, jak w przypadku wykresu indykatorowego, dla wygładzenia przebiegu celowe jest stosowanie ruchomych obiektów aproksymujących.

Na stopień wygładzenia i jakość aproksymacji przebiegu mają wpływ parametry obiektu aproksymującego: rodzaj funkcji aproksymującej, szerokość przedziału aproksymacji, liczba kroków aproksymacji, liczba węzłów, rodzaj i liczba więzów.

Jedną z możliwości kształtowania cech obiektów aproksymujących jest wykorzystanie więzów łamanych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Polanowski S., *Analiza danych pomiarowych z zastosowaniem ruchomych obiektów aproksymujących*, „Zeszyty Naukowe” AMW, 2004, nr 2.
- [2] Polanowski S., *Smoothing and decomposition of disturbances of indicator diagrams with applications of the moving approximating objects with broken bonds*, „Journal of Internal Combustion Engines”, KONES, 2005, Vol. 12.
- [3] Polanowski S., *Szybka obróbka wykresu indykatorowego do celów kontroli i sterowania*, III Sympozjum Naukowe EKODIESEL '96, Warszawa 1996.
- [4] Polanowski S., *The processing of indicator diagrams with the use of the moving approximating objects*, „Combustion Engines”, 2005, No 1.
- [5] Savitzky A., Golay M. J. E., *Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures*, „Analytical Chemistry”, 1964, Vol. 36.
- [6] Wysocki H., Polanowski S., *Dekompozycja falkowa wykresu indykatorowego silnika okrętowego za pomocą Wavelet Explorer*, „Zeszyty Naukowe” AMW, 2005, nr 1.

ABSTRACT

The paper defines the notion of broken constraints. Smoothing impulse interference and threshold function approximation were used as examples to compare the smoothing properties of multinomial approximation objects with broken constraints and classic multinomial moving objects called Savitzky – Golay filters. The effect of transitions on smoothing degree and deformation of distributions approximated was illustrated on examples. It was demonstrated that introducing broken constraints to a multinomial of a given degree constitutes an object having approximation properties transitional between properties of multinomials of lower degree constraints and multinomials of higher degree constraints. Afterwards the example of real indicator diagram approximation was used to compare the properties of the approximating objects. In this case the most favorable results of smoothing were obtained when using the approximating object based on broken multinomial of 3rd degree. Estimated was the effect of the quality of smoothing indicator diagram obtained on the distributions of derivatives of 1st and 2nd order as well as intensity of heat emission and heat emitted.

Recenzent dr hab. inż. Zdzisław Chłopek, prof. nadzw. Politechniki Warszawskiej