ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983

Seria: GÓRNICTWO z. 128 Nr kol. 778

Kazimierz PODGÓRSKI
Henryk KLETA

Instytut Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni
Politechniki Śląskiej

WYZNACZENIE OBCIĄŻENIA OBUDOWY WYROBISK KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH W OPARCIU O POMIARY I ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Streszczenie. W pracy podano zależności ujmujące wpływ podporności obudowy na zasięg strefy odkształceń pozagranicznych. Przedstawiono sposób wyznaczania parametrów funkcji wpływu czasu na przebieg przemieszczeń wyłomu wyrobiska.

1. Wstęp

W miarę wykonywania wyrobisk korytarzowych i komorowych na coraz większych głębokościach występuje wzmożone zaciskanie wyrobisk i związane z tym trudności w utrzymaniu wymaganej ich funkcjonalności.

Obciążenie obudowy wzrasta wraz z zaciskaniem wyrobiska w czasie. Przebieg zaciskania wyrobiska w czasie zależy głównie od własności skał, stanu naprężenia w górotworze i wymiarów wyrobiska.

2. Ustalenie funkcji wpływu czasu na przemieszczenia wyłomu wyrobiska korytarzowego

Analizując przebieg zaciskania wyrobisk korytarzowych stwierdzono, że w początkowym okresie występuje stosunkowo szybkie zaciskanie wyrobiska, które w miarę wpływu czasu maleje.

W pracy przyjęto, że przemieszczenie dowolnego punktu wyłomu wyrobiska można opisać równaniem:

$$u(t) = u_K\left\{1 - \exp\left[-c\left(\frac{t}{t_o}\right)^b\right]\right\} \tag{1}$$

gdzie:

u_K - wielkość końcowego przemieszczenia wyłomu wyrobiska po czasie nieskończenie dużym,

c, b - parametry,

t - czas istnienia wyrobiska,

t_o - umowny czas równy np. 1 doba.

Praktyczne wyznaczenie współczynnika czasu jest często utrudnione ze względu na brak znajomości przemieszczenia końcowego i prowadzenie nieregularnych pomiarów przemieszczeń w czasie. Z tego też względu zaproponowano sposób wyznaczenia współczynnika czasu metodą aproksymacji wyników pomiarów przemieszczeń przy założeniu, że proces przemieszczeń nie zakończył się, a pomiary dokonywane są w nierównych odstępach czasu.

Zadanie sformułujemy następująco: wyznaczmy współczynnik czasu, współczynnik opóźnienia b oraz przemieszczenie końcowe u_K, tak aby równanie (1) stanowiło najlepszą aproksymację wyników pomiarów przemieszczeń, czyli dokonajmy minimalizacji następującego wyrażenia [2].

$$\min_{\left\{u_K, c, b\right\}} \sum_{i \in M} \left\{u_i^P - u_K\left[1 - \exp(-ct_i^b)\right]\right\}^2 \tag{2}$$

gdzie:

M - zbiór numerów pomiarów przemieszczeń,

u_i - zbiór pomiarów zmiennej zależnej,

t_i - zbiór pomiarów zmiennej niezależnej.

Nie zawsze jednak można łatwo uzyskać minimum globalne wyrażenia (2). Ponadto dość trudno byłoby określić punkt startowy przy realizacji procedury minimalizacji, ze względu na brak przesłanek co do zgrubnego oszacowania optymalnych wartości współczynników u_K, c i b.

W celu wyznaczenia współczynników u_K, c i b występujących w równaniu (1) założono, że zmiennej u_K została zadana chwilowo pewna wartość u_K, wynikająca ze zgrubnego oszacowania, czyli:

$$u_K = \tilde{u}_K \tag{3}$$

Ponieważ

$$u_K \longleftarrow z_i \Longleftarrow t \longrightarrow \infty$$

Wartość u_K należy tak dobrać, aby spełniony był warunek

$$\tilde{u}_K + \varepsilon = z_m, \tag{4}$$

gdzie:

ε - dowolna mała liczba.

Równanie (2) przedstawiono w postaci:

$$\frac{u^P - \tilde{u}_K}{\tilde{u}_K} = \exp(-ct^b) \tag{5}$$

Następnie po zlogarytmowaniu dwukrotnie równania (5) otrzymano:

$$l_n\left(\frac{\tilde{u}_K - u^P}{\tilde{u}_K}\right) = -ct^b \tag{6}$$

oraz

$$\ln\left(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u^P}{\tilde{u}_K}\right) = t^b \ln c \tag{7}$$

Przyjęto oznaczenia w postaci:

$$y^P = \ln\left(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u^P}{\tilde{u}_K}\right)$$

$$a_1 = \ln c \tag{8}$$

$$a_2 = b$$

$$x_2 = \ln t \tag{9}$$

$$x_1 = 1$$

Wówczas równanie (8) można napisać w formie:

$$y^P = X^T a, \tag{10}$$

gdzie:

X , a - wektory o dwóch składowych

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; \quad a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Zgodnie z równaniem (8) zbiór pomiarów zmiennej zależnej z_i przekształcono do postaci:

$$y_i = \ln(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u_i^P}{\tilde{u}_K}); \quad i \in M \tag{11}$$

W ten sposób przy podanych założeniach i po przekształceniach sprowadzono model nieliniowy (równanie (1)) dp modelu liniowego (równanie (10)), który dla zbioru punktów pomiarowych posiada postać:

$$y_i^P = x_i^T a; \quad i \in M, \tag{12}$$

gdzie:

x_i^T - oznacza transpozycję wektora x_i dla $i \in M$.

Składowe wektora wyznaczono analitycznie w następujący sposób:

$$\min_a \sum_{i \in M} \left[y_i - y_i^P\right]^2 = \min_a \sum \left[y_i - x_i^T a\right]^2 = \sum_{i \in M} \left[y_i - x_i^T a^*\right]^2, \tag{13}$$

gdzie:

a^* - wektor optymalny minimalizujący równanie (12).

Wektor optymalny wyznaczono z warunku:

$$\frac{d\left\{\sum_{i \in M} \left[y_i - x_i^T a\right]^2\right\}}{da} = 0 \tag{13a}$$

Po dokonaniu przekształceń (2), (5), (11) związanych z wyznaczeniem pochodnej (równanie (12)) po wektorze a i przyrównaniem jej do wektora zerowego, otrzymano szukany wektor a^* o postaci:

$$a^* = (X^T X)^{-1} X^T Y. \tag{13b}$$

Pod warunkiem, że:

$$\det(X^T X) \neq 0 \tag{14}$$

Macierz X jest tzw. macierzą pomiarów o postaci:

$$X = \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_m^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \ln t_1 \\ 1 & \ln t_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \ln t_m \end{bmatrix} \tag{15}$$

Natomiast wektor Y jest wektorem pomiarów przekształconej zmiennej zależnej i posiada postać:

$$X = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u_1}{\tilde{u}_K}) \\ \ln(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u_2}{\tilde{u}_K} \\ \vdots \\ \ln(-\ln \frac{\tilde{u}_K - u_m}{\tilde{u}_K}) \end{bmatrix} \tag{16}$$

Mając dane wartości a_1^* i a_2^* będące składowymi wektora a^*, wyznacza się wielkości b^* i c^* z zależności:

$$c^* = \exp a_1^* \qquad b^* = a_2^* \tag{17}$$

Dysponując wartościami $u_K = \tilde{u}_K$, $c = c^*$, $b = b^*$, oblicza się wartość wyrażenia [2]:

$$\varrho = \sum_{i \in M} \left| z_i - \tilde{u}_K \left[1 - \exp(-c^* t_1^{b^*})\right] \right| \tag{18}$$

Wyrażenie powyższe stanowi kryterium aproksymacji równania (1). Z kolei można wyznaczyć ϱ dla innych wartości $\tilde{u}_K$ i odpowiadających im wartości c^* i b^*, które są zależne od przyjętego $\tilde{u}_K$

$$c^* = c^*(\tilde{u}_K) \qquad b^* = b^*(\tilde{u}_K) \tag{19}$$

Spośród wszystkich rozpatrywanych wartości jakie można przyjmować, zmienna $\tilde{u}_K$ wybiera tę wartość $\tilde{u}_K$ i odpowiadające jej wartości c^* i b^*, które minimalizują kryterium aproksymacji (równanie 19).

Przedstawiony algorytm aproksymacji wyników pomiarów przemieszczeń górotworu umożliwia uzyskanie najlepszej aproksymacji na drodze szukania minimum jednej zmiennej, gdyż przyjęte kryterium ϱ (równanie 18) zależy tylko od jednej zmiennej u_K. Pierwotna postać kryterium aproksymacji (równanie 1) była funkcją trzech zmiennych u_K, c, b, co powodowało znaczne utrudnienie obliczeń.

Aby proponowana metoda mogła być stosowana muszę być spełnione dodatkowe warunki, wynikające z dziedziny określoności pewnych funkcji. Warunki te posiadają następującą postać:

$$-\ln \frac{\tilde{u}_K - z_i}{\tilde{u}_K} > 0 \tag{20}$$

$$\frac{\tilde{u}_K - z_i}{\tilde{u}_K} > 0 \tag{21}$$

Z równania (21) wynika, że:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\tilde{u}_K - z_i}{\tilde{u}_K} > 0 \\ &\tilde{u}_K < 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \tilde{u}_K - z_i < 0 \Rightarrow \tilde{u}_K < z_i \tag{22}$$

Natomiast z równania (20) wynika:

$$\frac{\tilde{u}_K - z_i}{\tilde{u}_K} > 0$$

$$\Downarrow$$

$$\ln \frac{\tilde{u}_K - z_i}{\tilde{u}_K} > 0 \tag{23}$$

$$\Downarrow$$

$$u_K < 0$$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że większość danych pomiarowych spełnia przedstawione warunki (równanie 22 i 23).

Dla podanych wzorów (2-23) został opracowany program na maszynę cyfrową przez mgr inż. D. Serafina.

Wykorzystując podaną metodę można wyznaczyć wielkość końcowego przemieszczenia wyłomu wyrobiska i parametry wpływu funkcji czasu, które to wielkości pozwolą prognozować zaciskanie wyrobisk korytarzowych.

3. Wyznaczenie promienia strefy odkształceń pozagranicznych

Analiza wyników obserwacji kopalnianych i pomiarów przemieszczeń skał otaczających wyrobisko korytarzowe wykazała, że można wyróżnić trzy główne typy procesu deformacji skał otaczających wyrobisko korytarzowe [8].

W przypadku pierwszego typu deformowania się skał wokół wyrobiska powstaje strefa odkształceń sprężysto-lepkich i jak wykazały pomiary prowadzone w Zagłębiu Donieckim końcowe wartości przemieszczeń wyłomu wyrobiska nie przekraczają kilku centymetrów [5].

Drugi typ procesu odkształcania się górotworu charakteryzuje się głównie tym, że w miarę upływu czasu wokół wyrobiska tworzy się strefa czasowego zruszenia skał, która w pewnej odległości od wyłomu przechodzi w strefę odkształceń sprężysto-lepkich. Wartość końcowych przemieszczeń wyłomu wyrobiska nie przekracza 20 cm.

W przypadku wykonania wyrobiska korytarzowego na dużych głębokościach $H \geqslant H_{kr}$, spękanie skał otaczających następuje praktycznie z wykonaniem wyłomu wyrobiska [7]. Rozszerzająca się strefa natychmiastowego zruszenia skał przechodzi w pewnej odległości od konturu wyrobiska w strefę odkształceń sprężysto-lepko-plastycznych, a następnie w strefę odkształceń sprężysto-lepkich.

Wielkość promienia strefy odkształceń pozagranicznych można ustalić w oparciu o pomiary lub rozważania teoretyczne.

W celu wyznaczenia promienia strefy odkształceń pozagranicznych w oparciu o pomiary kopalniane, należy wywiercić otwory małośrednicowe w stropie, ociosach i spągu na głębokość ok. 15 m i zabudować w nich pręty pomiarowe o zróżnicowanych długościach. Na podstawie przebiegu przemieszczeń prętów w otworach wiertniczych, można określić wielkość promienia strefy odkształceń pozagranicznych. W oparciu o pomiary przemieszczeń prętów w otworach wiertniczych w dłuższym okresie czasu można ustalić zmiany położenia strefy odkształceń pozagranicznych. Istnieje również możliwość określenia przybliżonej wielkości promienia strefy odkształceń pozagranicznych na drodze pomiarów wychodu zwiercin z otworu małośrednicowego. Położenie strefy odkształceń pozagranicznych odpowiada takiej długości otworu wiertniczego, przy której wychód zwiercin jest największy.

Wielkość promienia strefy odkształceń pozagranicznych można również ustalić w oparciu o własności wytrzymałościowe skał i głębokość położenia wyrobiska.

Poniżej przedstawiono sposób wyznaczenia położenia strefy odkształceń pozagranicznych wokół wyrobiska korytarzowego w oparciu o rozwiązanie Ruppenejta [5] i pomiary kopalniane [4].

Uwzględniając rozwiązanie [5], równanie opisujące końcowe przemieszczenia konturu wyłomu wyrobiska posiada postać:

$$u_K = \frac{\alpha R_o}{4G}(p + K\ \mathrm{ctg}\varrho)(r_o)^{\alpha+2}, \tag{24}$$

gdzie:

R_o - promień wyłomu wyrobiska,

G - moduł odkształcenia postaciowego skał,

p - oddziaływanie obudowy i ciężaru spękanych skał, znajdujących się wewnątrz strefy odkształceń pozagranicznych,

$$p = \frac{p_{max} + p_{min}}{2} + \frac{p_{max} - p_{min}}{2}\cos 2\varphi$$

p_{max}, p_{min} - maksymalne i minimalne oddziaływanie obudowy i ciężaru spękanych skał,

- w stropie

$$p_{max} = p_c$$

$$p_{min} = p_c - \gamma R_o(r_{os} - 1)$$

- w spągu

$$p_{max} = p_c + \gamma R_o(r_{op} - 1)$$

$$p_{min} = p_c$$

p_c - oddziaływanie obudowy,

γ - ciężar objętościowy skał,

r_{os}, r_{op} - promień strefy odkształceń pozagranicznych odpowiednio w stropie i spągu wyrobiska,

ϱ - kąt tarcia wewnętrznego skał otaczających wyrobisko obliczony z zależności:

$$\varrho = \mathrm{arctg}\frac{R_c \sin\varrho_o}{2\sqrt{R_c(p_z + p_x + b)\sin\varrho_o}}$$

ϱ_o - kąt tarcia wewnętrznego skał, odpowiadający doraźnej wytrzymałości na ściskanie R_c dla danego kierunku jej wyznaczania w stosunku do płaszczyzn uławicenia.

Wartości ϱ_o i R_c proponuje się wyznaczyć z zależności:

$$R_c = b + (R_{cp} - b)\left(\frac{\beta - 45^o + \frac{\varrho_o}{2}}{45^o + \frac{\varrho_o}{2}}\right)^2$$

$$\left(b + \frac{R_{cp}}{2}\right)\sin\varrho_o - \frac{R_{cp}}{4}\sin^2\varrho_o = \frac{R_{cp}}{4}$$

R_{cp} – doraźna wytrzymałość skał w kierunku prostopadłym do uławicenia,

b – bezwzględna wartość wytrzymałości skały na rozrywanie,

β – kąt zawarty pomiędzy kierunkiem pionowym a płaszczyzną uławicenia skał,

p_z, p_x – wielkości naprężeń pierwotnych w górotworze na rozpatrywanej głębokości,

K – kohezja skał otaczających wyrobisko obliczona z zależności:

$$K = (p_z + p_x + b)R_c \sin_{o} - (p_z + p_x)\mathrm{tg}$$

r_o – promień strefy odkształceń pozagranicznych wokół rozpatrywanego wyrobiska,

α – parametr obliczony z zależności:

$$\alpha = \frac{2\sin\varphi}{1 - \sin\varphi}$$

Jak wynika z przedstawionych powyżej zależności, wielkość przemieszczeń konturu wyłomu wyrobiska jest uzależniona od m.in. wielkości G, φ i K charakteryzujących własności skał w trójosiowym stanie naprężenia. Do obliczeń przyjmuje się najczęściej moduł sprężystości G, kąt tarcia wewnętrznego skał φ i kohezję K w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych skał w jednoosiowym stanie naprężenia. Z tego też względu wielkości przemieszczeń wyłomu wyrobiska obliczone w oparciu o zależność (24) znacznie odbiegają od wielkości przemieszczeń pomierzonych.

Mając to na uwadze w pracy zaproponowano obliczenie przemieszczeń konturu wyłomu wyrobiska na podstawie pomiarów strefy odkształceń pozagranicznych.

Równanie konturu strefy odkształceń pozagranicznych posiada postać [6]

$$r = r_o + \lambda r_1(\varphi), \qquad (25)$$

gdzie:

r_o – bezwymiarowy promień strefy odkształceń pozagranicznych, obliczany z zależności:

$$r_o = A\left[\frac{1 - \sin\varphi}{p + K\mathrm{ctg}\varphi}(\lambda_3 p_z + K\mathrm{ctg}\varphi)\right]^{1/\alpha}$$

gdzie:

A – współczynnik,

$r_1(\varphi)$ - parametr obliczony z zależności:

$$r_1(\varphi) = \frac{r_o p_z(1 - \sin\varrho)\cos2\varphi}{2(\lambda_3 p_z + K\mathrm{ctg}\varrho)\sin\varrho}$$

Wielkość współczynnika A wyznacza się na podstawie pomiarów położenia strefy odkształceń plastycznych w danym badanym wyrobisku. Położenie strefy plastycznej jak już wspomniano wyznacza się przez pomiar wychodu zwiercin z wierconych otworów małośrednicowych prostopadle do stropu lub ociosu wyrobiska, lub określeniu czujnikami otworowymi położenia strefy odkształceń plastycznych.

W oparciu o ustalone parametry funkcji wpływu czasu na przemieszczenia wyłomu wyrobiska, prawdopodobne wielkości promienia strefy odkształceń pozagranicznych dla różnych okresów czasu istnienia wyrobiska, można określić dla projektowanych wyrobisk wielkość przewidywanego ich zaciskania w zależności od podporności obudowy.

LITERATURA

[1] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. 1. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1975.

[2] Kleta H.: Wpływ wybierania kostki przyszybowej na stateczność obudowy szybu. Praca doktorska, Gliwice 1982 (niepublikowana).

[3] Podgórski K., Kleta H.: Stan naprężenia i odkształcenia w górotworze traktowanym jako ciało transwersalnie izotropowe w sąsiedztwie szybu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z.104, Gliwice 1980.

[4] Podgórski K., Kleta H.: Analiza sposobów pomiarów odkształceń w otworach wiertniczych i ustalania stanu naprężenia. Materiały konferencyjne pt.: "Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach", Gliwice 1982.

[5] Ruppenejt K.W., Liberman Ju.M.: Wwiedienie w miechaniku gornych porod. Gosgortechnizdat, Moskwa 1960.

[6] Ruppenejt K.W., Liberman Ju.M., Matwiejenko W.W., Pieslar Ju.A.: Rasczłot kriepi szachtnych stwołow. Izd. AN SSSR, Moskwa 1962.

[7] Zorin A.N., Głuszko W.T., Kolesnikow W.G., Kornijenko N.S.: Reołogiczeskije parametry gornych porod. Szachtnoje Stroitielstwo, 1970, nr 10.

[8] Zasławskij Ju.Z., Zorin A.N., Czerniak U.Ł.: Rascziety paramietrow kriepi wyrabotok głubokich szacht. Kijew 1972.

[9] Głuszko W.T.: Projawlenija gornowo dawlenija w głubokich szachtach. Izd. Naukowa Dumka, Kijew 1971.

[10] Mańczak K.: Identyfikacja wielowymiarowych układów sterowania. WNT, Warszawa 1980.

[11] Niderliński A.: Systemy cyfrowe automatyki przemysłowej. Cz.II, WNT, Warszawa 1977.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef MAŁOSZEWSKI

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1983 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ КРЕПЛЕНИЯ КОРИДОРНЫХ И КАМЕРНЫХ ВЫРАБОТОК
НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАССУЖДЕНИЙ

Р е з ю м е

В работе даны зависимости учитывающие влияние подпорности крепления на предел зоны внерганичных информации. Представлен способ определения параметров функции влияния времени на протекание передвижения пролома выработки.

DETERMINATION OF THE LOAD OF THE LINING OF DOG HEADINGS AND CHAMBER EXCAVATIONS, BASED ON MEASUREMENTS AND THEORETICAL CONSIDERATIONS

S u m m a r y

The paper provides the effects of the supporting efficiency of the lining upon the range of extraboundary deformations. It has been shown how to determine the parameters of the time-effect function on the progress of displacements of the excavation breach.