ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: GÓRNICTWO z. 69 Nr kol. 468

Józef STRAŚ

NOMOGRAMY DO WYZNACZANIA CIŚNIEŃ NA OBUDOWĘ WYROBISK KORYTARZOWYCH NA DUŻYCH GŁĘBOKOŚCIACH

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposoby obliczania ciśnień na obudowę wyrobisk korytarzowych na dużych głębokościach, opracowanych na podstawie badań radzieckich. W celu łatwiejszego korzystania z podanych wzorów opracowano nomogramy, na podstawie których można wyznaczyć ciśnienia na obudowę.

1. WPŁYW WARUNKÓW NATURALNYCH I GÓRNICZYCH NA ZACHOWANIE SIĘ OBUDOWY

Skały w otoczeniu wyrobisk ulegają deformacjom, których najczęściej nie można opisać przy zastosowaniu którejkolwiek teorii mechaniki ośrodków ciągłych. Strefa naprężeń i odkształceń, wytworzona wokół wyrobisk, ma w rzeczywistości zmienny przekrój strukturalny i naprężeniowy, w miarę odkształcania się w głąb calizny i czasu trwania eksploatacji wyrobiska.

Badania in situ wykazują, że bezpośrednio przy ociosie występuje strefa skał zruszonych, przedstawiających raczej ośrodek sypki z częściową lepkością i pozostający w stanie równowagi. Dalej następuje strefa skał podlegających lepko-plastycznemu płynięciu, a następnie strefa skał w masywie pozostających w stanie plastyczno-sprężystym i sprężystym. W tych warunkach ścisłe rozwiązanie zadania stanu skał wokół wyrobisk górniczych z uwzględnieniem współpracy z obudową i przy założeniu uławicenia skał, anizotropii i reologicznych własności napotyka na duże trudności, nawet przy rozpatrywaniu pojedynczego wyrobiska. Otrzymanie zadowalających wielkości podstawowych parametrów, jak ciśnienia górniczego i reakcji obudowy, na podstawie formuł przedstawionych w tym zakresie przez licznych badaczy jest utrudnione przede wszystkim trudnością dokładnego określenia fizykomechanicznych własności skał w masywie górotworu oraz wskutek zbytniej idealizacji rzeczywistych stanów występujących w górotworze naruszonym wyrobiskiem.

Eksperymentalne badania przejawów ciśnienia górniczego i mechanizmu współpracy obudowy ze skałami otaczającymi obejmują przede wszystkim następujące dziedziny pomiarów i obserwacji:

- wielkość i charakter rozkładu ciśnienia skał otaczających na obudowę wyrobisk,
- wielkość i szybkość deformacji skał przy powierzchni odkrycia, deformacji w głębi masywu oraz deformacji obudowy,

- stan naprężeń, wielkość i charakter zmian w skałach otaczających w obszarze wpływu wyrobisk,
- struktura, stopień zruszenia oraz własności skał otaczających.

Wieloletnie badania wykonane w tym zakresie naświetlają dostatecznie proces wzajemnej współpracy obudowy z górotworem oraz pozwalają na sformułowanie optymalnych warunków tej współpracy, niezbędnych dla zachowania stateczności wyrobisk górniczych, szczególnie w trudnych warunkach naturalnych (skały o mniejszej zwięzłości i wytrzymałości, większe głębokości).

Warunki te można najogólniej określić następująco:

- na obudowę wyrobisk górniczych, oprócz ciśnienia statycznego, działa również ciśnienie dynamiczne zwane ciśnieniem deformacyjnym, wynikające z deformacji skał otaczających wyrobisko pod wpływem panujących w nich naprężeń,
- ciśnienie deformacyjne staje się istotne dla trwałości wyrobiska na większych głębokościach, szczególnie w skałach niestatecznych. Wokół wyrobiska wytwarza się strefa intensywnych deformacji skierowana do wyrobiska. Powstałe przemieszczenie dla określonych warunków przybierają duże wielkości - teoretycznie nieskończone,
- wielkość ciśnienia deformacyjnego zależy od ciśnienia pierwotnego oraz jest funkcją czasu. Intensywność przebiegu tego procesu jest zależna od fizykomechanicznych własności górotworu oraz od technicznych i konstrukcyjnych parametrów obudowy.

Jeszcze bardziej złożony charakter mają problemy współpracy obudowy z górotworem w skałach skłonnych do wzmożonych, dynamicznych deformacji. Obudowa stosowana w wyrobiskach, z przejawami dynamicznego działania skał, powinna cechować się intensywnym i bardzo silnym oddziaływaniem, hamując swoją pracą proces deformacji skał oraz ich ruch do wyrobiska podczas wyładowywania energii.

Stateczność wyrobiska górniczego jest wynikiem wzajemnego oddziaływania zespołu parametrów naturalnych, istniejących w określonym środowisku górniczym oraz górniczo-technicznych wytworzonych w wyniku działalności w tym środowisku. Do zespołu parametrów naturalnych zaliczyć można np. wytrzymałość, odkształcalność i reologiczne własności otaczających skał, ich strukturę i teksturę oraz charakter i stopień naruszenia, kąt nachylenia warstw oraz głębokość zalegania i stopień zawodnienia.

Do zespołu górniczo-technicznych parametrów, wytwarzających określony naprężeniowo-odkształceniowy stan w skałach otaczających wyrobisko zaliczyć można np. kształt i parametry przekroju poprzecznego wyrobiska, charakterystykę techniczną, podatność i podporność oraz konstrukcję obudowy, sposoby ochrony wyrobisk oraz kierowanie ciśnieniem w skałach otaczających wyrobisko, jak również zespół parametrów związanych z technologią przygotowania oraz wybierania złoża.

Górniczo-techniczne parametry są wynikiem działalności górniczej, a więc mogą być zmieniane i przystosowane do istniejących warunków naturalnych. Należy dążyć do lokalizacji wyrobisk górniczych w skałach zwięzłych o wytrzymałości dostatecznej do przeciwstawienia się koncentracji naprężeń wywołanych eksploatacją, wówczas obudowa wyrobiska narażona będzie głównie na ciśnienie statyczne.

W przypadku prowadzenia wyrobisk w warunkach większych ciśnień oraz skał o mniejszej zwięzłości podstawową trudnością jest utrata stateczności skał otaczających wyrobisko w wyniku powstania obszarów deformacyjnych wokół wyrobiska.

2. USTALANIE OBCIĄŻENIA OBUDOWY I JEJ PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW

Obciążenie obudowy od strony warstw górotworu określano dotychczas głównie jako statyczne wzorami Cymbariewicza, Protodiakonowa i Sałustowicza przyjmując, że na obudowę działa ciężar spękanych skał poniżej wytworzonego w górotworze tzw. sklepienia ciśnień. Natomiast ciśnienie deformacyjno-dynamiczne występuje na średnich i dużych głębokościach. Liczne badania dotyczące ustalenia wielkości ciśnienia deformacyjnego były przeprowadzone w ZSRR.

W praktyce górniczej bardzo istotne znaczenie mają przy projektowaniu metody prognozowania ciśnień górotworu na obudowę. Metody te są wynikiem rozważań analitycznych i pomiarów prowadzonych w kopalniach.

Wykorzystując tarcie mechaniki ośrodków ciągłych oraz zasady statystyki matematycznej opracowano w Donieckim Węglowym Instytucie Górniczym formułę matematyczną opisującą przebieg zjawiska w strefie deformacyjnej, uwzględniając parametry obudowy (podatność, podporność, wymiary) z głębokością wyrobiska i wytrzymałością skały. Dla obliczenia parametrów obudowy stawianej bezpośrednio w przodku wyrobiska, możliwie w najkrótszym czasie od chwili wykonania wyłomu, należy stosować niżej podane zależności dla określania przemieszczeń obudowy podatnej [4]:

a) dla stropu

$$u_z = 0{,}1 \cdot a \left[e^{\frac{\gamma H - 10 \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \cdot q_z}{R}} - 1 \right] \qquad (1)$$

b) dla ociosów

$$u_x = 0{,}07 \cdot h \left[e^{\frac{0{,}85 \gamma \cdot H - 15 \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \cdot q_x}{R}} - 1 \right] \qquad (2)$$

gdzie:

u_z i u_x - przemieszczenie stropu i zbliżenie ociosów,
a i h - szerokość i wysokość wyrobiska,
q_z i q_x - podporność obudowy (ciśnienie na obudowę) w stropie i w ociosach wyrobiska,
$R_o = 30\ MN/m^2$ - umowna wytrzymałość skał,
R - wytrzymałość skał w jednoosiowym stanie naprężeń,
H - głębokość zalegania,
γ - ciężar objętościowy.

W przypadku zadanej podatności i podporności obudowy, wielkość ciśnienia na obudowę obliczamy ze wzorów:

- ciśnienie stropowe:

$$q_z = \frac{\gamma \cdot H}{10}\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 - \frac{R}{10 \lg e} \cdot \left(\frac{R_o}{R}\right)^2 \cdot \lg\left(1 + \frac{u_z}{0,1\ a}\right) \tag{3}$$

- ciśnienie ociosowe:

$$q_x = \frac{0,85\ \gamma \cdot H}{10}\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 - \frac{R}{15 \lg e}\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 \cdot \lg\left(1 + \frac{u_x}{0,07 \cdot h}\right) \tag{4}$$

Obliczenia według podanych wzorów dają wielkości bardzo zbliżone do pomierzonych. Odchylenia nie przekraczają 30%, co może być spowodowane tym, że nie ujęto w sposób ścisły we wzorach takich parametrów jak: modułu sprężystości, kąta tarcia wewnętrznego i własności reologicznych skał.

Wzory powyższe są jednak ważne przy zmianie wartości $\gamma \cdot H/R$ od 0,27 do 0,71.

W przypadku stosowania cienkich wkładek upodatniających w obudowach podatnych zachodzi szybkie zgniecenie wkładek i obudowy takie pracują jako sztywne, a wielkości przemieszczeń stropu u_z i ociosów u_x są równe zero.

Po podstawieniu do wzorów (3) i (4) $u_z = 0$ i $u_x = 0$ otrzymamy:

$$q_z = \frac{\gamma \cdot H \cdot R_o^2}{10\ R^2}, \tag{5}$$

$$q_x = \frac{\gamma \cdot H \cdot R_o^2}{17,6 \cdot R^2}. \tag{6}$$

Przy zwiększaniu podatności obudowy jej konieczna podporność maleje; wynika z tego, że nie można zakładać zbyt dużej podatności przyjmując małą podporność, gdyż obudowa nie będzie mogła przejąć ciężaru skał znajdujących się w stropie w obszarze deformacji niesprężystych. Odległość, na którą sięgają deformacje niesprężyste w głąb górotworu od obrysu wyłomu, można obliczyć z zależności:

$$c = 12 \sqrt[3]{u^2}. \tag{7}$$

Roboczą podporność obudowy podatnej w obszarze deformacji niesprężystych przy dostatecznym zapasie bezpieczeństwa można określić wzorem:

$$q = 8 \gamma \sqrt[3]{r \cdot u^2}, \tag{8}$$

gdzie:

$r = \frac{a}{2}$,

u - przemieszczenie stropu określone wzorem (1) przy $q_z = 0$.

Dla zapewnienia podparcia stropu (górotworu) do chwili wykonania obudowy ostatecznej i przejęcia skał rozwarstwiającego się wokół wyrobiska górotworu powinna być spełniona zależność:

$$q_w \geqslant q$$

Dopuszczalną wielkość podatności technologicznej sztywnej obudowy ostatecznej można określić wzorem:

$$u_T = 0{,}044\ r \left(\frac{q_w}{\gamma \cdot H}\right)^{1,5}, \tag{9}$$

gdzie:

q_w - wstępna podporność obudowy.

3. GRAFICZNE UJĘCIE ANALITYCZNYCH ZALEŻNOSCI OBCIĄŻENIA OBUDOWY OD JEJ PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW

Skały karbońskie Donbasu to, podobnie jak w naszym Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, piaskowce o wytrzymałości na ściskanie 20-120 MN/m^2, łupki piaszczyste 15-80 MN/m^2 i łupki ilaste 7-50 MN/m^2.

Biorąc pod uwagę duże podobieństwo warunków górniczych kopalń Zagłębia Donieckiego do kopalń węgla Zagłębia Górnośląskiego można wykorzystać podane wzory do określania parametrów obciążeń górotworu i wymaganej podatności oraz podporności obudowy dla naszych warunków górniczych. W celu łatwiejszego i szybszego określania wielkości ciśnień na obudowę, zarówno pionowych jak i poziomych, opracowano nomogramy, przy pomocy których można odczytać charakterystyczne wielkości.

Do wykreślenia nomogramów przekształcono wzory (3) i (4) do postaci:

- ciśnienie stropowe

$$\underbrace{\frac{q_z}{R}\left(\frac{R}{R_o}\right)^2}_{A} = \underbrace{\frac{\gamma \cdot H}{10\,R}}_{B} - \underbrace{\frac{\lg\left(1 + \frac{u_z}{0{,}1\,a}\right)}{10\,\lg e}}_{C}$$

- ciśnienie ociosowe

$$\underbrace{\frac{q_x}{R} \cdot \left(\frac{R}{R_o}\right)^2}_{A_1} = \underbrace{\frac{0{,}85\,\gamma \cdot H}{10\,R}}_{B_1} - \underbrace{\frac{\lg\left(1 + \frac{u_x}{0{,}07\,h}\right)}{15\,\lg e}}_{C_1}$$

Sposób korzystania z nomogramów jest następujący:

Z rysunku 1 dla danej głębokości (H) i wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie (R) odczytujemy wielkość (B), następnie dla obliczonej wartości $\frac{u_z}{a}$ odczytujemy wielkość (C). Z kolei z rys. 2 dla (A) = (B) - (C) odczytujemy dla danego rodzaju skał (R) wielkość ciśnienia pionowego (q_z) na obudowę. Podobnie postępujemy przy korzystaniu z nomogramów (rys. 3 i 4) do wyznaczania wielkości ciśnienia poziomego (q_x) na obudowę.

Przykład:

Wyznaczyć wielkość ciśnienia pionowego i poziomego na obudowę podatną wyrobiska o przekroju kołowym. Wyrobisko jest zlokalizowane na głębokości H = 800 m w skałach o wytrzymałości na ściskanie R = 40 MN/m^2. Promień wyrobiska r = 2,7 m (czyli a = h = 5,4 m), a podatność obudowy u_z = = u_x = 0,2 m.

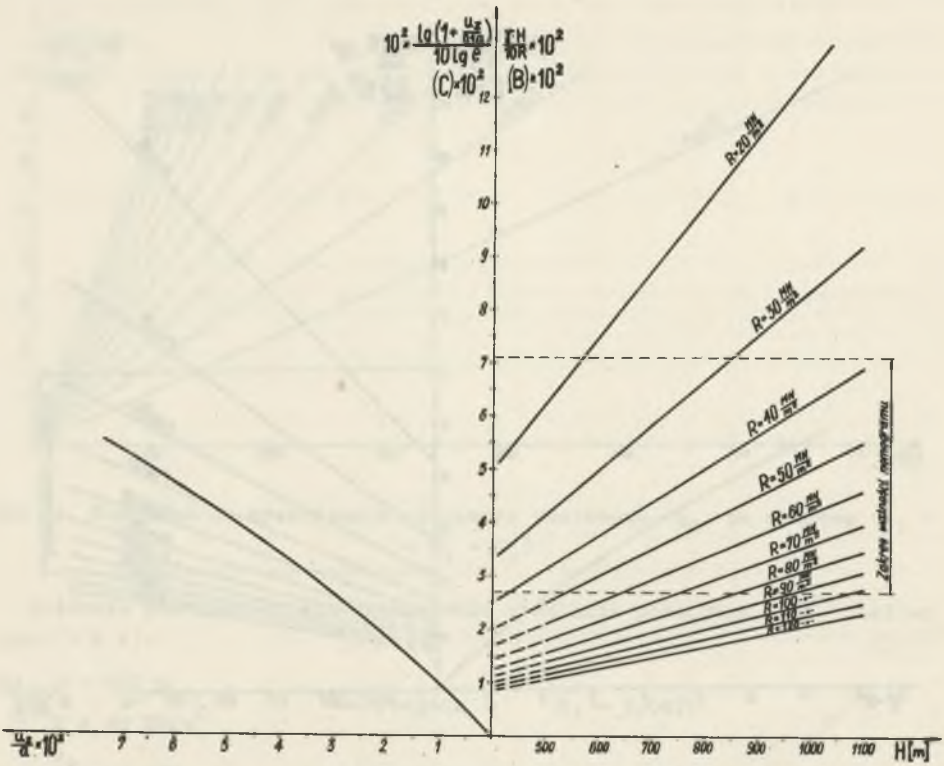
Obliczamy

$$\frac{u_z}{a} = \frac{0{,}2}{5{,}4} = 0{,}037$$

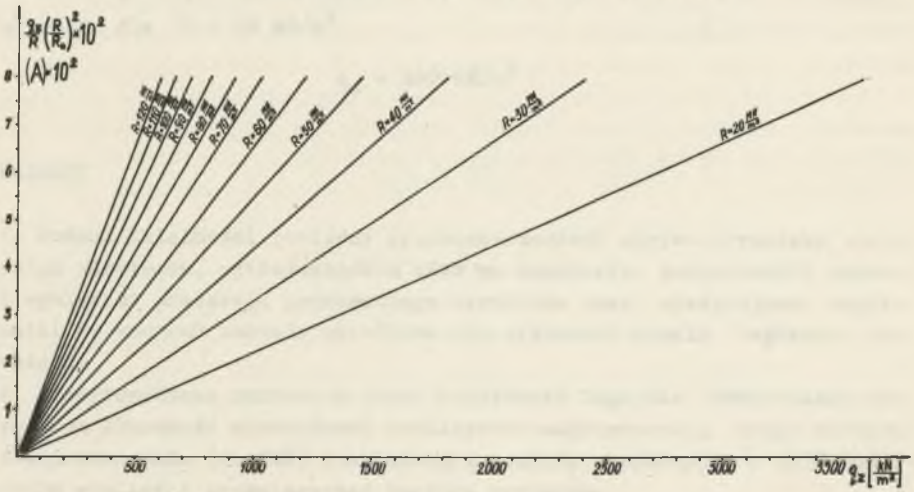
$$\frac{u_x}{h} = \frac{0{,}2}{5{,}4} = 0{,}037$$

dla H = 800 m i R = 40 MN/m^2 odczytujemy B = 0,0500 dla $\frac{u_z}{a}$ = 0,037 odczytujemy C = 0,0315 z różnicy B - C = A = 0,0185 otrzymujemy dla R = 40 MN/m^2

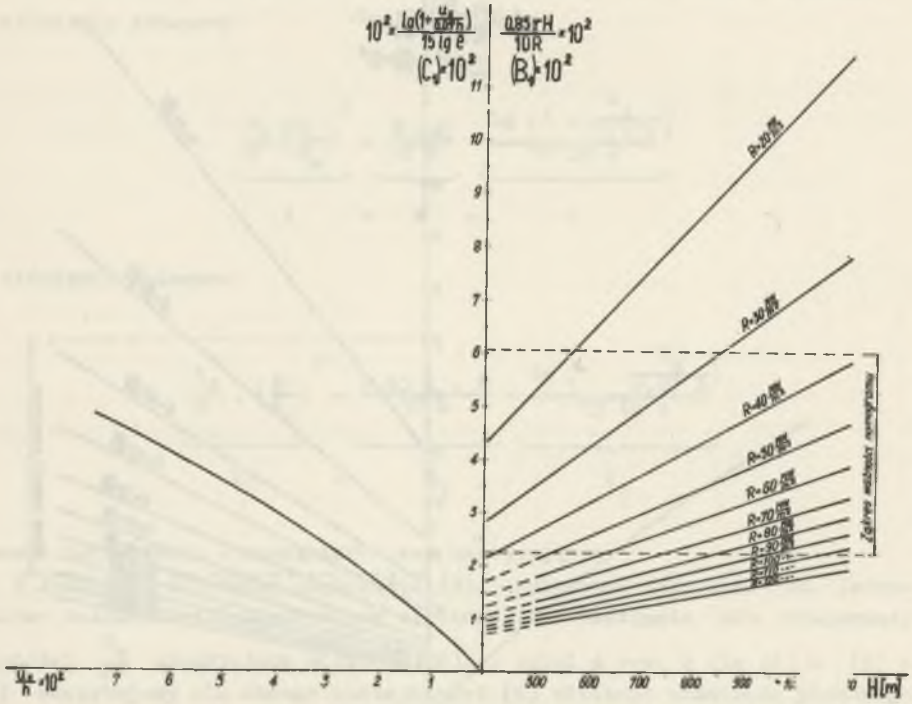
$$q_z = 430\ \text{kN/m}^2$$



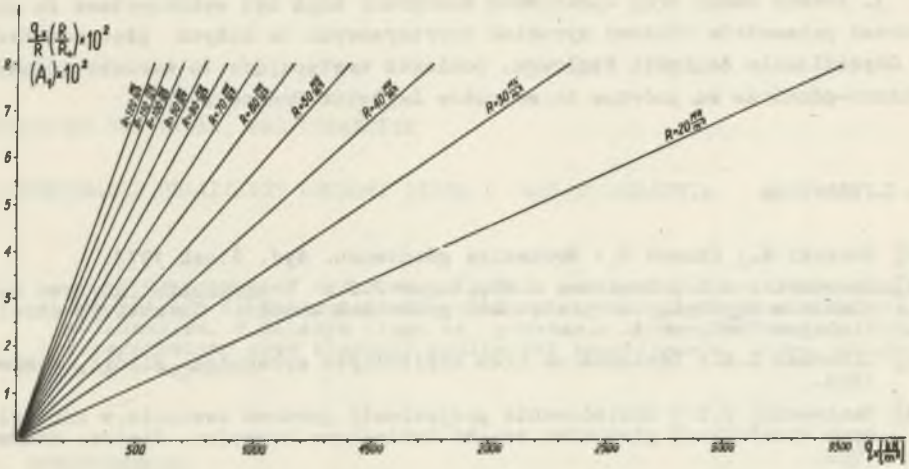
Rys. 1. Nomogram do wyznaczania wielkości (B) i (C), przy pomocy których obliczamy ciśnienie pionowe q_z na obudowę



Rys. 2. Nomogram do wyznaczania ciśnienia pionowego q_z na obudowę (A = = B - C)



Rys. 3. Nomogram do wyznaczania wielkości (B_1) i (C_1), przy pomocy których obliczamy ciśnienie pionowe q_x na obudowę



Rys. 4. Nomogram do wyznaczania ciśnienia poziomego q_x na obudowę ($A_1 = B_1 - C_1$)

Podobnie postępujemy dla wyznaczenia ciśnienia poziomego na obudowę (rys. 3 i 4).

dla $H = 800$ m
$R = 40$ MN/m^2 odczytujemy $B_1 = 0{,}0425$

dla $\frac{u_x}{h} = 0{,}037$ odczytujemy $C_1 = 0{,}0265$

z różnicy $B_1 - C_1 = A_1 = 0{,}0160$

otrzymujemy dla $R = 40$ MN/m^2

$$q_x = 360 \text{ kN/m}^2$$

4. WNIOSKI

1. Podane zależności pomiędzy przemieszczeniami obrysu wyrobiska a ciśnieniem górotworu, wytrzymałością skał na ściskanie, podpornością obudowy i wymiarami przekroju poprzecznego wyrobiska oraz występujące współczynniki we wzorach zostały określone dla głębokich kopalń Zagłębia Donieckiego.

2. Przeprowadzone pomiary w wielu kopalniach Zagłębia Donieckiego potwierdzają słuszność sformułowań analityczno-empirycznych, czego dowodem są stosunkowo małe (do 30%) rozbieżności wyników uzyskanych z obliczeń i pomiarów wielkości przemieszczeń konturu wyrobiska.

3. Podane wzory oraz opracowane nomogramy mogą być wykorzystane do obliczeń parametrów obudowy wyrobisk korytarzowych na dużych głębokościach w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, ponieważ występujące tu warunki geotechniczno-górnicze są podobne do warunków Zagłębia Donieckiego.

5. LITERATURA

[1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. Śląsk 1972.

[2] Dawydowicz I.Ł., Uszakowa J.P., Rogow J.S.: Projawlenie gornowo dawlenia w kapitalnych wyrabotkach głubokich szacht. Szachtnoje Stroitielstwo 1967, nr 3.

[3] Liberman J.M.: Dawlenie na krep kapitalnych wyrabotok. Niedra, Moskwa 1969.

[4] Zasławskij J.Z.: Issledowanie projawlenij gornowo dawlenia w kapitalnych wyrabotkach głubokich szacht Donieckowo bassejna. Niedra, Moskwa 1966.

[5] Zasławskij J.Z.: Raboty Don UGI w obłasti ochrany i prognozirowania projawlenij gornowo dawlenia w kapitalnych wyrabotkach głubokich szacht Donbassa. Sbornik trudow WNIMI, Leningrad 1971.

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ НА КРЕПЬ ШТРЕКОВЫХ ВЫРАБОТОК НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Р е з ю м е

В работе представлены способы расчета давлений на крепь узких выработок на больших глубинах, разработанных на основании советских исследований.

Для того, чтобы можно было легче пользоваться указанными формулами, разработаны номограммы, на основании которых можем определить давления на крепь.

NOMOGRAMS FOR DETERMINING PRESSURES EXERTED UPON THE LINING OF DOG HEADINGS AT GREAT DEPTHS

S u m m a r y

The paper discusses the methods of calculating the pressures which are exerted upon the lining of dog headings at great depths. These methods have been developed basing on researches that have been carried on in the Soviet Union. In order to facilitate the use of the formulae provided in the paper nomograms have been elaborated, by means of which it becomes possible to find the pressure that is exerted upon the lining.