

Bernard DRZEŻLA

PODSTAWY TEORETYCZNE WYZNACZANIA PARAMETRÓW TEORII RUCHÓW GÓROTWORU  
NAD EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ PRZY POMOCY MASZYNY CYFROWEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono kryterium wyznaczania parametrów występujących we wzorach całkowych teorii ruchów górotworu przy eksploatacji górniczej, zastosowane w programach dla maszyny cyfrowej, które wyznaczają te parametry na podstawie pomierzonych obniżeń i przemieszczeń poziomych.

1. Wstęp

We wszystkich formułach określających ruchy górotworu przy eksploatacji górniczej tkwią pewne parametry charakteryzujące własności mechaniczne górotworu oraz warunki naturalne i górnicze eksploatacji. Warunkiem poprawnych prognoz deformacji górotworu oraz możliwości kształtowania frontu eksploatacji pod kątem ograniczenia deformacji jest znajomość wielkości tych parametrów. Wielkości te wyznacza się w sposób mniej lub bardziej ścisły na podstawie pomierzonych przemieszczeń górotworu lub też w oparciu o dotychczasowe doświadczenia - na podstawie budowy geologicznej górotworu i warunków górniczych eksploatacji.

Zagadnienie wyznaczania parametrów teorii opisujących ruchy górotworu przy eksploatacji górniczej było już przedmiotem wielu opracowań, o czym świadczy chociażby załączony, dalece niepełny, wykaz literatury. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie jeszcze jednej, bardzo ogólnej, metody wyznaczania parametrów, którą zastosowano w programach dla maszyny cyfrowej o nazwach EDG4, ED12, ED17 i ED18. Programy te wyznaczają interesujące nas parametry na podstawie pomierzonych obniżeń (EDG4 i ED12) lub przemieszczeń poziomych (ED17 i ED18). Pierwszy i trzeci z wymienionych programów dotyczą teorii J. Litwiniszyna - S. Knothego - W. Budryka [3, 6], a drugi i czwarty - teorii T. Kochmańskiego [10, 11]. Program ED17 może dotyczyć również wariantu przestrzennego wzorów przedstawionych w pracy [4], przy założeniu, że punkty pomiarowe leżą na powierzchni terenu. Programy te napisane są w wersji ALGOL 60, przystosowanej do maszyn firmy ICL z serii 1900 i maszyn ODRA z serii 1300.

Oprócz programów wyszczególnionych wyżej istnieje jeszcze program bez nazwy, opracowany w wersji ALGOL 1204, który wyznacza parametry tkwiące we wzorach H. Gila i W. Kraja [8] według metody zbliżonej do niżej opisanej.

## 2. Kryterium wyznaczania parametrów

Jako kryterium wyznaczenia parametrów przyjęto minimum wariancji resztkowej. Przy uwzględnieniu parametrów korygujących pomierzone ruchy górotworu i wag, kryterium to polega na wyznaczeniu minimum funkcji

$$B(a_z, d, P, \Delta w, v) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot [a_z \bar{w}_i(d, P) + \Delta w + v S_i - w_i^{(p)}]^2 \quad (1)$$

gdzie:

- $n$  - liczba punktów pomiarowych,
- $w_i^{(p)}$  - zmierzona wielkość przemieszczenia (pionowego lub poziomego)  $i$ -tego punktu,
- $a_z$  - współczynnik eksploatacyjny dla zastępczego sposobu kierowania stropem,
- $\bar{w}_i$  - teoretyczna wielkość przemieszczenia  $i$ -tego punktu podzielona przez zastępczy współczynnik kierowania stropem (suma iloczynów odpowiednich całek po poszczególnych wielokątach eksploatacji przez ekwiwalentne grubości pokładów w tych wielokątach),
- $d$  - tzw. obrzeże eksploatacji wynikające z istnienia niezawalonego (nieugiętego) wspornika przy krawędziach eksploatacji; w obliczeniach uwzględnia się fakt, że przy każdej krawędzi wielkość  $d$  może być inna,
- $\Delta w$  - błąd dowiązania lub parametr uwzględniający przemieszczenie punktu dowiązania albo też parametr korygujący jakikolwiek błąd stały dla wszystkich punktów pomiarowych,
- $v$  - parametr korygujący wpływ jakiegokolwiek czynnika naturalnego lub górniczego o działaniu systematycznym (w pewnych przypadkach może to być np. wpływ sufozji, odwodnienia gruntu lub wpływ starych zrobów); zakłada się, że parametr  $v$  może być wyznaczany tylko wtedy, gdy punkty pomiarowe rozmieszczone są w przybliżeniu w jednej linii,

$$S_i = \sum_{j=1}^i s_{j-1, j}$$

- $s_{j-1, j}$  - odległość  $j$ -tego punktu pomiarowego od punktu poprzedniego;
- $s_{0, 1}$  - oznacza odległość pierwszego punktu pomiarowego od punktu, od którego według posiadanego rozeznania, rozpoczyna się wpływ czynnika o działaniu systematycznym,

$p_i$  - waga przyporządkowana  $i$ -temu punktowi, w programach przewidziano cztery rodzaje wag do wyboru:

$$p_i = 1, \quad p_i = |w_i(p)|$$

$$p_i = |T_i(p)| = \left| \frac{\partial w}{\partial x} \right|_i(p) \quad \text{oraz} \quad p_i = |K_i(p)| = \left| \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_i(p),$$

gdzie:

$x$  - parametr linii pomiarowej,  $T$  - obliczone z obniżeń nachylenie profilu niecki osiadania (odkształcenie poziome) wzdłuż linii pomiarowej,  $K$  - obliczona z obniżeń krzywizna profilu niecki osiadania (druga pochodna przemieszczenia poziomego) wzdłuż linii pomiarowej.

Dwa ostatnie rodzaje wag można oczywiście stosować, gdy punkty pomiarowe rozmieszczone są w przybliżeniu wzdłuż jednej linii,

$P$  - inne parametry rozpatrywanej teorii ruchów punktów górotworu przy eksploatacji górniczej (tu:  $\tan \beta$  lub  $r_0$ ).

Wyjaśnienia wymaga wprowadzone pojęcie zastępczego sposobu kierowania stropem. Pojęcie to wiąże się z sytuacją, kiedy na powstanie analizowanej niecki osiadania miała wpływ eksploatacja więcej niż jednego obszaru z różnymi sposobami kierowania stropem. Wtedy wybieramy zastępczy sposób kierowania stropem i obliczamy dla każdego obszaru eksploatacji ekwiwalentną grubość pokładu w tym obszarze. Przyjmujemy przy tym, że ekwiwalentna grubość pokładu w obszarach, w których był stosowany taki sam sposób kierowania stropem, jak sposób zastępczy, jest równa faktycznej grubości pokładu, natomiast w obszarach, w których był stosowany inny sposób kierowania stropem, ekwiwalentna grubość pokładu wyniesie

$$g_z = ga/a_z \quad (2)$$

gdzie:

- $g$  - rzeczywista grubość pokładu,
- $a$  - współczynnik eksploatacyjny odpowiadający stosowanemu w danym obszarze sposobowi kierowania stropem,
- $a_z$  - współczynnik eksploatacyjny odpowiadający zastępczemu sposobowi kierowania stropem.

Stosunek  $a/a_z$  należy przyjmować odpowiednio do wyników obserwacji pozycyńnych w danym terenie lub też na podstawie powszechnie przyjętych danych.

Wzór (2) dotyczy programów EDG4, ED12 i ED17. W przypadku programu ED18 ekwiwalentną grubość pokładu należy obliczać ze wzoru

$$\varepsilon_z = \varepsilon \frac{a S_x}{a_z S_{xz}} \quad (3)$$

gdzie:

$S_x, S_{xz}$  - wartość rzeczywista i zastępcza funkcji szczelinowatości [11].

Z pięciu warunków koniecznych istnienia minimum funkcji  $B(a_z, d, P, \Delta w, v)$  określonej wzorem (1) można efektywnie wykorzystać trzy

$$\frac{\partial B}{\partial a_z} = 0; \quad \frac{\partial B}{\partial \Delta w} = 0; \quad \frac{\partial B}{\partial v} = 0 \quad (4)$$

Z warunków tych otrzymujemy

$$a_z = \frac{W_1}{W_0}; \quad \Delta w = \frac{W_2}{W_0}; \quad v = \frac{W_3}{W_0} \quad (5)$$

gdzie:

$$W_0 = \begin{vmatrix} s_1 & s_2 & s_3 \\ s_2 & s_4 & s_5 \\ s_3 & s_5 & s_6 \end{vmatrix} \quad W_1 = \begin{vmatrix} s_7 & s_2 & s_3 \\ s_8 & s_4 & s_5 \\ s_9 & s_5 & s_6 \end{vmatrix}$$

$$W_2 = \begin{vmatrix} s_1 & s_7 & s_3 \\ s_2 & s_8 & s_5 \\ s_3 & s_9 & s_6 \end{vmatrix} \quad W_3 = \begin{vmatrix} s_1 & s_2 & s_7 \\ s_2 & s_4 & s_8 \\ s_3 & s_5 & s_9 \end{vmatrix}$$

$$s_1 = \sum_{i=1}^n p_i \bar{w}_i^2 \quad s_2 = \sum_i p_i \bar{w}_i \quad s_3 = \sum_i p_i \bar{w}_i S_i$$

$$s_4 = \sum_i p_i \quad s_5 = \sum_i p_i S_i \quad s_6 = \sum_i p_i S_i^2$$

$$s_7 = \sum_i p_i \bar{w}_i w_i^{(p)} \quad s_8 = \sum_i p_i w_i^{(p)} \quad s_9 = \sum_i p_i w_i^{(p)} S_i$$

Wstawiając wzory (5) do wzoru (1), otrzymujemy funkcję z dwoma szukanymi parametrami  $d$  i  $P$ . Tak więc ilość zmiennych, względem których należy minimalizować wariancję resztkową, ograniczyliśmy do dwóch. Efektywne wyznaczenie minimum wariancji resztkowej względem tych dwóch parametrów jest jednak niemożliwe. Szukane parametry można wyznaczyć jedynie w sposób numeryczny, co czynią omawiane programy.

Parametry korygujące pomierzone ruchy górotworu  $\varkappa$  i  $\Delta w$  oraz parametr  $d$  wyznaczane są opcjonalnie. Zawsze natomiast wyznaczane są parametry  $\operatorname{tg} \beta$  (EDG4 i ED17) i  $r_0$  (ED12 i ED18). Ponadto programy EDG4 i ED12 wyznaczają zawsze parametr  $a_z$ , a programy ED17 i ED18 - parametr  $a_1$ , przez który należy rozumieć iloczyn:

- $a_z \cdot n$  - według programu ED17 zastosowanego do wzoru J. Litwiniuszyna - W. Budryka na przesłuszczenie poziome,

gdzie:

$$n = \sqrt{2\pi} \operatorname{tg} \beta \quad (\text{W. Budryk});$$

- $a_z \frac{1-\nu}{\nu} \cdot k$  - według programu ED17 zastosowanego do przestrzennego wariantu wzorów przedstawionych w pracy [4], przy założeniu, że punkty pomiarowe położone są na powierzchni terenu,

gdzie:

$\nu$  - liczba Poissona,

$k$  - parametr, którego wartość na podstawie badań laboratoryjnych i rozważań teoretycznych jest stała i równa 0.665;

- $a_z S_{xz}$  - według programu ED18.

Powyzsze wynika stąd, że zasadniczo nie ma możliwości wyznaczenia z osobna wielkości każdego z czynników składających się na przytoczone iloczyny, jeśli dysponuje się tylko wynikami pomiarów ruchów poziomych górotworu.

Parametru  $b$  programy ED12 i ED18 nie wyznaczają; wartości  $b$  i pochodnej  $db/dz$  obliczane są w programach ze wzorów zamieszczonych w pracy [11].

Istnieją trzy istotne ograniczenia stosowania omawianych programów:

- zakłada się, że pomierzone ruchy górotworu odpowiadają stanowi uspokojenia się górotworu po dokonaniu danej eksploatacji,
- uwzględnia się eksploatację prowadzoną w pokładach poziomych i słabo nachylonych,
- punkty pomiarowe mogą być dowolnie rozmieszczone w jednej płaszczyźnie poziomej w głębi górotworu lub na powierzchni. Z uwagi na stosowaną najczęściej technikę wykonywania pomiarów ruchów poziomych górotworu, w programach ED17 i ED18 dowolność położenia punktów pomiarowych ograniczona jest do linii prostej poziomej.

Pod innymi względami programy są bardzo ogólne. W szczególności brak jest ograniczeń, jeśli chodzi o liczbę punktów pomiarowych oraz liczbę, kształt, rozmieszczenie w przestrzeni złożeń i sposoby kierowania stropem w parcelach eksploatacji.

### 3. Zakończenie

Programy EDG4, ED12, ED17 i ED18 są użytkowane już od kilku lat. W tym czasie przechodziły one szereg przeobrażeń wynikających z zabiegów optymalizacyjnych i uogólnień. Obecny ich kształt wydaje się w przybliżeniu ostateczny. Są one zoptymalizowane do tego stopnia, że czas obliczeń np. na maszynie ODRA 1305 jest sprawą prawie nieistotną (kilkadziesiąt sekund do kilku - kilkunastu minut). Programy te stanowią więc uzupełnienie wcześniej opracowanych programów EDG3, EDG8 i EDG9, służących do prognozowania dowolnych wskaźników deformacji górotworu przy dowolnym przestrzennym rozmieszczeniu eksploatacji w pokładach poziomych i słabo nachylonych. Jedna z początkowych wersji programów EDG3, EDG8 i EDG9 była opisana w publikacji [5]. Od czasu ukazania się tej publikacji programy EDG3, 8 i 9 również przeszły wiele przeobrażeń, jednak zasadnicze punkty opisu z [5] są nadal aktualne.

### LITERATURA

- [1] Batkiewicz W.: Zmniejszenie deformacji górotworu przez prowadzenie eksploatacji frontem o specjalnym kształcie. Zeszyty Naukowe AGH z. nr 128, Rozprawy z. 54, Kraków 1965.
- [2] Batkiewicz W.: Obliczanie wskaźników poeksploatacyjnych deformacji terenu. Wyd. "Śląsk", Katowice 1968.
- [3] Budryk W., Litwiniszyn J., Knothe S., Sałustowicz A.: Obliczanie elementów niecki osładania nad poziomymi wyrobiskami górnictwami. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. 1, 1953.
- [4] Drzęźła B.: Przybliżone rozwiązanie równań teorii sprężystości w zastosowaniu do mechaniki górotworu. Archiwum Górnictwa, t. XX z. 2, 1975.
- [5] Drzęźła B.: Informacja o programach dla maszyny cyfrowej do obliczania deformacji górotworu nad eksploatacją. Przegląd Górniczy nr 3, 1974.
- [6] Drzęźła B.: Nomogramy do obliczania deformacji górotworu nad eksploatacją. Ochrona Terenów Górniczych nr 36, 1976.
- [7] Dziura T., Kot. A., Trzcionka P.: Przesunięcie krawędzi eksploatacji jako dodatkowy parametr teorii ruchów górotworu S. Knothe i T. Kochmańskiego. Zeszyty Naukowe Politechniki Sl., Górnictwo z. 59, 1974.
- [8] Gil H., Kraj W.: Rozkład pomieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. Archiwum Górnictwa t. XIX z. 1, 1974.
- [9] Knothe S.: Aktywacja starych zrobów i możliwość jej wykorzystania dla zmniejszenia wpływów eksploatacji planowanej w filarach ochronnych. Archiwum Górnictwa t. X z. 1, 1965.

- [10] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PWN, Warszawa 1956.
- [11] Kochmański T., Zych J.: Fizyczne znaczenie parametrów teorii statyczno-całkowej T. Kochmańskiego. OTG nr 23, 1973.
- [12] Kot A.: Nowa metoda wyznaczania parametrów teorii ruchów górotworu T. Kochmańskiego. OTG nr 9, 1970.
- [13] Lubina T.: Analiza niecki poeksploatacyjnej wywołanej eksploatacją zaważową pokładu nachylonego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo z. 59, 1974.
- [14] Magdziorz J.: Sposób wyznaczania szerokości obrzeża eksploatacyjnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo z. 59, 1974.
- [15] Zych J.: Zastosowanie rachunku wyrównawczego do wyznaczania parametrów teorii T. Kochmańskiego z pomierzonych osiadań i przesunięć poziomych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo z.41, 1969.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЙ  
ГОРНОГО МАССИВА НАД ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ  
ПРИ ПОМОЩИ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Р е з ю м е

В статье рассматривается критерий определения параметров выступающих в интегральных формулах теории движений горного массива при горной эксплуатации, применённые в программах для цифровых вычислительных машин, которые определяют эти параметры на основе произведённых измерений вертикальных и горизонтальных перемещений.

THEORETICAL BASIS FOR THE DETERMINATION OF THE PARAMETERS  
OF THE OROGEN MOTION THEORIES ABOVE WORKS ARRIVED UPON  
BY USING COMPUTER TECHNIQUES

S u m m a r y

A criterion for determining parameters in integral formulae for orogenic motions due to works has been presented as to be utilised in computer programs on the basis of the depressions and horizontal displacements measured.