ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: GÓRNICTWO z.238 Nr kol. 1399

Krystian KALINOWSKI, Roman KAULA
Politechnika Śląska, Gliwice

TWORZENIE STRUKTURY STEROWANIA UKŁADÓW TECHNOLOGICZNYCH PROCESÓW PRZERÓBKI KOPALIN POPRZEZ BADANIA WRAŻLIWOŚCI ZMIENNYCH STERUJĄCYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono, na dwóch przykładach, zastosowanie teorii wrażliwości do tworzenia struktury sterowania złożonych układów technologicznych procesów przeróbki kopalin.

CREATION OF A CONTROL STRUCTURE OF MINERAL PREPARATION PROCESSES TECHNOLOGICAL SYSTEMS BY A SENSITIVITY ANALYSIS OF CONTROLLABLE VARIABLES

Summary. This paper presents the uses of the sensitivity theory for creation of the control structure of mineral preparation processes technological complex systems. The applications of sensitivity analysis on two examples are discussed.

1. Wstęp

Zagadnienia związane ze strukturą sterowania procesów przeróbczych sformułowano w pracy [3]. Ogólnie można stwierdzić, że tworzenie struktury sterowania przebiega w następujących etapach:

- układ technologiczny zostaje podzielony na bloki funkcjonalne,
- dla każdego bloku określa się funkcję celu,
- określa się funkcję celu dla całego układu,
- algorytm sterowania opracowuje się opierając się na modelach matematycznych każdego bloku.

Opracowany w ten sposób system może okazać się systemem bardzo złożonym. Istnieje bowiem duża liczba zmiennych sterujących, które mogą mieć wpływ na przyjętą funkcję celu sterowania całego układu. Budowa układów sterowania z uwzględnieniem dużej liczby zmiennych nie jest łatwa nawet przy obecnym rozwoju techniki obliczeniowej, związane to jest przede wszystkim z dużymi trudnościami identyfikacji procesu. Również w złożonych układach technologicznych z nawrotami nie zawsze istnieje możliwość jednoznacznego podziału układu na bloki funkcjonalne, którym można przypisać lokalną funkcję celu.

Liczbę zmiennych sterujących proponuje się ograniczyć opierając się na analizie wrażliwości ich wpływu na funkcję celu. Oznaczając funkcję celu przez J zakłada się, że jest ona funkcją n zmiennych sterujących $x_1, x_2, ..., x_n$.

$$J = J(x_1, x_2, ..., x_n) \tag{1}$$

Wrażliwość $W_i(x_1, x_2, ..., x_n)$ i-tej zmiennej przyjmuje się jako pochodną cząstkową funkcji celu względem tej zmiennej:

$$W_i(x_1, x_2, ..., x_n) = \frac{\partial J(x_1, x_2, ..., x_n)}{\partial x_i} \tag{2}$$

Analiza wrażliwości może stanowić podstawę przy projektowaniu struktury sterowania. Pozwala na wybór takich zmiennych sterujących procesem technologicznym, które mają decydujący wpływ na funkcję celu. Duży wpływ na funkcję celu J mają te zmienne sterujące procesem, dla których wrażliwość jest największa (bezwzględna wartość $W_i(x_1, x_2, ..., x_n)$). Jeśli wartość $|W_i(x_1, x_2, ..., x_n)|$ jest mała, można wyciągnąć wniosek, że funkcja celu J nie jest czuła na zmiany zmiennej x_i i skoncentrować się na innych zmiennych sterujących.

Wyznaczanie wrażliwości w złożonych układach technologicznych procesów przeróbczych metodami analitycznymi jest praktycznie niewykonalne. Jednak technika symulacji i modelowanie matematyczne procesów przeróbczych pozwala na wyznaczanie wrażliwości oraz analizę układów pod tym względem.

W referacie przedstawiono próbę analizy wrażliwości złożonego układu technologicznego procesu wzbogacania węgla.

2. Przykłady badania analizy wrażliwości dla złożonego układu technologicznego

Przykład 1

Schemat technologiczny układu przedstawiono na rys.1 [2]. W układzie tym otrzymuje się trzy produkty handlowe węgla:

- pierwszy produkt uzyskuje się z dwuproduktowego separatora cieczy ciężkiej (HMS1),
- drugi produkt uzyskuje się z dwuproduktowego separatora cieczy ciężkiej (HMS2),
- trzeci produkt jest mieszaniną koncentratów uzyskanych z częściowej strugi dwuproduktowego separatora cieczy ciężkiej (HMS3), hydrocyklonu (HMC) oraz z flotownika (FM).

W układzie tym wzbogacana jest nadawa o charakterystyce składu ziarnowego podanego w tablicy 1 oraz charakterystyce densymetrycznej podanej w tablicy 2.

Tablica 1

Charakterystyka składu ziarnowego rozpatrywanej nadawy

Numer klasy ziarnowej	Wymiary ziarn klasy ziarnowej [mm]	Względny udział klasy ziarnowej [%]
1	200 –30	29.9
2	30 – 10	26.08
3	10 – 6	8.27
4	6 – 3	9.22
5	3 - 0.5	14.93
6	0.5 – 0	11.6

Tablica 2

Charakterystyka składu densymetrycznego rozpatrywanej nadawy

Numer frakcji gęstościowej	Gęstość frakcji [g/cm^3]	Względny udział frakcji [%]	Zawartość popiołu [%]
1	< 1.3	11.09	3.73
2	1.3 - 1.4	28.18	9.47
3	1.4 - 1,5	11.38	21.46
4	1.5 - 1.6	6.37	29.76
5	1.6 - 1.7	5.06	37.49
6	1.7 - 1.8	3.26	44.94
7	1.8 - 1.9	1.92	52.04
8	1.9 - 2	1.47	57.01
9	2 >	31.27	83.25

Założono, że zbiór zmiennych sterujących to:

δ_1 - gęstość rozdziału wzbogacalnika HMS 1,

δ_2 - gęstość rozdziału wzbogacalnika HMS 2,

δ_3 - gęstość rozdziału wzbogacalnika HMS 3,

δ_4 - gęstość rozdziału hydrocyklonu HMC.

W rozpatrywanym punkcie pracy zmienne sterujące przyjmują następujące wartości: δ_1=1.38, δ_2=1.75, δ_3=1.65, δ_4=1.8 [g/cm^3].

Jako kryterium sterowania przyjęto całkowitą wartość produkcji:

$$J(\delta_1,\delta_2,\delta_3,\delta_4) = S_1\gamma_1 + S_2\gamma_2 + S_3\gamma_3 \tag{3}$$

gdzie S_i - cena sprzedaży tony węgla i-tego produktu, (i=1, 2, 3),

γ_i - wychód i-tego produktu [%].

Cena węgla została wyznaczona na podstawie formuły sprzedażnej węgla kamiennego do koksowania przedstawionej w pracy [1], według następującego wzoru:

$$S_k = C_k * (1 - \frac{A-6}{50} - \frac{S_t}{20} - \frac{W_t - 8}{100}) \tag{4}$$

gdzie:

S_k -cena węgla koksowego [zł/Mg],

C_k -unormowana cena węgla wskaźnikowego [zł/Mg],

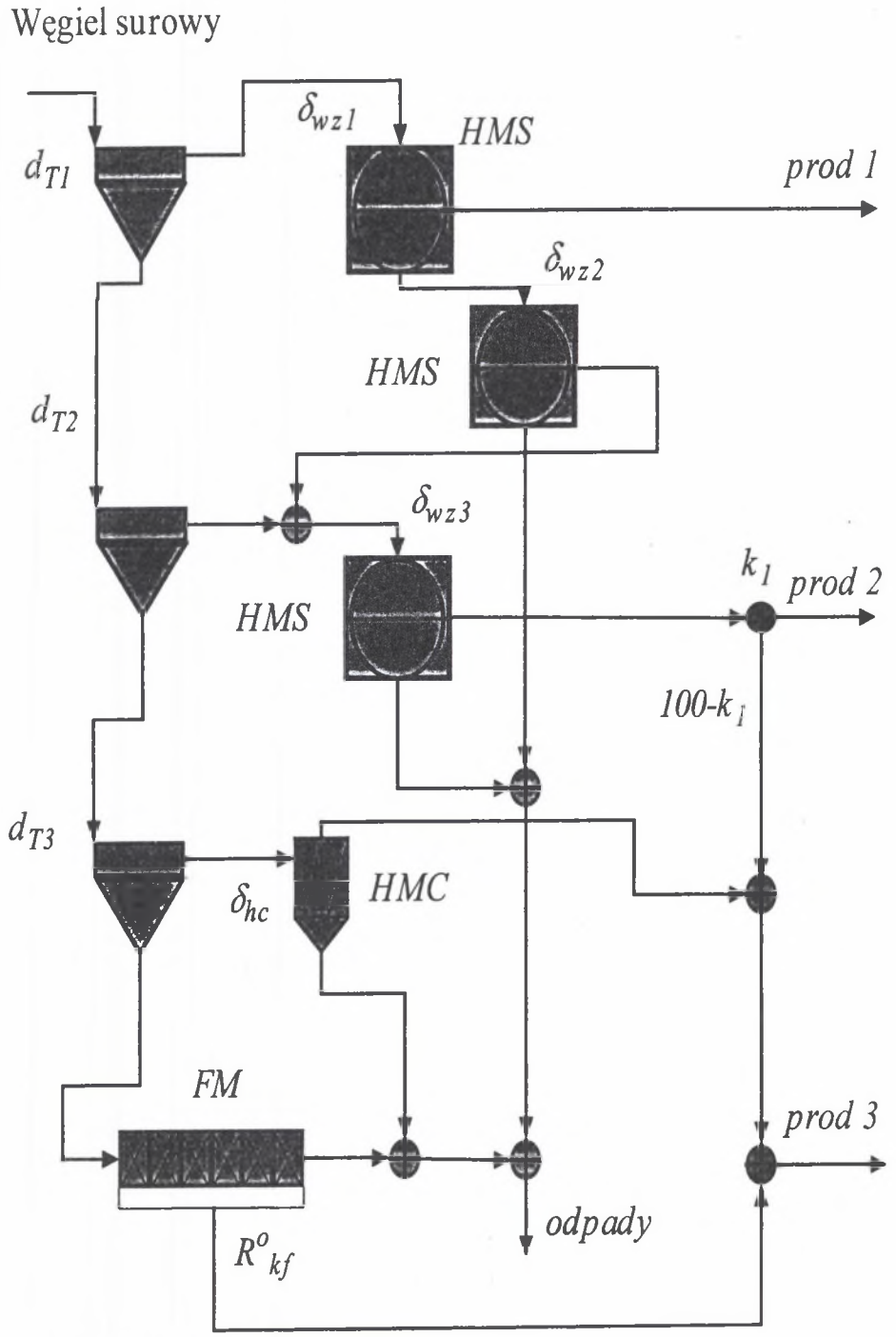
A - zawartość popiołu [%],

S_t - zawartość siarki dla węgla wskaźnikowego (S_t=1%),

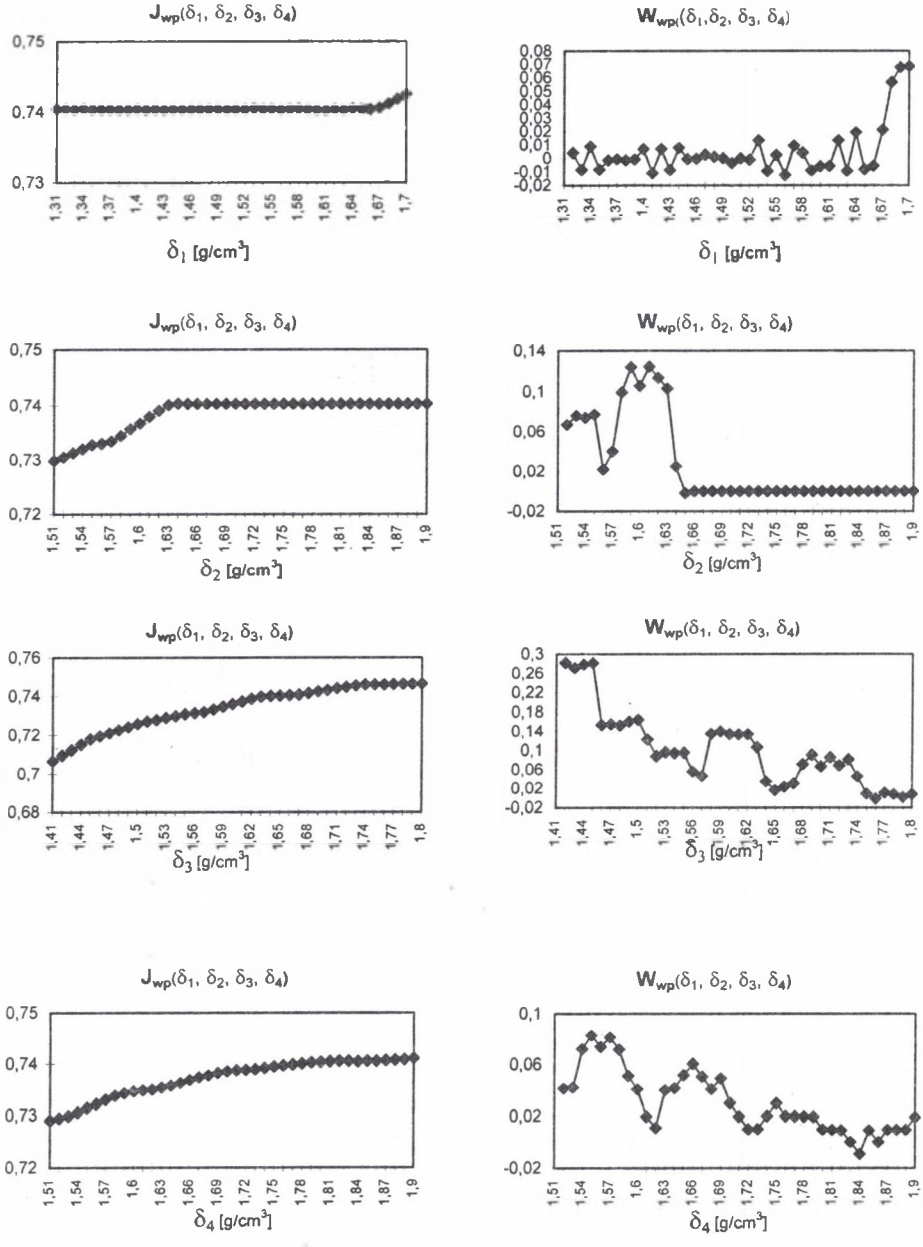
W_t -zawartość wilgoci dla węgla wskaźnikowego (W_t=8%).

Obliczenia wykonano opierając się na modelu symulacyjnym opracowanym w pracy [2] (Cierpisz S. i Pielot J).

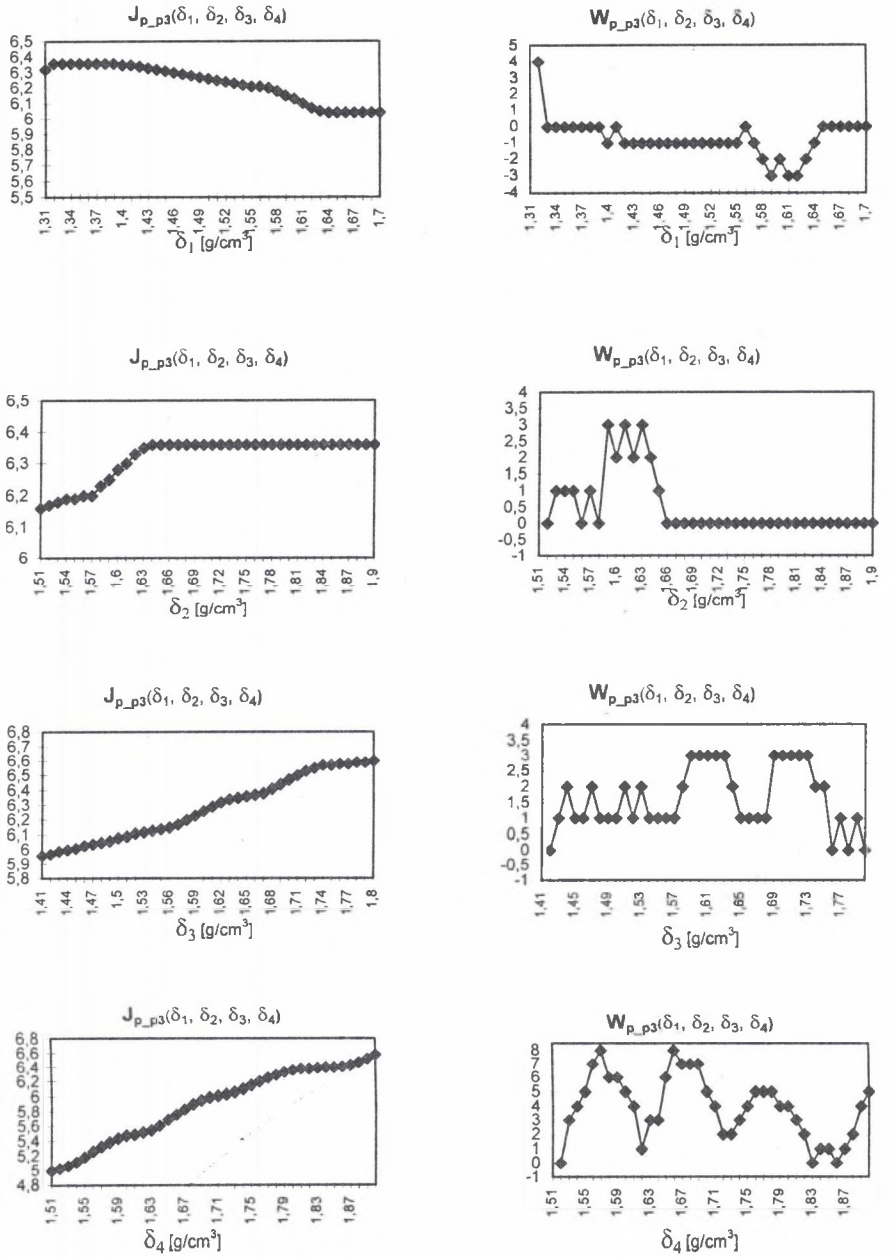
Fragmenty analizy wrażliwości przedstawiono na rys.2. Na poszczególnych rysunkach zilustrowano zależności kryterium sterowania oraz jego wrażliwości od poszczególnych zmiennych sterujących. W analizowanym punkcie pracy największy wpływ na funkcję celu mają zmienne δ_3 i δ_4 ($|W_3|$ i $|W_4|$ są największe).



Rys. 1. Schemat układu technologicznego
Fig. 1.Technological system scheme



Rys.2. Wykresy funkcji celu J i wrażliwości W dla przykładu 1
Fig. 2 Objective function J and sensitivity W graphs for example 1



Rys.3. Wykresy funkcji celu J i wrażliwości W dla przykładu 2
Fig.3. Objective function J and sensitivity W graphs for example 2

Przykład 2

Przyjęto, że celem sterowania jest zawartość popiołu λ_3 w produkcie nr 3, zatem:

$$J(\delta_1,\delta_2,\delta_3,\delta_4) = \lambda(\delta_1,\delta_2,\delta_3,\delta_4) \tag{5}$$

Gdyby istniała konieczność sterowania tego parametru jakościowego, powstaje problem, które z czterech zmiennych sterujących należy uwzględnić w strukturze sterowania. Częściowe wyniki przeprowadzonej analizy wrażliwości poszczególnych zmiennych przedstawiono na rysunku 3. Do najbardziej wrażliwych zmiennych sterujących należy zaliczyć δ_3 i δ_4. Tymi więc zmiennymi należałoby sterować przy przekroczeniu zawartości popiołu w produkcie 3 powyżej 6.5%.

3. Wnioski

1. Przedstawione przykłady potwierdzają możliwość ustalania struktury sterowania złożonych procesów przeróbczych na podstawie analizy wrażliwości wpływu zmiennych sterujących na proces.
2. Opracowanie struktury sterowania zgodnie z zasadami przedstawionymi w pracy [3] wymaga dodatkowo przeprowadzenia analizy wrażliwości dla każdego bloku i całego układu technologicznego.
3. Metoda oceny wrażliwości zmiennych sterujących ma tę zaletę, że nie wymaga znajomości zależności analitycznych pomiędzy funkcją celu a zmiennymi sterującymi, gdyż można do estymacji wrażliwości zastosować metody symulacji.

LITERATURA

1. Blaschke W., Mokrzycki E., Blaschke S., Grudziński Z.: Rola formuł sprzedażnych węgla kamiennego, cenników w warunkach „wolnych" cen na węgiel. Przegląd Górniczy, 1991, t.47, nr 2, s.15-18.

2. Pielot J.: Maksymalizacja produkcji w sterowaniu procesów przeróbki mechanicznej węgla z zastosowaniem komputerowego modelu symulacyjnego. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
3. Sztaba K.: Problemy budowy schematu kontroli w procesach technologii przeróbki. Zbiór referatów na sympozjum „Automatyzacja i Kontrola Procesów Przeróbczych". Katowice 1971.

Abstract

This paper presents the uses of the sensitivity analysis for creation of the control structure of mineral preparation processes technological complex systems. It determines, for the control system, an objective function J, which depends on controllable parameters x_1, x_2,...,x_n. The sensitivity W_i of objective function J in relation to x_i defines the following formula:

$$W_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \frac{\partial J(x_1, x_2, \ldots, x_n)}{\partial x_i}$$

If $|W_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)|$ is big, we conclude, that objective function J is very sensitive to changes x_i. Carrying out the sensitivity analysis, we estimate the controllable variables, which have a significant influence on the objective function J. We can state, that the magnitude $|W_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)|$ provides useful information in a design process.

In the paper, fragments of the sensitivity analysis for the technological complex systems of the coal enrichment process were described. As the objective function were accepted: an economic criterion for a total product value and an ash contents for a single final product.