

Tadeusz Palimąka , Edward Radwański

Instytut Techniki Ciepłej

## PEWNE ASPEKTY BUDOWY MODELU MATEMATYCZNEGO PRACY POLA GÓRNICZEGO KOPALNI SIARKI

W artykule podjęto próbę identyfikacji (tzn. budowy modelu matematycznego właściwego z punktu widzenia celu sterowania) i optymalizacji pracy pola górniczego kopalni siarki. W tym celu zastosowano metodę analizy regresji, a uzyskane wyrażenia stochastyczne wykorzystano do budowy wskaźnika jakości i obliczeń. Otrzymane wyniki obliczeń poddano krytycznej analizie pod kątem przydatności w procesie sterowania wydobywaniem siarki metodą otworową. W zakończeniu sformułowano wymagania, które powinny umożliwić budowę efektywnego w wykorzystaniu modelu matematycznego.

### Wykaz oznaczeń

- b - współczynniki zależności stochastycznej
- F - rozkład Snedecora
- K - liczba współczynników zależności stochastycznej
- N - liczba pomiarów
- P - liczba zakłóceń dodatkowych
- R - współczynnik korelacji wielowymiarowej
- S - liczba wejść modelu
- t - całkowity przedział czasu pracy otworu eksploatacyjnego
- U - wielkości wejściowe obiektu
- Z - zakłócenia dodatkowe
- x - wielkość wyjściowa obiektu
- $\hat{x}$  - wielkość wyjściowa modelu
- $Q_{i,b}$  - zasobność siarki przynależna odpowiednio do otworu eksploatacyjnego oraz całego pola górniczego

- $\alpha$  - poziom istotności  
 $\varphi$  - funkcja.

## 1. WSTĘP

Siarka jako surowiec wykorzystywana jest szeroko w przemyśle, szczególnie chemicznym. Złoża siarki zalegają na dużych głębokościach (np. rzędu 200 m) i dlatego też pozyskiwanie tego minerału wymaga dużych nakładów finansowych. Obecnie powszechnie stosowaną metodą wydobycia siarki zalegającej w złożach na dużych głębokościach jest metoda otworowa.

Ujęcie złożonych zjawisk towarzyszących temu procesowi w formuły matematyczne jest bardzo trudne; wymaga bowiem uzyskania rzeczywistych informacji geologicznych, hydrologicznych i cieplnych oraz ich zmian w czasie w obszarze eksploatowanego złoża. W praktyce brak jest takich danych uzyskanych z pomiarów. Dlatego też podjęto w tej pracy szereg prób budowy modelu matematycznego pracy otworu eksploatacyjnego, a także całego pola górniczego kopalni siarki w oparciu o pomiary wykonywane na powierzchni pola górniczego. Do tego celu zastosowano metodę analizy regresji.

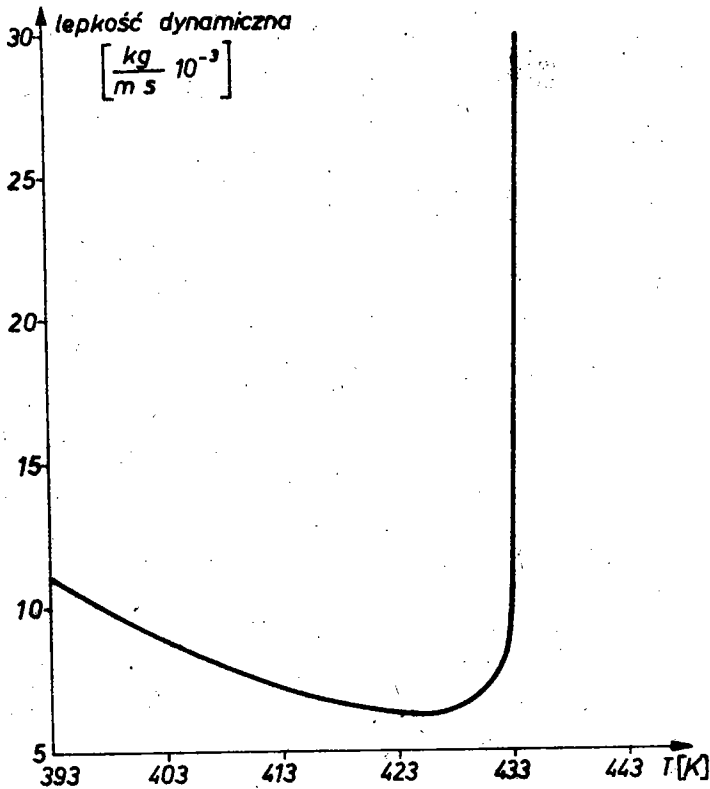
## 2. PROCES WYDOBYCIA SIARKI METODĄ OTWOROWĄ

Zaleganie złóż siarki na głębokościach ok. 200 m stwarza duże problemy w eksploatacji tego materiału. Pozyskanie siarki jest możliwe dzięki specjalnej technice wydobywczej, tzw. metodzie otworowej lub metodzie podziemnego wytapiania [1, 6, 7, 8].

Proces wydobycia siarki metodą podziemnego wytapiania polega na:

- ogrzaniu porowatego złoża wypełnionego siarką do temperatury topienia siarki przy użyciu gorącej wody,
- wytopieniu siarki ze szkieletu złoża,
- podgrzaniu ciekłej siarki do temperatury jej najniższej lepkości dynamicznej (rys.1.1) zapewniającej najlepszy wpływ

płynnej siarki z porów pod perforacją dolną uzbrojenia otworu eksploatacyjnego,



Rys.1. Zmiana lepkości płynnej siarki w zależności od temperatury

- wprowadzeniu w obszar ciekłej siarki sprężonego powietrza,
- wydobytcu ciekłej siarki w postaci płynu dyspersyjnego (ciekła siarka i powietrze) na powierzchnię,
- odbiorze wody złożowej o parametrach technologicznie nieprzydatnych w celu odprężenia złoża.

Wydobyta ze złoża ilość siarki jest zależna od strumienia energii, sposobu jego wprowadzenia i charakterystyki złoża (budowa litograficzna złoża, jego osiarkowanie, porowatość, miąższość itp.). Informacje o charakterystyce złoża uzyskuje się z próbek odwiertów górniczych i są one aktualne w stanie

początkowym (przed przystąpieniem do eksploatacji). Należy podkreślić, że jest to informacja niepełna, ponieważ pochodzi z punktowo pobranych próbek, a odnoszona jest do obszaru złoża podporządkowanego otworowi eksploatacyjnemu.

W otworowej metodzie eksploatacji siarki, woda technologiczna w określonej ilości, temperaturze i ciśnieniu oraz sprężone powietrze (w określonej ilości) doprowadzone są do złoża przez odpowiednio uzbrojone otwory eksploatacyjne [1, 5, 8]. Otwory te mogą być łączone w pewne grupy tworząc pole górnicze kopalni siarki.

Aby proces eksploatacji siarki metodą otworową przebiegał właściwie, konieczne jest odbieranie wody złożowej. Jest to możliwe dzięki otworom odprężającym, odpowiednio umiejscowionym względem frontu eksploatacyjnego.

Ujęcie zjawisk zachodzących w złożu podczas eksploatacji siarki metodą otworową w formuły matematyczne jest skomplikowane i niepewne, co wynika z braku informacji bezpośrednio na poziomie złoża w trakcie eksploatacji. Dlatego też przyjęto, że podstawowe informacje wymagane do identyfikacji obiektu (tzn. całego pola górniczego) będą zaczerpnięte z pomiarów wielkości wejściowych zadawanych do otworu eksploatacyjnego takich jak - temperatura, ilość i ciśnienie wody technologicznej, ilość i ciśnienie powietrza oraz wielkości wyjściowej - ilości ciekłej siarki. Pomiarów te wykonuje się na powierzchni ziemi.

W przedstawionych poniżej rozważaniach przyjęto, że osiarkowane złożo jest zanikającym źródłem siarki, którego zmienna w czasie charakterystyka stanowi zakłócenie wielkości wejściowych.

W wyniku wzajemnego oddziaływania wielkości wejściowych i źródła siarki uzyskuje się wielkość wyjściową w postaci ciekłej siarki.

Należy podkreślić, że istotny wpływ na przebieg procesu wydobywania siarki ma sposób realizacji zadawania wielkości wejściowych do pojedynczych otworów, wzajemne oddziaływanie otworów, a także sposób i ilość odbieranej wody złożowej oraz ciekłej siarki.

### 3. SPRECYZOWANIE ZADANIA BADAWCZEGO

W oparciu o przedstawiony powyżej zbiór informacji oraz uwzględniając specyfikę procesu wydobywczego siarki podjęto próbę rozwiązania zadania polegającego na:

- zbudowaniu zależności stochastycznej wiążącej wielkość wyjściową z wielkościami wejściowymi (w oparciu o zbiór informacji pochodzących od wszystkich pracujących otworów) dla całego pola górniczego kopalni siarki,
- wyznaczeniu optymalnych wartości wielkości wejściowych według założonej postaci wskaźnika jakości procesu (z zachowaniem ograniczeń fizycznych tych wielkości przy jednoczesnym uwzględnieniu warunków eksploatacji na rozpatrywanym polu górniczym),
- określeniu wartości wielkości wejściowych dla pojedynczego otworu eksploatacyjnego oraz dla całego pola górniczego w kolejnych przedziałach czasowych eksploatacji.

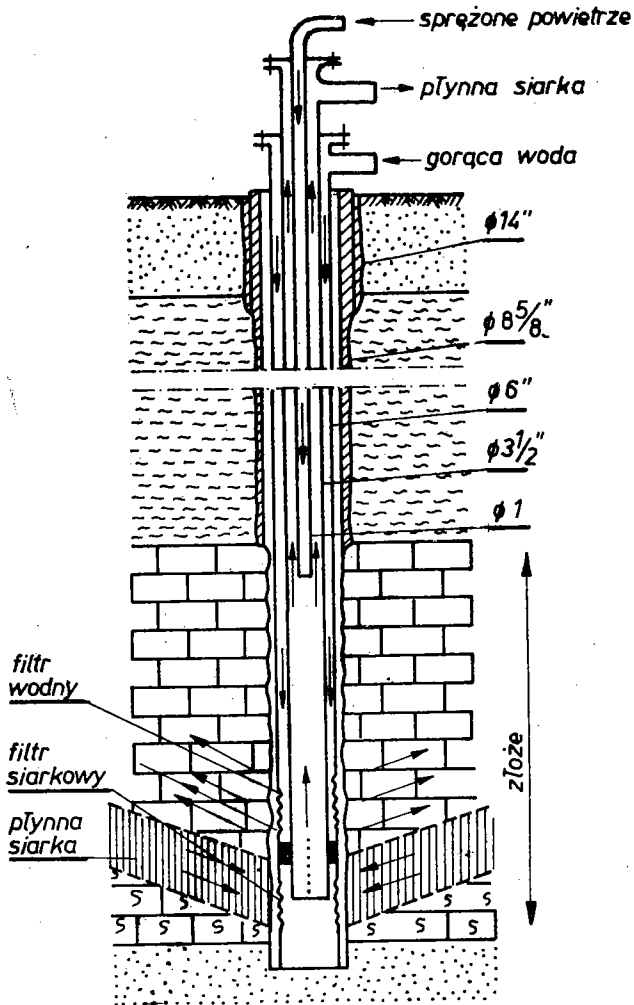
Przyjęty minimalny przedział czasu jest równy jednej dobie; oznacza to, że przyjmuje się charakterystykę złoża w tym czasie za niezmienną.

### 4. MODEL MATEMATYCZNY OBIEKTU I JEGO ANALIZA

Celem poniższych rozważań jest identyfikacja pracy całego pola górniczego kopalni siarki. Przyjęte postacie zależności stochastycznej będą wykorzystywane do budowy wskaźnika jakości, według którego zostanie przeprowadzona optymalizacja procesu wydobywczego. Wyznaczone wartości optymalne wielkości wejściowych (słuszne w okresie jednej doby) mogą służyć za podstawę przy ustalaniu wartości wejściowych na dzień następny. Daje to możliwość bieżącej budowy i weryfikacji modelu matematycznego obiektu.

W celu rozwiązania powyżej sprecyzowanego zadania w oparciu o schemat obiektu sterowania (składającego się z  $N$  otworów eksploatacyjnych - przykładowo budowę jednego z nich pokazano na rys.2 [2, 5]) przyjęto następujące założenia:

- Pole górnicze kopalni siarki jako obiekt sterowania posiada  
S wejść U, jedno wyjście x.



Rys.2. Przekrój otworu eksploatacyjnego w o-siarkowanym złoże

Na obiekt ten działa P zakłóceń dodatkowych Z (nie należy mylić z charakterystyką złoże siarki traktowaną jako zakłócenie wielkości wejściowych).

- Zależność stochastyczną wiążącą wielkość wyjściową z wielkościami wejściowymi można przybliżyć wyrażeniem w postaci

$$[2, 5]$$

$$\hat{x} = \hat{x}(U, b) \quad (1)$$

gdzie:

$b$  - poszukiwane współczynniki,

$\hat{x}$  - wartości wielkości wyjściowej,

$U$  - wielkości wejściowe uzyskane w oparciu o dokonane pomiary.

Jest to tzw. funkcja regresji drugiego rodzaju [5]. Przyjęcie metody analizy regresji jako narzędzia do opracowania modelu matematycznego obiektu wynikało tak ze specyfiki pracy otworów wydobywczych (metoda bazuje na eksperymencie biernym), jak również z tego względu, że metoda ta nie wymaga ograniczeń co do rozkładu gęstości prawdopodobieństwa zakłóceń dodatkowych. Ponadto zakłada się, że charakterystyki statystyczne zakłóceń dodatkowych nie zmieniają się w funkcji czasu (są stacjonarne), a pomiary wielkości wejściowych i wyjściowej wykonuje się z tą samą dokładnością i w określonych odstępach czasu [2, 5].

Postać zależności (1) przyjęto arbitralnie

$$\hat{x} = U b \quad (2)$$

Zmienne  $\hat{x}$  i  $U$  są macierzami zawierającymi informację z wyjścia i wejścia obiektu. Dalsze rozważania mają na celu obliczenie wartości współczynników  $b$  oraz przeprowadzenie statystycznej oceny zależności (2), czyli wyznaczenie współczynnika korelacji wielowymiarowej  $R$  oraz określenie istotności rozważanej zależności wykorzystując rozkład  $F$  Snedecora [2, 5].

Należy podkreślić, że mimo przyjęcia odpowiedniej postaci zależności (2) prezentowana metoda może nie dać oczekiwanych wyników. Przyczyną tego może być nie tyle błąd metody, lecz sam eksperyment, w ramach którego wielkości pomiarowe mogą zmieniać się w zbyt wąskim zakresie. Ma wtedy miejsce próba budowy modelu matematycznego w oparciu o dane pochodzące praktycznie z jednego punktu pracy.

Zależność (2) ma charakter interpolacyjny i dlatego współczynnikiem  $b$  nie należy przypisywać sensu fizycznego, mimo że się go nie wyklucza.

## 5. ROZWAŻANIA ILOŚCIOWE

W celu wyznaczenia współczynników zależności (2) oraz wartości wskaźnika jakości procesu eksploatacyjnego wykorzystano dane pomiarowe pochodzące z pola górniczego kopalni siarki, składającego się z 12 aktywnie pracujących otworów wydobywczych.

Poniższe rozważania będą prowadzone w oparciu o następujące oznaczenia:

- $x$  - dobowe wydobycie ciekłej siarki,
- $U_1$  - liczba aktualnie pracujących otworów wydobywczych w ramach pola górniczego,
- $U_2$  - ciśnienie wody technologicznej,
- $U_3$  - temperatura wody technologicznej,
- $U_4$  - dobowe zużycie sprężonego powietrza,
- $U_5$  - ciśnienie sprężonego powietrza,
- $U_6$  - dobowe zużycie wody technologicznej.

Podane niektóre z wyników obliczeń pochodzą z wielu podjętych prób identyfikacji pracy obiektu jak i jego optymalizacji.

W pierwszym (z przedstawionych) przypadku założono, że wartości średnie wielkości mierzonych (w okresie trzech miesięcy) są najbardziej prawdopodobnymi informacjami mogącymi posłużyć do obliczeń ilościowych (w obliczeniach posługiwano się wartościami niemianowanymi użytych wielkości).

Poszukując ze zbioru możliwych postaci zależności stochastycznych (2) modelu pod kątem ich istotności (w sensie matematycznym), wybrano do obliczeń zależność

$$\hat{x} = b_1 \exp\left(\frac{U_5}{U_2}\right) + b_2 \frac{U_6}{U_3} + b_3 \frac{1}{U_2} \ln\left(\frac{U_4 U_5}{U_2}\right) + b_4 \frac{U_4}{U_6} \quad (3)$$

Obliczone numerycznie (wykorzystując rachunek krakowianowy) wartości współczynników  $b$  zawarto w poniższej tabelcy:

$$b = \begin{bmatrix} -66,90 \\ 4,77 \\ 23,08 \\ 19,81 \end{bmatrix}$$



Wartości te odnoszą się do danych pochodzących z 11 otworów eksploatacyjnych. Wynikło to stąd, że dane pochodzące z jednego z otworów zbyt daleko odbiegały od wartości uzyskanych z zależności (3) (rzędu 40%).

Wartość współczynnika korelacji wielowymiarowej wyniosła  $R = 0,971$ , natomiast wartość funkcji testowej  $F = 24,35$ , gdy  $F_{kr} = 4,53$  przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  [9], co przy spełnieniu warunku  $F > F_{kr}$  oznacza spełnienie warunku istotności zależności (3).

Przechodząc do procesu optymalizacyjnego wprowadzono (podlegający maksymalizacji) wskaźnik jakości  $Y$  opisany zależnością

$$Y = \frac{\hat{x}}{U_2 U_3 U_6} \quad (4)$$

Przyjęta postać wskaźnika jakości podyktowana była tym, że koszty eksploatacji uzależnione są od nakładów na produkcję nośnika energii (gorącej wody) z uwzględnieniem jego parametrów termodynamicznych.

W oparciu o zależności (3) i (4) uzyskuje się zależność na wskaźnik jakości o postaci:

$$Y = b_1 \frac{\exp\left(-\frac{U_5}{U_2}\right)}{U_2 U_3 U_6} + b_2 \frac{1}{U_2 U_3^2} + b_3 \frac{\ln\left(\frac{U_4 U_5}{U_2}\right)}{U_2^2 U_3 U_6} + b_4 \frac{U_4}{U_2 U_3 U_6^2} \quad (5)$$

przy ograniczeniach wynikających z przebiegu procesu eksploatacyjnego

$$5,7 \leq U_2 \leq 10,6$$

$$153 \leq U_3 \leq 165$$

$$127 \leq U_4 \leq 470$$

$$6,7 \leq U_5 \leq 15,1$$

$$325 \leq U_6 \leq 520$$

Ponadto w formie ograniczenia należy wprowadzić sprawdzanie bieżącej zasobności złoża jako źródła zanikającego. W odniesieniu do pola górniczego kopalni siarki ograniczenie to można opisać zależnością

$$Q_b = \sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N \sum_{\tau=0}^t x_{\tau i} \quad (6)$$

gdzie:

- $Q_i$  - zasobność siarki przynależna do każdego otworu pola górniczego ( $i = 1, 2, \dots, 12$ ),
- $x_{\tau i}$  - produkcja siarki w rozpatrywanych przedziałach czasowych  $i$ -tego otworu,
- $Q_b$  - bieżąca zasobność pola górniczego,
- $t$  - całkowity przedział czasu w jakim rozważana jest praca otworu.

Wobec niemożliwości uzyskania danych głównie w zakresie wielkości  $Q_i$  ograniczenie to nie zostało dotychczas uwzględnione w algorytmie obliczeniowym.

Maksymalizując postać zależności  $Y$  w funkcji zmiennych wejściowych  $U$ , uzyskano następujące wartości nastaw sterujących:

$$\begin{aligned} U_2 &= 0,57 \text{ MPa,} \\ U_3 &= 426 \text{ K,} \\ U_4 &= 470 \text{ m}^3/\text{dobę,} \\ U_5 &= 1,51 \text{ MPa,} \\ U_6 &= 325 \text{ m}^3/\text{dobę} \end{aligned}$$

przy wynikającej stąd produkcji ciekłej siarki  $\hat{x} = 62,8 \text{ t/dobę}$ .

Obliczony wskaźnik jednostkowego zużycia wody na 1 t siarki wynosi  $5,2 \text{ m}^3/\text{t}$  S. Należy podkreślić, że obliczone wartości wielkości są bardzo bliskie wartościom ograniczeń ( $U_2, U_3, U_6$  - na ograniczeniach dolnych,  $U_4, U_5$  - na ograniczeniach górnych).

Przyjmując, że zależność stochastyczna (3) była pierwszą próbą na drodze do znalezienia jej odpowiedniej postaci (pod kątem wykorzystania jej do celów sterowania obiektem) podjęto dalsze próby. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o dane po-

T a b l i c a 1

Warunki		Wyznaczone wielkości	Wyniki obliczeń
1	2	3	4
I	1.1	Postać zależności stochastycznej	$\hat{x} = 19,72 - 0,19 \cdot 10^{-3} U_3 U_6 - 0,13 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{U_5 - U_2}{U_3} + 0,6 \cdot 10^{-7} U_4 U_5$
	1.2	Wartość współczynnika korelacji wielowymiarowej R	R = 0,97
	1.3	Wartość funkcji rozkładu F Snedecora	F = 42,45; F <sub>kr</sub> = 4,07 przy $\alpha = 0,05$
	1.4	Postać wskaźnika jakości Y	$Y = \frac{\hat{x}}{U_3 U_6}$
	1.5	Wyniki obliczeń optymalizacyjnych	U <sub>2</sub> = 1,06 MPa U <sub>3</sub> = 419 K U <sub>4</sub> = 470 m <sup>3</sup> /d U <sub>5</sub> = 1,51 MPa U <sub>6</sub> = 205 m <sup>3</sup> /d $\hat{x}$ = 56,2 t/d
I	1.1	Postać zależności stochastycznej	$\hat{x} = 14,68 - 0,94 \cdot 10^{-3} \cdot (U_5 - U_2) U_3 \cdot U_6 + 0,11 \cdot U_4 U_5 + 1,26 \frac{U_2 U_3 U_6}{U_4 U_5}$
	1.2	Wartość współczynnika korelacji wielowymiarowej R	R = 0,89
	1.3	Wartość funkcji rozkładu F Snedecora	F = 10,16; F <sub>kr</sub> = 4,07 przy $\alpha = 0,05$
	1.4	Postać wskaźnika Y	$Y = 100 \hat{x} - (15 U_6 + 3 U_4)$
	1.5	Wyniki obliczeń optymalizacyjnych	U <sub>2</sub> = 1,06 MPa U <sub>3</sub> = 438 K U <sub>4</sub> = 2580 m <sup>3</sup> /d U <sub>5</sub> = 0,67 MPa U <sub>6</sub> = 6240 m <sup>3</sup> /d $\hat{x}$ = 1411,63 t/d

miarowe pochodzące z 12 otworów eksploatacyjnych. Pozostałe założenia pozostały nie zmienione.

W tabelicy 1 podano przykładowo wyniki obliczeń dla dwóch przypadków. W kolumnie 1 i 2 podano numerację kolejnych obliczeń, a w 3 i 4 odpowiednio wyznaczone wielkości oraz wyniki obliczeń. Dla zależności (I.1.1) wartości współczynników  $b$  zostały wyznaczone w oparciu o dane pochodzące z eksploatacji dla trzech kolejnych dni, a w kolumnie 4 podano wyniki obliczeń dla trzeciego dnia.

Do celów optymalizacyjnych w przypadku I przyjęto postać wskaźnika jakości (patrz kolumna 4) w którym o ilości wydobytej ciekłej siarki decyduje jedynie ilość gorącej wody oraz jej temperatura. Natomiast w przypadku II przyjęta postać daje możliwość oszacowania różnicy między wartością wynikającą z ilości wydobytej siarki a kosztami nakładów na uzyskanie wody technologicznej i sprężonego powietrza o określonych parametrach (wartości stałych przyjęto arbitralnie - koszt produkcji 1 tony siarki założono 100 jednostek, natomiast 1 m<sup>3</sup> wody technologicznej - 15, a 1 m<sup>3</sup> sprężonego powietrza - 3).

Obliczone wartości wielkości wejściowych w I przypadku bliskie są też wartościom ograniczeń.

W przypadku zależności stochastycznej (II.1.1) wyznaczona została ona w oparciu o dwunastodniowy cykl pomiarowy oraz dane globalne dla całego pola górniczego. Otrzymane wyniki obliczeń optymalizacyjnych są również bliskie wartościom ograniczeń.

Z porównania obliczonych wartości wielkości wejściowych w przypadku I z wartościami w przypadku II (w tym ostatnim uśredniając wartości na 12 otworów eksploatacyjnych) wynika, że w przypadku II wartość ilości wody technologicznej i jej temperatura zlokalizowane są na górnym ograniczeniu, a ilość sprężonego powietrza na dolnym ograniczeniu przeciwnie niż w przypadku I. Różnica ta może być spowodowana tym, że globalna informacja wejściowa pełniej charakteryzuje pracę całego pola górniczego niż dane pochodzące z poszczególnych otworów eksploatacyjnych (np. ze względu na wzajemne oddziaływanie otworów wydobywczych) i odniesione tylko do tych otworów.

## 6. PODSUMOWANIE

Podjęte próby identyfikacji i optymalizacji pracy całego pola górniczego kopalni siarki nie przyniosły oczekiwanych rezultatów (w konfrontacji ze zjawiskami fizycznymi towarzyszącymi eksploatacji). Uzyskane bowiem w kolejnych próbach wyniki obliczeń optymalizacyjnych są bardzo bliskie wartościom ograniczeń (patrz przypadek I w tablicy 1 dla pojedynczego otworu eksploatacyjnego oraz przypadek II dla całego pola górniczego).

Oznacza to, że dla będących aktualnie do dyspozycji wyników pomiarowych (wg stanu opomiarowań i organizacji pomiaru) przyjęte postacie zależności stochastycznych nie odzwierciedlają w dostatecznym stopniu zjawisk fizycznych towarzyszących procesowi podziemnego wytapiania siarki, a tym samym, nie mogą być wykorzystane do sterowania obiektem. Zastosowana metoda analizy regresji wymaga danych pomiarowych wiarygodnych o szerokim zakresie zmienności i ich kompletności w czasie ciągłej eksploatacji.

W rozpatrywanym przypadku zakres zmienności danych pomiarowych był wąski, a wiarygodność ich trudna do określenia. Ponadto ze względu na wzajemne oddziaływanie otworów eksploatacyjnych obiekt sterowania (w sensie metody analizy regresji) nie został jednoznacznie wyodrębniony. Aby spełnić powyższy warunek (wymagany nie tylko w tej metodzie), należy dysponować wynikami badań geologicznych i eksploatacyjnych, w oparciu o które będzie można z dużym prawdopodobieństwem wyodrębnić grupę otworów eksploatacyjnych, których oddziaływanie wzajemne jest znaczące. Informacja ta może posłużyć jako pomoc przy wyodrębnianiu w warunkach przemysłowych podstawowej jednostki organizacyjnej dla zbierania informacji pomiarowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Arens W.Ż., Afanasjew N.A.: Badania nad możliwością i celowością podziemnego wytapiania siarki na podkarpackich złożach. GIGHS, 1965 r.

2. Bubnicki Z.: Identyfikacja obiektów sterowania. PWN, Warszawa 1974.
3. Gałda M.: Obliczenia geodezyjne i rachunek wyrównawczy. PWN, Warszawa 1972.
4. Hausbrandt S.: Rachunek wyrównawczy i obliczenia geodezyjne. PPWK, Warszawa 1971.
5. Mańczak K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1979.
6. Ociepa T.: Badania laboratoryjne wybranych parametrów technologicznych dla optymalizacji procesu wydobycia siarki metodą otworową. Rozprawa doktorska, Kraków 1974.
7. Aktualne problemy otworowej eksploatacji siarki. Materiały z II Zebrania Naukowego Tarnobrzeg 1977 r.
8. Efektywność gospodarki cieplnej w otworowej eksploatacji złóż siarki. Materiały z Seminarium Tarnobrzeg 1980 r.
9. Sadowski W.: Statystyka matematyczna. PWE, Warszawa 1969.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ  
ГОРНОГО ПОЛЯ СЕРНОГО РУДНИКА

А н н о т а ц и я

В работе делается попытка идентификации (то-есть построения математической модели, соответствующей цели управления) и оптимизации работы горного поля серного рудника. С этой целью используется метод анализа регресса, а полученные стохастические выражения используются для построения показателя качества и вычислений. Полученные результаты вычислений подвергаются критическому анализу с точки зрения их пригодности для процесса управления добычей серы. В заключении формулируются требования, которые должны обеспечить возможность построения эффективной для использования математической модели.

SOME ASPECTS OF MATHEMATICAL MODEL CONSTRUCTION OF THE  
WORK OF THE SULPHUR MINING FIELD

S u m m a r y

This paper is an attempt to identify (i.e. to build an adequate mathematical model for control object) and to optimize the work of the sulphur mining field. The method of regression analysis is applied. Stochastic expressions obtained are used in constructing the performance index as well as in

calculations. The results obtained are analysed in respect of their usability for the bore-hole method of sulphur mining. Finally, requirements are formulated that should make it possible to achieve an effective mathematical model.