ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Stanisław KOWALIK
Politechnika Śląska, Gliwice

PROCEDURY SZYBKIEGO PRZYBLIŻONEGO OKREŚLANIA SYGNAŁÓW STERUJĄCYCH W UKŁADZIE TECHNOLOGICZNYM PRODUKCJI MIESZANKI DWÓCH KONCENTRATÓW WĘGLA

Streszczenie. W pracy przedstawiono trzy sposoby szybkiego i przybliżonego określania sygnałów sterujących w układzie regulacji ekstremalnej produkcji mieszanki węgla. Te sposoby to: metoda przeglądania siatki punktów, zastosowanie funkcji kary i aproksymacja funkcji wielomianem. Te metody wykorzystano do znalezienia maksimum funkcji wychodu mieszanki koncentratów węgla przy zadanej ilości popiołu. Dla pierwszej i drugiej metody obliczenia przeprowadzono dla pięciu wariantów przyjmując różną dokładność obliczeń. Natomiast dla trzeciej metody przeprowadzono obliczenia dla trzech różnych wielomianów. Program komputerowy realizujący obliczenia został napisany w MATLABIE.

PROCEDURES OF QUICK APROXIMATE DEFINING OF COMMAND SIGNALS IN TECHNOLOGICAL SYSTEM OF PRODUCING MIXTURE OF TWO EXTRACTS OF COAL

Summary. In this paper three ways of quick and approximate definition of command signals in the system of adjustment of extreme production of mixture of carbon have been presented. These methods are: revision of the net of points, application of the function of punishment and approximation of the function by the polynomial. These methods have been used to find maximal function of output mixture of the extracts of coal at given quantities of ash. For the first and the second method calculations for five variations have been carried out accepting different accuracy of calculations. However, for the third method the calculations were carried out for three different polynomials. The computer program which was carrying out the calculations was written in MATLAB.

1. Wstęp

Praca dotyczy przeróbki mechanicznej węgla, której jednym z głównych celów jest otrzymanie produktu handlowego o zadanej jakości, określonej zwykle zawartością popiołu w wytworzonym koncentracie końcowym, tzw. wychodzie. Zagadnienia maksymalizacji produkcji w systemach wzbogacania i tworzenia mieszanek węgla, sterowania w produkcji mieszanek węgla energetycznego i koncentratów koksowych, stabilizacji gęstości rozdziału w procesie tworzenia mieszanek koncentratów węglowych, regulacji ekstremalnej produkcji mieszanki węgla są opisane w pracach [1, 2, 3, 4, 7, 8]. W pracy będzie rozważana produkcja koncentratów węgla energetycznego i koksującego, która odbywa się często w układzie połączonych równolegle osadzarki i wzbogacalnika cieczy ciężkiej. W układzie takim istnieje optymalny punkt pracy, dla którego uzyskuje się maksymalną ilość koncentratu końcowego o zadanej ilości popiołu [1, 2, 3, 4, 7, 8]. Zadanie jest utrudnione, ponieważ charakterystyki osadzarki i wzbogacalnika są określone jedynie w kilku punktach, a funkcja wychodu końcowego nie jest podana w postaci jawnej wzorami matematycznymi, i należy znaleźć jej maksimum przy ograniczeniu, że ilość popiołu będzie stała. Aby charakterystyki osadzarki i wzbogacalnika były funkcjami ciągłymi, tworzy się je jako kawałki sklejane z odcinków liniowych.

W celu rozwiązania zadania wykorzystuje się skomplikowane algorytmy obliczeniowe, np. w pracy [8] zastosowano iteracyjny algorytm z tzw. „cyklem trzykrokowym", w pracy [5] użyto programowania genetycznego, a w pracy [6] wykorzystano metodę strefowo-równoległą poszukiwania ekstremum funkcji wielu zmiennych.

Ponieważ zagadnienie maksymalizacji wychodu w układzie połączonych równolegle osadzarki i wzbogacalnika, przy zadanej ilości popiołu, nie wydaje się bardzo skomplikowane, więc celowe wydaje się opracowanie prostszych metod, które z określoną dokładnością rozwiążą to zadanie.

Praca niniejsza prezentuje trzy metody przybliżonego rozwiązania tego zagadnienia. Rozwiązanie otrzymywane jest z pewną dokładnością, ale metody są proste i czas obliczeń jest prawie natychmiastowy lub rzędu sekund.

2. Metoda przeglądania siatki punktów

Charakterystyki osadzarki i wzbogacalnika zostały przyjęte takie same, jak w pracach [5] i [8]. Przyjęto następujące oznaczenia:

r_o – gęstość rozdziału w osadzarce [g/cm^3],

r_d – gęstość rozdziału we wzbogacalniku Disa [g/cm^3],

$A_O(r_o)$ – zawartość popiołu w osadzarce [%],

$Q_O(r_o)$ – wychod w osadzarce [%],

$A_D(r_d)$ – zawartość popiołu we wzbogacalniku Disa [%],

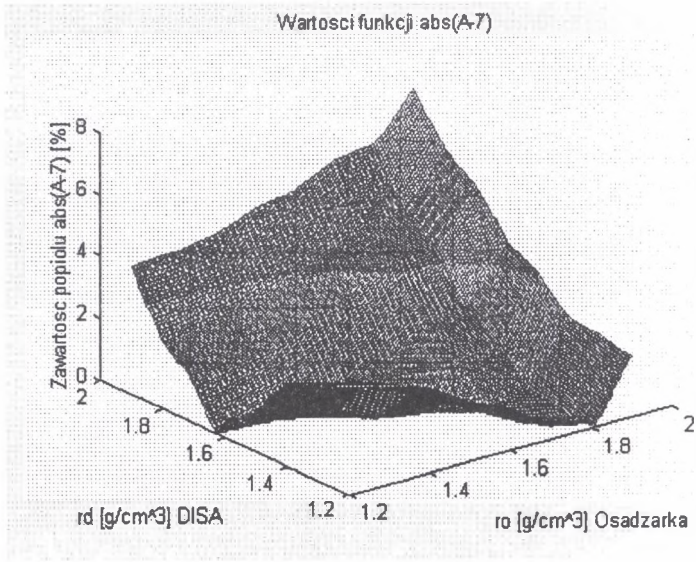
$Q_D(r_d)$ – wychod we wzbogacalniku Disa [%].

Ilość wychodu Q i zawartość popiołu A w produkcie końcowym przedstawia się następująco:

$$Q(r_o, r_d) = Q_D(r_d) + Q_O(r_o), \tag{1}$$

$$A(r_o, r_d) = (Q_D(r_d) \times A_D(r_d) + Q_O(r_o) \times A_O(r_o)) / Q(r_o, r_d). \tag{2}$$

Tworzymy nową funkcję, jako wartość bezwzględną z różnicy zawartości popiołu A i wartości stałej, zadanej A_{zad} (w tym przypadku =7%). Pokazuje to rysunek 1.



Rys. 1. Wykres funkcji abs(A-A_{zad})
Fig. 1. Graph of function abs(A-A_{zad})

Na płaszczyźnie argumentów r_o i r_d otrzymujemy więc poszukiwaną zależność miedzy tymi parametrami sterującymi. Dla tych par argumentów (r_o, r_d) jest $A(r_o, r_d) = A_{zad} = 7\%$.

Te punkty teoretycznie w ten sposób określone musimy teraz praktycznie wyznaczyć. W tym celu najpierw tworzymy siatkę punktów w obszarze [1.2, 1.9] × [1.2, 1.9] zmieniając argumenty (r_o, r_d) z krokiem „eps" oznaczającym dokładność obliczeń (np. eps=0.05 lub eps=0.001). Dla dalszych rozważań te punkty oznaczamy przez (ro_i, rd_j). Następnie zbiór tych punktów zawężamy do obszaru, w którym leży krzywa na płaszczyźnie abs(A-7)=0 (rysunek 1). Robimy to w ten sposób, że najpierw znajdujemy maksymalne r_o przy ustalonym r_d=1.2. Oznaczamy go przez $rmax_o$. $rmax_o$ jest jedną z liczb ro_i, dla której funkcja $abs(A(ro_i, 1.2)-A_{zad})$ osiąga minimum.

Maksimum wychodu znajdujemy w ten sposób, że dla każdego ro_i należącego do przedziału $[1.2, rmax_o]$ poszukujemy takiego rd_j, dla którego funkcja $abs(A(ro_i, rd_j)-A_{zad})$ osiąga minimum. To znalezione rd_j oznaczamy przez rdz_i. Następnie obliczamy wartość wychodu dla tej pary argumentów

$$Q_i = Q(ro_i, rdz_i), \tag{3}$$

Punkty (ro_i, rdz_i) leżą na krzywej w płaszczyźnie argumentów (r_o, r_d) (rysunek 1) lub też znajdują się blisko tej krzywej z dokładnością określoną przez „eps". W związku z tym wartość popiołu w przybliżeniu równa się wartości zadanej A_{zad}. Maksymalny wychod znajdujemy na podstawie wzoru

$$Q\max = \max_i Q_i. \tag{4}$$

Parametry $r_o=ro_i$ i $r_d=rdz_i$, dla których występuje maksymalny wychod Qmax, stanowią rozwiązanie zagadnienia maksymalizacji wychodu przy zadanej wartości popiołu A_{zad}.

Na komputerze przeprowadzono pięć wariantów obliczeń przyjmując różną dokładność „eps" równą 0.05, 0.01, 0.005, 0.0025 i 0.0001. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 1. W ostatniej kolumnie tej tablicy podano czas obliczeń w sekundach na komputerze IBM PC 200.

Tablica 1

Wyniki obliczeń dla metody przeglądania siatki punktów

eps	r_o	r_d	Q	A	czas
0.05	1.400	1.700	79.100	7.1220	1.4
0.01	1.450	1.620	79.200	7.0118	2.0
0.005	1.460	1.605	79.025	7.0098	3.4
0.0025	1.465	1.595	79.100	7.0058	9.2
0.001	1.462	1.601	79.005	7.0021	47.8

3. Zastosowanie funkcji kary

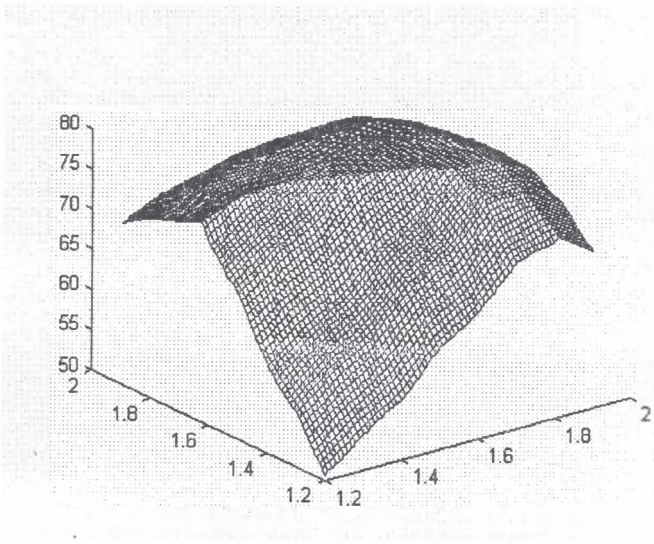
Innym sposobem rozwiązania tego zagadnienia jest zastosowanie funkcji kary. Naszym zadaniem jest znalezienie maksimum funkcji $Q(r_o, r_d)$ określonej wzorem 1, ale tylko dla takich (r_o, r_d), dla których $A(r_o, r_d)=A_{zad}$=const. Znajdywanie maksimum funkcji z zastosowaniem funkcji kary polega na tym, że do funkcji $Q(r_o, r_d)$ dodajemy pewną funkcję o tej własności, że dla (r_o, r_d), dla których $A(r_o, r_d)=A_{zad}$=const, funkcja Q nie zmienia swojej wartości. Natomiast dla innych (r_o, r_d) funkcja kary radykalnie powoduje zmniejszenie wartości funkcji Q (tym więcej, im bardziej punkt (r_o, r_d) jest oddalony od krzywej określonej przez warunek $A(r_o, r_d)=A_{zad}$=const). Zauważmy, że funkcja -abs(A-A_{zad}) (rysunek 1, wartości funkcji ze znakiem przeciwnym) ma wartość maksymalną zero dla punktów (r_o, r_d) spełniających warunek $A(r_o, r_d)=A_{zad}$=const) (krzywa w płaszczyźnie poziomej), a poza tymi punktami ma wartości ujemne (bardziej ujemne w miarę oddalania się od tej krzywej). Tak więc funkcję -abs(A-A_{zad}) wykorzystamy do budowy funkcji kary. Sprawdzamy, czy wystarczy do funkcji Q dodać -abs(A-A_{zad}). Chodzi o to, aby wartości funkcji „Q+kara" dla punktów (r_o, r_d) spełniających $A=A_{zad}$ były większe od wartości w punktach nie spełniających tego warunku. Porównujemy więc wartości funkcji Q oraz abs(A-A_{zad}) na brzegu obszaru określoności parametrów r_o i r_d, tj. w obszarze [1.2, 1.9]× [1.2, 1.9]. Uznajemy, że należy zwiększyć stromość funkcji kary. Jako funkcję kary przyjmujemy

$$kara(r_o, r_d) = -3abs(A(r_o, r_d)-A_{zad}). \tag{5}$$

Zadanie sprowadza się więc do znalezienia maksimum funkcji dwóch zmiennych bez żadnych ograniczeń

$$f(r_o, r_d) = Q(r_o, r_d) - 3abs(A(r_o, r_d)-A_{zad}). \tag{6}$$

Tę funkcję przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Wykres funkcji $f(r_o, r_d) = Q(r_o, r_d) - 3abs(A(r_o, r_d)-A_{zad})$
Fig. 2. Graph of function $f(r_o, r_d) = Q(r_o, r_d) - 3abs(A(r_o, r_d)-A_{zad})$

Maksimum tej funkcji znajdujemy metodą krokową zmieniając parametry r_o i r_d w obszarze [1.2, 1.9]× [1.2, 1.9] z określonym krokiem, który traktujemy jako dokładność obliczeń.

Wyniki obliczeń przedstawia tablica 2. Przeprowadzono pięć wariantów obliczeń przyjmując różną dokładność „eps" równą 0.05, 0.01, 0.005, 0.0025 i 0.0001. W ostatniej kolumnie tej tablicy podano czas obliczeń w sekundach.

Tablica 2

Wyniki obliczeń dla metody z zastosowaniem funkcji kary

eps	r_o	r_d	Q	A	czas
0.05	1.450	1.650	79.650	7.2521	1.3
0.01	1.450	1.620	79.200	7.0118	1.9
0.005	1.460	1.605	79.025	7.0098	3.0
0.0025	1.4625	1.600	79.000	7.0002	3.5
0.001	1.462	1.601	79.005	7.0021	13.9

4. Aproksymacja funkcji wielomianem

W MATLABIE istnieje funkcja „constr", która znajduje minimum funkcji wielu zmiennych z ograniczeniami. Wykorzystuje ona sekwencyjnego programowania kwadratowego. Postać wywołania tej funkcji jest następująca

$$x = \mathrm{constr}(\mathrm{fun}, x_0). \tag{7}$$

Argument x_0 oznacza punkt początkowy poszukiwań. Argument fun zawiera ciąg znaków będący nazwą funkcji wyliczającej wartości funkcji celu oraz wektor wartości funkcji ograniczeń g w podanym punkcie:

$$[f, g] = \mathrm{fun}(x). \tag{8}$$

Ograniczenia mogą być równościowe lub nierównościowe. Ograniczenia równościowe podaje się na początku wektora g. W opracowanym programie komputerowym przyjęto jedno ograniczenie równościowe $A(r_o, r_d)=7$ oraz cztery ograniczenia nierównościowe: $r_o \geq 1.2$, $r_o \leq 1.9$, $r_d \geq 1.2$, $r_d \leq 1.9$. Jako funkcję celu, której należało znaleźć, minimum przyjęto $-Q(r_o, r_d)$. Ze względu na użytą metodę sekwencyjnego programowania kwadratowego przy obliczaniu minimum przez funkcję „constr" wymaga się, aby funkcje $Q(r_o, r_d)$ i $A(r_o, r_d)$ były przedstawione za pomocą wzorów matematycznych jako funkcje różniczkowalne. Wymagało to zastąpienia sklejanych liniowymi odcinkami charakterystyk osadzarki i wzbogacalnika DISA innymi różniczkowalnymi funkcjami. Zdecydowano się na wielomiany drugiego, trzeciego i czwartego stopnia. W MATLABIE istnieje funkcja biblioteczna „polyfit", która znajduje współczynniki wielomianu stopnia r. Wywołanie tej funkcji jest następujące

$$a = \mathrm{polyfit}(x, y, r), \tag{9}$$

gdzie: x – wektor argumentów funkcji,

y – wektor wartości funkcji,

a – wektor współczynników wielomianu aproksymującego stopnia r.

Wyniki obliczeń przedstawione są w tablicy 3. W pierwszej kolumnie podany jest stopień wielomianów aproksymujących charakterystyki osadzarki i wzbogacalnika DISA. Q_1 oznacza wartość wychodu w wyznaczonym punkcie (r_o, r_d) biorąc pod uwagę wielomiany, natomiast Q_2 wartość wychodu dla charakterystyk oryginalnych (sklejanych liniowymi kawałkami).

A_1 oznacza wartość popiołu w wyznaczonym punkcie (r_o, r_d) biorąc pod uwagę wielomiany, natomiast A_2 wartość popiołu dla charakterystyk oryginalnych. Czas obliczeń w tym przypadku jest prawie natychmiastowy.

Tablica 3

Wyniki obliczeń dla metody z zastosowaniem aproksymacji wielomianem

st. wiel.	r_o	r_d	Q_1	Q_2	A_1	A_2
2	1.5015	1.5181	78.4488	79.0796	7.0000	7.0849
3	1.4866	1.5824	79.3632	79.5247	7.0000	7.2031
4	1.4556	1.6375	79.8594	79.5644	7.0000	7.2145

5. Zakończenie

Zaprezentowane metody i obliczenia pokazują, że można w sposób szybki i niezbyt skomplikowany rozwiązać z określoną dokładnością zagadnienie maksymalizacji wychodu mieszanki dwóch koncentratów węglowych przy narzuconym warunku, że wielkość popiołu jest zadana i stała. Porównanie wyników obliczeń zaprezentowanych trzech metod wskazuje, że dokładniejszymi metodami są: metoda przeglądania siatki punktów i metoda funkcji kary. Pomimo że czasy obliczeń są dłuższe niż w trzeciej metodzie, to pod tym względem są one lepsze. Natomiast metoda za pomocą aproksymacja funkcji wielomianem dużo mniej dokładnie wyznacza gęstości rozdziału w osadzarce r_o i we wzbogacalniku DISA r_d, ponieważ wielomiany mało dokładnie przybliżają charakterystyki tych urządzeń.

LITERATURA

1. Cierpisz S.: Automatyzacja procesów przeróbki mechanicznej węgla. Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1980.
2. Cierpisz S.: Efekty doboru i stabilizacji gęstości rozdziału w procesie tworzenia mieszanek koncentratów węglowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 7, 1997.
3. Cierpisz S.: Maksymalizacja produkcji w systemach wzbogacania i tworzenia mieszanek węgla. Archiwum Górnictwa, t. 25, z. 1, 1980.

4. Cierpisz S.: Zagadnienia sterowania w produkcji mieszanek węgla energetycznego i koncentratów koksowych. Materiały konferencyjne, Szczyrk 26-28.05.1997.
5. Cierpisz S., Kowalik S.: Zastosowanie algorytmu genetycznego do optymalizacji układu technologicznego produkcji mieszanki węgla. VI Konferencja „Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalń", Szczyrk 10-13.05.2000.
6. Kowalik S.: Zmodyfikowana metoda strefowo-równoległa poszukiwania ekstremum funkcji wielu zmiennych i jej zastosowanie do znajdywania maksimum wychodu w układzie technologicznym produkcji mieszanki dwóch koncentratów węgla. VI Konferencja „Automatyzacja Procesów Przeróbki Kopalń", Szczyrk 10-13.05.2000.
7. Pielot J.: Maksymalizacja produkcji w sterowaniu procesów przeróbki mechanicznej węgla. V Konferencja APPMK, Szczyrk 5-8.05.1999.
8. Zarębski M.: Model symulacyjny układu regulacji ekstremalnej produkcji mieszanki węgla. Praca dyplomowa magisterska. Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa, Pol. Śląska, Gliwice 1999.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Abstract

In this paper three ways of quick and approximate definition of command signals in the system of adjustment of extreme production of mixture of carbon have been presented. These methods are: revision of the net of points (Fig.1), application of the function of punishment (Fig.2) and approximation of the function by the polynomial. These methods have been used to find maximal function of output mixture of the extracts of coal at given quantities of ash. For the first and the second method calculations for five variations have been carried out accepting different accuracy of calculations. However, for the third method the calculations were carried out for three different polynomials. The computer program which was carrying out the calculations was written in MATLAB. Presented calculations have been shown that the problem of maximisation of production of two coal concentrates by the given and constant ash contents can be easily solved by use of discussed methods, especially useful are revision of the net of points and of the function of punishment.