ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Górnictwo z. 65 Nr kol. 404

Henryk Gil

MATEMATYCZNE UJĘCIE PROCESU ODPRĘŻANIA GÓROTWORU

Streszczenie. W pracy ujęto matematycznie proces odprężania górotworu. W górotworze założono, że stanowi ośrodek reologiczny o modelu "standard" jednorodny i izotropowy i przy tym założeniu określono funkcję odprężenia δ (x,z,t). W oparciu o uzyskane w pracy wzory można określić poziomy i pionowy zasięg strefy odprężonej w górotworze, tzn. powiedzieć o jaką wartość nastąpił spadek naprężenia pionowego pierwotnego w każdym punkcie nad przestrzenią wybraną. Znajomość strefy odprężonej pozwala prawidłowo zaprojektować eksploatację w pokładzie odprężanym. Można w oparciu o to rozwiązanie wskazać miejsce, w którym powinny poruszać się fronty eksploatacji w pokładzie tąpiącym.

W praktyce górniczej znany jest od dawna sposób poprawy warunków wybierania pokładów tąpiących określany mianem odprężania. Polega on, jak wiadomo, na wcześniejszym wybraniu pokładu nietąpiącego położonego w sąsiedztwie pokładu skłonnego do tąpań. Mimo że zalety takiego wybierania znane są od dawna w górnictwie nie doczekał się ten problem dotychczas matematycznego opracowania. Potrzebę takiego opracowania wysuwa sama praktyka górnicza, gdyż przy projektowaniu eksploatacji w pokładzie tąpiącym odprężanym konieczna jest znajomość poziomego i pionowego zasięgu strefy odprężonej kształtującej się w górotworze w trakcie wybierania pokładu odprężającego. Podczas wybierania pokładu odprężającego następuje nad i pod przestrzenią wybraną spadek naprężeń pierwotnych ściskających. Zmniejszenie naprężeń zależy od wielu czynników, a głównie od sposobu eksploatacji pokładu odprężającego, głębokości jego zalegania, grubości, własności górotworu, czasu i prędkości postępu frontu eksploatacji. Czas odgrywa istotną rolę przy ocenie tego procesu. Pewną próbę ujęcia tego zagadnienia podano w pracach [1], [2], zaś w pracy [3] analizowano wpływ czasu i prędkości postępu eksploatacji na rozkład naprężeń i przemieszczeń w górotworze. Ruch górotworu odbywa się z pewną prędkością, którą w górotworze znamy, to znaczy znane jest prawo, według którego górotwór w stropie pokładu osiada w czasie. Ze znajomości charakteru osiadania stropu nad przestrzenią wybraną i całizną węglową można określić rozkład naprężeń. Stan ten, nałożony na stan pierwotny, daje pełny stan naprężeń w górotworze. Ponieważ dla odprężenia interesująca jest tylko składowa pionowa σ_z, dlatego w dalszych rozważaniach podamy tylko tę składową. Przy jednoskrzydłowym posuwaniu się frontu eksploatacji prędkość obniżania się stropu jest proporcjonalna do różnicy między końcową wielkością osiadania, a obniżeniem

aktualnym. Przyjmując, że na granicy rozpoczęcia eksploatacji występuje ścięcie stropu, końcowemu osiadaniu nadano postać progu, o wielkości skoku równej obniżeniu maksymalnemu "w_0".

Warunki brzegowe w przemieszczeniach można sformułować w sposób następujący [4]:

$$u(x, o, t) = 0 \qquad \text{dla} \qquad -\infty < x < \infty$$

$$w(x,0,t) = \begin{cases} w_0\left[1 - e^{-\frac{\beta}{v}(v\,t - x)}\right]\left[H(x) - H(x - v\,t)\right] & \text{dla } 0 < t < T \\ w_0\left[1 - e^{-\frac{\beta}{v}(v\,t - x)}\right]\left[H(x) - H(x - v\,T)\right] & \text{dla } t > T \end{cases} \tag{1}$$

Warunki powyższe ujmują również przypadek zatrzymania frontu eksploatacji. Pomijając rozważania matematyczne, które są szczegółowo przedstawione w pracy [4], przytoczymy obecnie już gotowe wzory na składową pionową σ_z dla następującej sytuacji górniczej.

a) dla czynnego frontu eksploatacji:

$$\sigma''_z(x,z,t) = \frac{2\,G\,w_0}{\pi}\left\{\frac{\beta}{v}\frac{z^2}{z^2 + (v\,t - x)^2} - \frac{\beta}{v}\frac{z^2\,e^{-\beta t}}{x^2 + z^2} + \right.$$

$$- (1 - e)^{-\beta t})\left[\frac{x}{x^2 + z^2} + \frac{2\,x\,z^2}{(x^2 + z^2)^2}\right] + \frac{\beta}{v}\,\mathrm{Re}(1 + \frac{\beta}{v}\,z\,i).$$

$$e^{-\frac{\beta}{v}\left[(v\,t - x) + i\,z\right]}E_1 \cdot \left\{-\frac{\beta}{v}\left[(v\,t - x) + i\,z\right]\right\} -$$

$$\left. - \frac{\beta}{v}\,e^{-t}\,\mathrm{Re}(1 + \frac{\beta}{v}\,z\,i)\,e^{\frac{\beta}{v}(x + i\,z)}E_1\left[\frac{\beta}{v}(x + i\,z)\right]\right\} \tag{2}$$

dla $0 \leqslant t \leqslant T$ i $0 \leqslant x \leqslant v\,t$

b) dla zatrzymanego frontu eksploatacji:

$$\sigma''_z(x,z,t) = \frac{2\,G\,w_0}{\pi}\left\{\frac{\beta}{v}\frac{z^2\,e^{-(t - T)}}{z^2 + (v\,T - x)^2} - \frac{\beta}{v}\frac{z^2\,e^{-t}}{x^2 + z^2} + \right.$$

$$-(e^{-\beta(t-T)} - e^{-\beta t})\left[\frac{x}{x^2+z^2} + \frac{2xz^2}{(x^2+z^2)^2} + \frac{\beta}{v} e^{-\beta(t-T)} \cdot\right.$$

$$\mathrm{Re}(1 + \frac{\beta}{v} z i)\, e^{-\frac{\beta}{v}[(vt-x)+iz]} E_1\left\{-\frac{\beta}{v}\left[(vT-x) + \right.\right. \tag{3}$$

$$\left.\left. + iz\right]\right\} - \frac{\beta}{v} e^{-\beta t}\, \mathrm{Re}(1 + \frac{\beta}{v} z i)\, e^{\frac{\beta}{v}(x+iz)} \cdot$$

$$\cdot E_1\left\{\frac{\beta}{v}(x+iz)\right\} - (1 - e^{-\beta(t-T)})\left[\frac{x}{x^2+z^2} + \frac{vT-x}{z^2+(vT-x)^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{2xz^2}{(x^2+z^2)^2} + \frac{2z^2(vT-x)}{[z^2+(vT-x)^2]^2}\right]\Bigg\}$$

dla $t > T$ $i < 0$ $x \leqslant vT$

Oznaczenia występujące w powyższych wzorach mają następujące znaczenie:

$w_0 = \bar{\eta} g$ – wielkość osiadania stropu pokładu uwarunkowana grubością wybieranego pokładu (g) i sposobem eksploatacji (η),

G – moduł sprężystości postaciowej górotworu,

$\beta = \frac{G}{\eta}$ – odwrotność czasu opóźnienia sprężystego,

v – prędkość postępu frontu eksploatacji,

t – czas liczony od chwili rozpoczęcia eksploatacji,

T – czas liczony od chwili rozpoczęcia do chwili zatrzymania eksploatacji,

$E_1(\lambda) = \int_{\lambda}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$ – funkcja specjalna, której wartości w zmiennej zespolonej zostały podane w tablicach.

Mając do dyspozycji wyprowadzone wzory można ocenić w każdym punkcie górotworu nad przestrzenią wybraną o jaką wartość nastąpił spadek naprężenia pionowego. Spadek naprężenia w stosunku do pierwotnego wyrazi się następująco:

$$\tilde{\beta}(x,z,t) = p_z + \sigma_z'' \tag{4}$$

Praktycznie ważny jest przypadek zatrzymanego frontu eksploatacji i doboru takiej szerokości wybrania (wybiegu ściany), przy której w środku tego wybrania naprężenie powraca do stanu pierwotnego. Warunek ten można uzyskać ze wzoru (3) przechodząc w nim z $t \to \infty$ i kładąc $x = \frac{vT}{2}$, $z = 0$,

oraz $\sigma''_z = p_z$. Po wykonaniu działań otrzymujemy równanie na wyznaczenie tej szerokości:

$$p_z = -\frac{8\,G\,w_0}{\pi\,v\,T} \tag{5}$$

a stąd

$$v\,T = -\frac{8\,G\,w_0}{\pi\,p_z} \tag{6}$$

By ocenić rząd wielkości uzyskiwanej z wzoru przeliczono przykład przyjmując następujące dane:

$G = 10\,000$ kG/cm^2

$w_0 = \eta g = 0{,}15 \cdot 3{,}0 = 0{,}45$ m

$p_z = -100$ kG/cm^2

wówczas

$$v\,T = \frac{8 \cdot 10\,000 \cdot 0{,}45}{3{,}15 \cdot 100} = 111 \text{ m}$$

Przy wybieraniu z zawałem stropu szerokość ta byłaby pięciokrotnie większa. Uzyskane ze wzoru (6) wartości wykazują dużą zgodność z wielkościami spotykanymi w praktyce.

Wnioski praktyczne

W oparciu o uzyskane w pracy wzory można określić poziomy i pionowy zasięg strefy odprężonej w górotworze, tzn. powiedzieć o jaką wartość nastąpił spadek naprężenia pionowego pierwotnego w każdym punkcie nad przestrzenią wybraną. Znajomość strefy odprężonej pozwala prawidłowo zaprojektować eksploatację w pokładzie odprężanym. Można w oparciu o to rozwiązanie wskazać miejsce, w którym powinny posuwać się fronty eksploatacji w pokładzie tąpiącym.

LITERATURA

[1] Gil H.: O pewnej możliwości ujęcia rozkładu przemieszczeń, naprężeń oraz gęstości energii odkształcenia w górotworze. Zeszyty Naukowe AGH Z. 22, 1969.

[2] Gil H.: Określenie poziomego zasięgu strefy odprężonej w górotworze. Prace Sympozium "Geodynamiki i tąpań" - Kraków 1972.

[3] Gil H., Kraj W.: The distribution of displacements and stresses around a longwall working. Arch. Górn. T. XVII, Z.3, 1972.

[4] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. Arch. Górn. (w druku).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССА РАССЛАБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Р е з ю м е

В работе представлен математически процесс расслабления горных пород.Принято, что горные породы являются реологическим центром "стандарт" однородным и изотропическим и при этом заложении определяется функция расслабления $\beta x, z, t$.

На основании полученных в работе формул можно определить горизонтальный и вертикальный предел зоны расслабления в горной породе т.е. сказать на какое значение наступило понижение первичного вертикального напряжения в каждом точке над избранным пространством.

Знание зоны расслабления позволяет правильно проектировать эксплуатацию в расслабленном пласте.

На основании этого решения можно указать место, в котором должны передвигаться фронты эксплуатации в пласте способным к ударам.

MATHEMATICAL ASPECTS OF OROGEN SLACKENING PROCESS

S u m m a r y

In the paper the orogen slackening process has been mathematically formulated.

It has been assumed that the orogen is a rheological centre, having a homogenous and isotrope "standard" model. Using this assumption the slackening function $\beta(x,z,t)$ - was determined. Basing on the formulae obtained in the paper, the parallel and vertical range of slackened zone can be determined, i.e. the value of the vertical primary strain decrease in each point above the chosen area can be exspressed. Knowledge about the slackened area makes is possible to design property working in the slackened stratum.

On the ground of this solution, the place where the working fronts in the bump stratum should be found, can be determined.