ZESZYTY NAUKOWE POLICHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 184 Nr kol. 1065

Anna WALASZEK-BABISZEWSKA
Władysław ZAPAŁA

MODEL ZAGĘSZCZENIA NADAWY JAKO ZAKŁÓCENIA W UKŁADZIE AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA PROCESU FLOTACJI WĘGLA

Streszczenie. Zaprezentowano empiryczny model zagęszczenia nadawy na flotację. Przebiegi czasowe zostały zarejestrowane w warunkach normalnej pracy zakładu w czasie kolejnych trzech dni. Każdy zestaw danych zawierał 320-370 pomiarów odczytanych co trzy minuty. Przebiegi czasowe opisano za pomocą modelu ARMA. Do estymacji parametrów modelu zastosowano algorytm numeryczny zaproponowany przez Mayne i Firoozana. Wyniki identyfikacji wskazują, że rozpatrywane zakłócenie może być z powodzeniem modelowane przy użyciu filtru ARMA trzeciego rzędu. Ten sam rząd filtru i te same wartości parametrów okazały się odpowiednie w czasie trzech kolejnych dni pracy zakładu.

1. WSTĘP

Proces flotacji węgla polegający na rozdziale mułu węglowego na koncentrat i odpady w obecności odczynników flotacyjnych, umożliwiających adsorbcję pęcherzyków powietrza na drobnych ziarnach węgla i wynoszenie tych ziarn na powierzchnię pulpy przez powstałą pianę jest uwarunkowany wieloma czynnikami związanymi z jakością nadawy i parametrami maszyny flotacyjnej. W procesie flotacji istotne są następujące parametry nadawy: zagęszczenie mułu węglowego, natężenie przepływu, skład ziarnowy, skład chemiczny. Pozostałymi parametrami wpływającymi na proces flotacji są: ilość powietrza doprowadzana do procesu, ilość i rodzaj odczynników, budowa flotownika i in. Zarówno w dotychczasowych układach regulacji tego procesu, jak i pracach teoretycznych uzależniano ilość dozowanych odczynników od zagęszczenia mułu węglowego.

Zmiany w czasie zagęszczenia nadawy do flotacji stanowią zakłócenie losowe, które może być opisane w postaci procesu stochastycznego. Celowe jest rozpoznanie podstawowych własności tego procesu i przedstawienie modelu zagęszczenia nadawy, co może być wykorzystane do obliczeń komputerowych związanych z pracami projektowymi dotyczącymi układów automatycznego sterowania procesu flotacji węgla.

W niniejszym opracowaniu jako materiał empiryczny do badań posłużyły pomiary zagęszczenia nadawy wykonane w zakładzie flotacji węgla KWK "Jastrzębie", [1] . Pomiary zostały zarejestrowane w sposób ciągły, a następnie odczytane w odstępach czasu co 180 sekund. Zakres pomiaru zagę-

szczenia wynosił 25-100 kg/m^3, a oszacowany błąd odczytu z taśmy rejestrogramu ± 2,5 kg/m^3.

2. IDENTYFIKACJA MODELU ZAGĘSZCZENIA NADAWY

Wstępnie przyjęto, że dynamiczne własności zagęszczenia nadawy można opisać pełnym modelem liniowym n-tego rzędu

$$A(z^{-1})y_t = C(z^{-1})e_t \ , \tag{1}$$

gdzie:

e_t - ciąg nieskorelowanych zakłóceń losowych o wartości średniej równej zero i wariancji σ_e^2,

y_t - scentrowany ciąg zmierzonych wartości zagęszczenia nadawy,

$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \ldots\ldots + a_n z^{-n}$,

$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \ldots\ldots + c_n z^{-n}$.

W opracowanym programie komputerowym wykorzystano atrakcyjną pod względem obliczeniowym metodę, którą zaproponowali Mayne i Firoozan w pracy [3] . Metoda ta stanowi rozwinięcie dwustopniowej metody najmniejszych kwadratów, a kolejne etapy obliczeń są następujące:

$$\sum_{i=1}^{N} \left[B(z^{-1})y_t\right]^2 = \min.$$

$$\varepsilon_t = B(z^{-1})y_t$$

$$\sum_{i=1}^{N} \left[A_1(z^{-1})y_t - C_1(z^{-1})\,\varepsilon_t\right]^2 = \min. \tag{2}$$

$$y_t^f = \frac{1}{C_1(z^{-1})}\, y_t$$

$$\varepsilon_t^f = \frac{1}{C_1(z^{-1})}\, \varepsilon_t$$

$$\sum_{i=1}^{N} \left[A_2(z^{-1})y_t^f - C_2(z^{-1})\,\varepsilon_t^f\right]^2 = \min.$$

gdzie:

$$B(z^{-1}) = 1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \ldots\ldots + b_p z^{-p},$$

$$C_1(z^{-1}) = 1 + c_1^1 z^{-1} + c_2^1 z^{-2} + \ldots\ldots + c_n^1 z^{-n},$$

$$C_2(z^{-1}) = 1 + c_1^2 z^{-1} + c_2^2 z^{-2} + \ldots\ldots + c_n^2 z^{-n},$$

$$A_1(z^{-1}) = 1 + a_1^1 z^{-1} + a_2^1 z^{-2} + \ldots\ldots + a_n^1 z^{-n},$$

$$A_2(z^{-1}) = 1 + a_1^2 z^{-1} + a_2^2 z^{-2} + \ldots\ldots + a_n^2 z^{-n},$$

przy czym $n < p$.
Resztę modelu wyznaczono ze wzoru:

$$r_t = A_2(z^{-1})y_t - \left[C_2(z^{-1}) - 1\right] r_t . \tag{3}$$

Należy zaznaczyć, że algorytm Mayne-Firoozana nie minimalizuje wariancji reszty modelu, lecz sumę

$$S = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{A_2(z^{-1}) - C_2(z^{-1})B(z^{-1})}{C_1(z^{-1})}\, y_t\right]^2 . \tag{4}$$

Ponieważ w powyższym algorytmie przeprowadzana jest filtracja przez filtr o transmitancji dyskretnej $1/C_1(z^{-1})$, zastosowano algorytm Ružičkí sprawdzania stabilności wielomianu $C_1(z^{-1})$, [2].

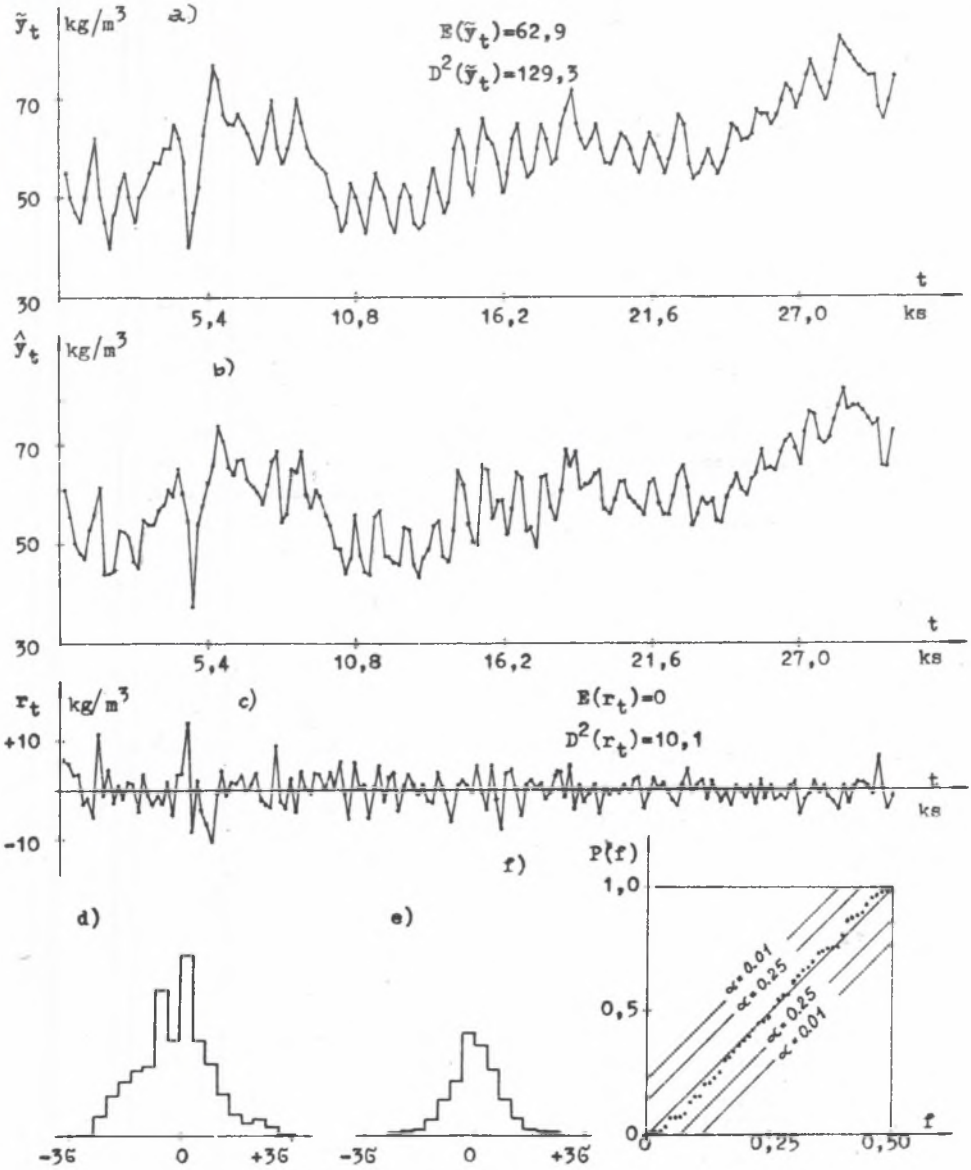
3. WYNIKI OBLICZEŃ

Do obliczeń wykorzystano 3 serie danych o długości 370,320,320 pomiarów zmierzonych w kolejnych trzech dniach. Pierwsza seria danych wykorzystana została w celu identyfikacji rzędu modelu i estymacji jego parametrów, natomiast dwie pozostałe serie do weryfikacji modelu. Do obliczeń przyjęto p=5 i p=6 oraz rząd modelu od n=1 do n=5. Wartości estymowanych parametrów przy różnych rzędach modelu dla pierwszej serii pomiarów przedstawiono w tabeli 1. Przeprowadzenie testów doboru rzędu modelu pozwoliło na przyjęcie modelu trzeciego rzędu. Przykładowy fragment przebiegu czasowego zagęszczenia nadawy, prognozy zagęszczenia z wyprzedzeniem trzech minut oraz reszty modelu przedstawiono na rys.1. W celu określenia wariancji estymowanych parametrów modelu przy wykorzystaniu algorytmu Mayne-Firoozana przeprowadzona została symulacja cyfrowa.

Tabela 1

Wartości estymowanych parametrów przy różnych rzędach modelu

	p=5				p=6				
	$b_1=-1,272$ $b_2=0,493$ $b_3=0,176$ $b_4=-0,439$ $b_5=0,072$				$b_1=-1,249$ $b_2=0,384$ $b_3=0,215$ $b_4=-0,307$ $b_5=-0,251$ $b_6=0,249$				
	n=1	n=2	n=3	n=4	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
a_1^2	-0,916	-1,427	-1,597	-1,540	-0,919	-1,359	-1,686	-1,630	-1,361
a_2^2	-	0,456	1,155	0,996	-	0,408	1,477	1,367	0,472
a_3^2	-	-	-0,538	-0,284	-	-	-0,760	-0,617	0,485
a_4^2	-	-	-	-0,145	-	-	-	0,079	-0,851
a_5^2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,298
c_1^2	0,326	-0,220	-0,298	-0,265	0,295	-0,138	-0,414	-0,379	-0,104
c_2^2	-	-0,246	0,228	0,150	-	-0,135	0,511	0,517	-0,064
c_3^2	-	-	-0,204	-0,116	-	-	-0,120	-0,091	0,253
c_4^2	-	-	-	0,098	-	-	-	0,098	-0,183
c_5^2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,178



Rys.1. Przebiegi czasowe:

a) przebieg czasowy zagęszczenia nadawy, b) prognoza z wyprzedzeniem trzech minut zagęszczenia nadawy wykonana na podstawie modelu, c) reszta modelu, d) histogram zagęszczenia nadawy, e) histogram reszty modelu, f) periodogram reszty modelu.

Fig.1. Time serieses:

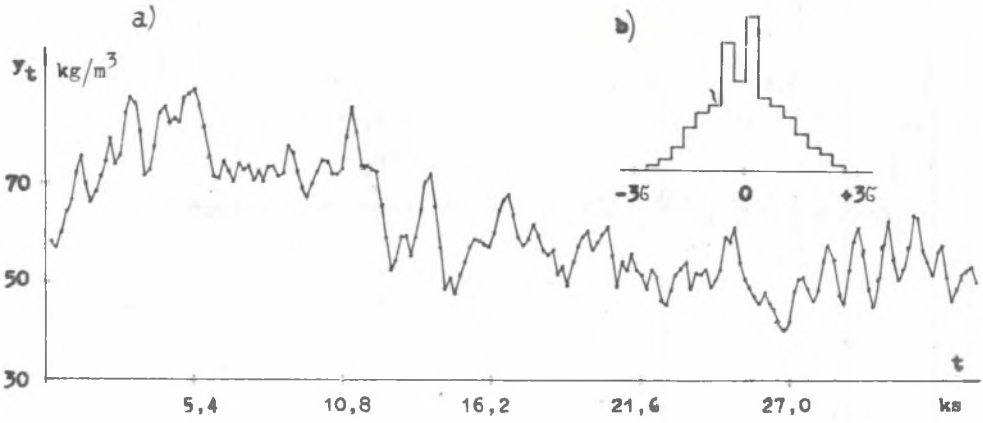
a) time series of the material feed concentration, b)forecast with three minutes ahead of the material feed concentration based on the model, c) model error, d) frequency bar chart of the material feed concentration, e) frequency bar chart of the model error, f) periodogram of the model error.

Wygenerowano 20 ciągów, każdy o długości 370 danych. Pojedynczy element y_t ciągu wyznaczono z równania:

$$y_t = 1,686y_{t-1} - 1,477y_{t-2} + 0,760y_{t-3} + e_t - 0,414e_{t-1} + 0,511e_{t-2} - 0,120e_{t-3}$$

gdzie e_t – zmienna losowa o rozkładzie normalnym wartości średniej równej zero i wariancji $\sigma_e^2 = 10,1$.

Przykładowy fragment symulowanego przebiegu zagęszczenia nadawy przedstawiono na rys.2. Dla każdego z 20 wygenerowanych ciągów przeprowadzono estymację parametrów modelu trzeciego rzędu zgodnie ze wzorem (2). Wyznaczone kolejne wartości parametrów stanowiły z kolei podstawę do oszacowania ich wartości średniej oraz wariancji względem rzeczywistych parametrów modelu, występujących w równaniu (5). Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 2. Zamieszczone w tabeli 3 wartości estymowanych parametrów na podstawie danych z trzech kolejnych serii pomiarów umożliwiają dokonanie oceny zmian w czasie tych wielkości.



Rys.2. a) przykładowy symulowany cyfrowo przebieg czasowy zagęszczenia nadawy, b) histogram symulowanego przebiegu czasowego.

Fig.2. a) An example of digital simulation of time series of the material feed concentration, b) frequency bar chart of the simulated time series

Tabela 2

Wartości średnie i odchylenia standardowe estymowanych parametrów modelu

Parametr	Wartość średnia	Odchylenie standardowe od wartości rzeczywistej
a_1^1	- 1,644	0,081
a_2^1	1,366	0,179
a_3^1	- 0,687	0,114
c_1^1	- 0,384	0,094
c_2^1	0,455	0,084
c_3^1	- 0,1546	0,077
a_1^2	- 1,665	0,067
a_2^2	1,398	0,149
a_3^2	- 0,699	0,099
c_1^2	- 0,400	0,091
c_2^2	0,442	0,083
c_3^2	- 0,137	0,053

Tabela 3

Wartości estymowanych parametrów dla trzech serii pomiarów

Parametr	I seria	II seria	III seria
a_1^2	- 1,686	- 1,661	- 1,467
a_2^2	1,477	1,495	1,005
a_3^2	- 0,760	- 0,812	- 0,597
c_1^2	- 0,414	- 0,530	- 0,182
c_2^2	0,511	0,606	0,555
c_3^2	- 0,120	-0,232	- 0,074

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że przebieg czasowy zagęszczenia nadawy na flotację w KWK "Jastrzębie" można opisać za pomocą pełnego procesu ARMA trzeciego rzędu. Wariancja reszty modelu jest o rząd wielkości mniejsza od wariancji obserwowanego przebiegu czasowego zagęszczenia nadawy. Odchylenie standardowe reszty modelu jest nieco większe od oszacowanego błędu odczytu z taśmy rejestrogramu. Przeprowadzone testy (test znaków, test serii, funkcja autokorelacji, periodogram kumulacyjny) nie pozwalają na odrzucenie hipotezy o nieskorelowaniu reszt modelu trzeciego rzędu. Jednocześnie test χ^2 przeprowadzony dla rozkładu reszt modelu nie pozwala odrzucić hipotezy o rozkładzie normalnym reszty. Estymacja parametrów modelu dla ciągów zmierzonych w czasie kolejnych trzech dni wskazuje, że wartości parametrów modelu mieszczą się w zakresie trzech odchyleń standardowych zastosowanej metody obliczeń. Wykorzystanie parametrów modelu trzeciego rzędu, wyestymowanych na podstawie jednej serii pomiarów dla innego zestawu danych pomiarowych (tzw. weryfikacja cross-checking), nie wpływa na korelację reszt modelu ani nie wpływa znacząco (zmiany kilka procent) na wariancję reszt modelu. Można zatem przyjąć, że parametry modelu w czasie kilku dni nie ulegają zmianie. W trakcie obliczeń numerycznych nie wystąpił przypadek niestabilności wielomianu $C_1(z^{-1})$, co wskazuje na możliwość wykorzystania algorytmu Mayne-Firoozana do estymacji parametrów modelu zagęszczenia nadawy na flotację.

LITERATURA

[1] Cierpisz S., Kalinowski K. i in.: Opracowanie algorytmu i program poszukiwania optymalnego punktu pracy dla układu sterowania procesem flotacji. Prace IEiAG, praca NB-404/RG-1/86, Gliwice 1988.

[2] Mańczak K., Nahorski Z.: Komputerowa identyfikacja obiektów dynamicznych. PWT, Warszawa 1983.

[3] Mayne D.Q., Firoozan F.: Linear Identification of ARMA Processes. Automatica, Vol.18, No.4, pp.461-466, 1982.

МОДЕЛЬ ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ КАК ПОМЕХИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ

Р е з ю м е

В реферате представлена эмпирическая модель плотности пульпы на входе флотационной машины. Временные ряды плотности были регистрированны во время нормальной работы обогатительной фабрики, в три очередние дня. Каждый состав данных состоялся из 320-370 измерении отчитанных с шагом 3 минут. Временные ряды данных были описаны моделю ARMA. Для оценки параметров был применен цифровый алгоритм предложен в работе Мауне и Firoozana. Результаты идентификации показывают что рассматриванные в реферате помехи могут быть удовлетворительно моделированны при помощи фильтра ARMA третьего порядка. Тот же порядок фильтра и те самые параметры оказались ответственны для каждого из трех дней.

THE MODEL OF THE MATERIAL FEED CONCENTRATION AS A DISTURBANCE IN THE CONTROL SYSTEM OF THE COAL FLOTATION PROCESS

S u m m a r y

Empirical model of the material feed concentration to the coal flotation plant has been presented. Time serieses were obtained under normal operation conditions during three successive days. Each data record consists of 320-370 data points obtained every 3 minutes. Time series was described by ARMA model. The numerical algorithm which was proposed by Mayne and Firoozan has been applied to the estimation of the parameters of the model. The results of identification shoved that the considered disturbance can be successfully modelled using three order of ARMA filter. The same order of ARMA filter and the same values of parameters can be used for the three successive days of operation.

Recenzent: Doc. dr inż. Czesław Kozłowski