

Metodyka określania parametrów odsłonięcia stropu w komorach wybierkowych przy eksploatacji złóż boksytu w warunkach głębokiego zalegania w północnej części Uralu

Методика определения параметров обнажения кровли очистных камер в условиях разработки глубоких горизонтов североуральских бокситовых месторождений

W artykule przedstawiono inżynierską metodykę określania szerokości odsłonięcia stropu w komorach wybierkowych. Metodyka uwzględnia zmiany procesów geomechanicznych w górotworze, wynikających ze skutków prac górniczych prowadzonych na poziomach głębokiego zalegania z pozostawieniem w zrobach filarów międzykomorowych (rudnych) i filarów granicznych oraz z uwzględnieniem wpływu konwergencji skał stropowych w systemie komorowo-filarowym.

Приведена инженерная методика определения ширины пролета кровли очистных камер. Методика учитывает изменение геомеханических процессов в породах кровли в результате перехода горных работ на глубоких горизонтах на технологические схемы камерно-столбовой системы разработки с оставлением в выработанном пространстве системы барьерных целиков, а также с учетом влияния совместной конвергенции пород кровли и податливых междуканальных целиков.

1. WPROWADZENIE

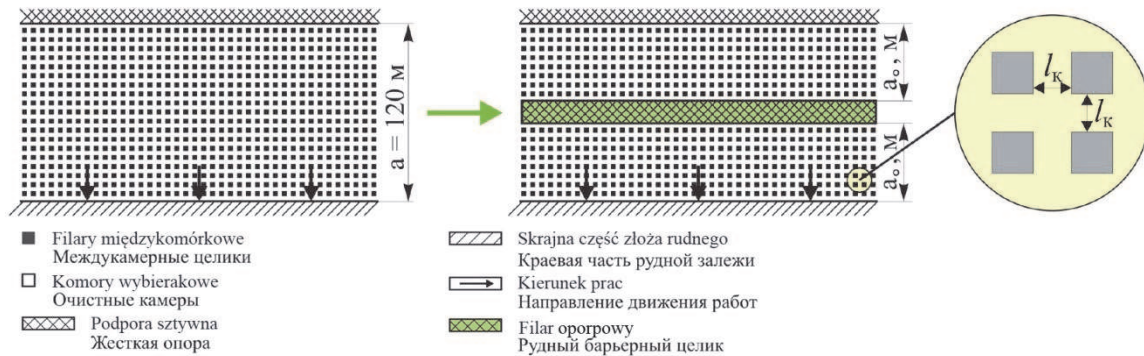
Zasadnicza część robót wybierkowych w kopalniach boksytowych północnej części Uralu skupiona jest obecnie na głębokościach przekraczających 800-1000 m i prowadzona w trudnych warunkach górniczo-geologicznych, górniczo-technicznych i geomechanicznych. Podstawowa część zasobów (ponad 60%) złoża jest eksploatowana z zastosowaniem systemu komorowo-filarowego (SEKF) z podparciem stropu za pomocą filarów rudnych. Podczas eksploatacji złóż stwierdzono, że w warunkach dużych głębokości i dynamicznego powstawania ciśnienia eksploatacyjnego system ten, bez podjęcia specjalnych czynności, jest obciążony podwyższonym ryzykiem.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основной объем очистных работ на Североуральских бокситовых рудниках концентрируется как правило на глубинах, превышающих 800-1000 метров в сложных горно-геологических, горнотехнических и геомеханических условиях. Основной объем запасов (более 60%) месторождений обрабатывается с применением камерно-столбовой системы разработки (КССР) с поддержанием кровли покрывающих пород рудными целиками. В ходе отработки месторождений было установлено, что в условиях больших глубин и динамического проявления горного давления эта система без применения специальных мер имеет повышенную опасность.

2. MODERNIZACJA SYSTEMU EKSPLOATACJI

Aby obniżyć poziom zagrożenia geodynamicznego (sejsmicznego) w blokach wybierkowych, zmieniono system eksploatacji na głębokich poziomach, wprowadzając do systemu komorowo-filarowego eksploatacji system filarów oporowych pozostawianych w zrobach (rys. 1).



Rys. 1. Schemat do określania szerokości odświeżenia stropu komory wybierkowej

Рис. 1. Схема к определению ширины пролета кровли камеры

Zakłada się, że ugięcie stropu aż do utraty nośności jest sprężyste, i – w konsekwencji – w pierwszym zbliżeniu ugięcie stropu między sąsiednimi filarami międzykomorowymi będzie rozpatrywane jako ugięcie belki sprężystej pod działaniem pewnego rozłożonego obciążenia, które tworzą eksploatowane skały w granicach sklepienia pełnych przesunięć, powstałego między filarami granicznymi (skrajnymi częściami złoża rudnego). Wówczas naprężenie ugięcia w belce jest obliczane według następującej zależności:

$$\sigma_{ug} = kal_K^2 \operatorname{tg}(\varphi_3), \quad (1)$$

gdzie:

k – współczynnik, proporcjonalny do γ i zależny od grubości belki,

a – wysokość nachylenia piętra lub śródpiętra, m,

l_K – szerokość komory, m,

φ_3 – kąt przesunięć całkowitych na głębokości H , stopnie.

Maksymalne naprężenie zginania (ugięcia) nie powinno przekraczać pewnej wielkości krytycznej $\sigma_{ug,kr}$, której wielkość można określić, stosując następujące wyrażenie:

$$\sigma_{ug,kr} = \frac{\sigma_{gr.w.b.}}{k_3}, \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma_{gr.w.b.}$ – granica wytrzymałości belki na zginanie (uginanie), МПа,

k_3 – współczynnik bezpieczeństwa.

2. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для снижения уровня геодинамической опасности в очистных блоках был осуществлен переход горных работ на глубоких горизонтах на технологические схемы камерно-столбовой системы разработки с оставлением в выработанном пространстве системы барьерных целиков (рис. 1).

Предполагается, что изгиб кровли вплоть до потери несущей способности протекает упруго и, вследствие этого, в первом приближении изгиб кровли между соседними междукамерными целиками будем рассматривать как изгиб упругой балки под действием некоторой распределенной нагрузки, которую создают подработанные породы в пределах свода полных сдвижений, образующегося между барьерными целиками (краевыми частями рудной залежи).

Тогда изгибные напряжения в балке определяются по следующей зависимости:

$$\sigma_{изг} = kal_K^2 \operatorname{tg}(\varphi_3), \quad (1)$$

где:

k – некоторый коэффициент, пропорциональный γ и зависящий от толщины балки;

a – наклонная высота этажа или подэтажа, м;

l_K – ширина камеры, м;

φ_3 – угол полных сдвижений на глубине H , град.

Максимальные напряжения изгиба не должны превышать некоторой критической величины $\sigma_{изг,кр}$, величину которой можно определить, используя следующее выражение:

$$\sigma_{изг,кр} = \frac{\sigma_{ПР}}{k_3}, \quad (2)$$

где:

$\sigma_{ПР}$ – предел прочности балки на изгиб, МПа;

k_3 – коэффициент запаса.

Z uwzględnieniem (2) otrzymuje się:

$$\sigma_{gr.w.b.} = k_3 k a l_K^2 \operatorname{tg}(\varphi_3), \quad (3)$$

Wartość kąta przesunięcia całkowitego eksploatowanych skał φ_3 z uwzględnieniem wpływu równowagi ciśnień w górotworze, przy pozostawianiu w zrobach oporowych filarów międzykomorowych, zależy od szeregu podstawowych czynników górniczo-geologicznych oraz górniczo-technicznych i może być określana według następującego wzoru:

$$\varphi_3 = \varphi_3^{\max} + (\varphi_3^{\max} - \varphi_{30}) (\beta^2 - 2\beta), \quad (4)$$

gdzie:

φ_3^{\max} – wielkość maksymalnego możliwego kąta przesunięcia, stopnie,

β – współczynnik, uwzględniający warunek wzajemnego oddziaływania filaru międzykomorowego i skał otaczających.

3. WYZNACZANIE SZEROKOŚCI ODSŁONIĘCIA STROPU

Obserwacje kopalniane przesunięcia (przemieszczenia) skał otaczających pokazują, że można przyjąć, iż wielkość maksymalnego możliwego kąta przesunięcia φ_3^{\max} jest równa $70^\circ \div 72^\circ$. Zależność dla określenia współczynnika β , charakteryzującego warunek wzajemnego oddziaływania filaru międzykomorowego i skał otaczających, ma następującą postać:

$$\beta = \frac{\Delta_F}{\Delta_0}, \quad (5)$$

gdzie:

Δ_F – osiadanie filaru międzykomorowego z uwzględnieniem ponadnormatywnych deformacji, m,

Δ_0 – konwergencja skał otaczających, m.

Osiadanie filaru międzykomorowego, z uwzględnieniem jego ponadnormatywnych deformacji, wyznacza się z następującego wzoru:

$$\Delta_{II} = 0,5 \frac{0,24 \sigma_{j_s}}{0,05 E_{spr}} m_3, \quad (6)$$

gdzie:

σ_{j_s} – granica wytrzymałości boksytów na jednoosiowe ściskanie (Rc), MPa,

E_{spr} – moduł sprężystości materiału rudy, MPa,

m_3 – grubość złoża rudnego, m.

С учетом (2) имеем:

$$\sigma_{IIp} = k_3 k a l_K^2 \operatorname{tg}(\varphi_3), \quad (3)$$

Величина угла сдвижения подработанных пород φ_3 от действия свода естественного равновесия при наличии в выработанном пространстве системы поддерживающих междукammerных целиков зависит от ряда основных горно-геологических и горнотехнических факторов, и может быть определена из следующего выражения:

$$\varphi_3 = \varphi_3^{\max} + (\varphi_3^{\max} - \varphi_{30}) (\beta^2 - 2\beta), \quad (4)$$

где:

φ_3^{\max} – величина максимально возможного угла сдвижения, град;

β – коэффициент, учитывающий условие взаимодействия междукammerного целика с вмещающими породами.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ОБНАЖЕНИЯ КРОВЛИ

Шахтные наблюдения за сдвижением вмещающих пород показывают, что величину максимально возможного угла сдвижения φ_3^{\max} можно принять равной $70^\circ \div 72^\circ$. Зависимость для определения коэффициента β , характеризующего условие взаимодействия междукammerного целика с вмещающими породами имеет следующий вид:

$$\beta = \frac{\Delta_{II}}{\Delta_0}, \quad (5)$$

где:

Δ_{II} – осадка междукammerного целика с учетом запредельного характера деформирования, м;

Δ_0 – конвргенция вмещающих пород, м.

Осадка междукammerного целика с учетом его запредельного деформирования определяется из следующей зависимости:

$$\Delta_{II} = 0,5 \frac{0,24 \sigma_{сж}}{0,05 E_3} m_3, \quad (6)$$

где:

$\sigma_{сж}$ – предел прочности бокситов на одноосное сжатие, МПа;

E_3 – модуль упругости материала руды, МПа;

m_3 – мощность рудной залежи, м.

Wzór na wyznaczenie konwergencji skał otaczających Δ_0 ma postać:

$$\Delta_0 = \frac{2(\cos^2\alpha + \lambda_T \sin^2\alpha)0,01\gamma H}{E_{sr.spr.}} \frac{a}{\sqrt{1 + \frac{a}{b}}}, \quad (7)$$

gdzie:

- α – kąt nachylenia złoża rudnego, stopnie,
 $\lambda_t = \frac{\sigma_g}{\sigma_w}$ – stosunek poziomych σ_g do pionowych σ_w naprężeń nienaruszonej calizny,
 γ – ciężar właściwy skał otaczających, Mg/m³,
 H – głębokość prowadzenia robót wybierkowych, m,
 $E_{sr.spr.}$ – średnioważony moduł sprężystości skał otaczających, MPa,
 a – wymiar powierzchni zrobów uwzględniający nachylenie złoża rudnego, m,
 b – wymiar powierzchni zrobów względem linii rozciągłości złoża rudnego, m.

Wówczas, z uwzględnieniem (6) i (7) zależność do wyznaczenia współczynnika β przyjmie następującą, ostateczną postać:

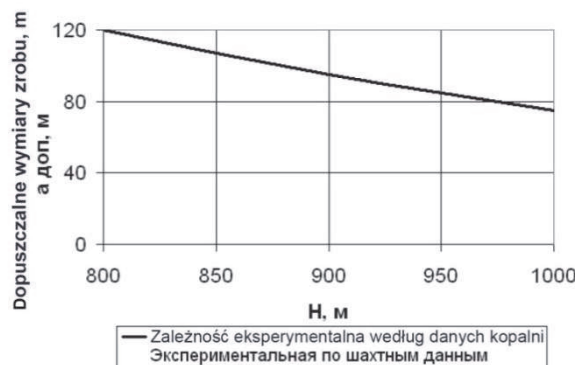
$$\beta = 0,5 \frac{(0,17\sigma_{js})}{2(\cos^2\alpha + \lambda_T \sin^2\alpha)\gamma H} \frac{E_{sr.spr.}}{0,05E_{Espr}} \frac{\sqrt{1 + \frac{a}{b}}}{a} m_3 \quad (8)$$

Należy podkreślić, że pod względem geomechanicznych warunków obciążenia sytuacje z podziałem piętra na śródpiętra i bez podziału są podobne. Tym sposobem dla głębokości odpowiadających H' otrzymamy:

$$\sigma'_{gr.w.b.} = k'_3 k a_0 \operatorname{tg}(\phi'_3) l'_k{}^2,$$

gdzie apostrof (prim) oznacza, że odpowiednie wielkości przyjmowane są dla głębokości eksploatacji H' , dla której przyjęto podział piętra na śródpiętra.

Zależność empiryczną do wyznaczenia dopuszczalnych wymiarów zrobów na głębokościach prowadzonych robót wybierkowych przekraczających 800 m przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wykres zależności dopuszczalnych wymiarów zrobów od głębokości prowadzonych robót wybierkowych
 Рис. 2. График зависимости допустимого размера выработанного пространства от глубины горных работ

Выражение для определения конвргенции вмещающих пород Δ_0 имеет вид:

$$\Delta_0 = \frac{2(\cos^2\alpha + \lambda_T \sin^2\alpha)0,01\gamma H}{E_{\Pi}} \frac{a}{\sqrt{1 + \frac{a}{b}}}, \quad (7)$$

где:

- α – угол падения рудной залежи, град;
 $\lambda_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ – отношение горизонтальных « σ_T » к вертикальным « σ_B » напряжениям нетронутого массива,
 γ – удельный вес вмещающих пород, T/M³;
 H – глубина горных работ, м;
 E_{Π} – средневзвешенный модуль упругости вмещающих пород, МПа;
 a – размер выработанного пространства по падению рудной залежи, м;
 b – размер выработанного пространства по простиранию рудной залежи, м.

Тогда, с учетом (6) и (7) зависимость для определения коэффициента β примет следующий окончательный вид:

$$\beta = 0,5 \frac{(0,17\sigma_{СЖ})}{2(\cos^2\alpha + \lambda_T \sin^2\alpha)\gamma H} \frac{E_{\Pi}}{0,05E_3} \frac{\sqrt{1 + \frac{a}{b}}}{a} m_3 \quad (8)$$

Следует отметить, что по геомеханическим условиям нагружения ситуации с разделением этажа на подэтажи и без разделения являются подобными. Таким образом для глубин соответствующих H' будем иметь:

$$(9) \quad \sigma'_{\Pi P} = k'_3 k a_0 \operatorname{tg}(\phi'_3) l'_k{}^2, \quad (9)$$

где штрих означает, что соответствующие величины принимаются для глубины разработки H' , где принято разделение этажа на подэтажи.

Экспериментальная зависимость для определения допустимого размера выработанного пространства на глубинах горных работ, превышающих 800 м приведена на рисунке 2.

Przyjmijmy, że na głębokości eksploatacji H i H' współczynniki bezpieczeństwa k_3 i k_3' są jednakowe, tj. $k_3 = k_3'$. Wówczas, dzieląc wyrażenie (3) przez (9), otrzymamy:

$$\frac{\sigma_{gr.w.b.}}{\sigma'_{gr.w.b.}} = \frac{a}{a_0} \left(\frac{l_K}{l'_K} \right)^2 \frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)} \quad (10)$$

Przekształcając wyrażenie (10) w stosunku do szerokości odsłoniętego stropu komory l_K , otrzymamy:

$$l'_K = \sqrt{\frac{\sigma'_{gr.w.b.}}{\sigma_{gr.w.b.}}} \sqrt{\frac{a\sqrt{b+a_0}}{a_0\sqrt{b+a}}} \sqrt{\frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)}} l_K \quad (11)$$

Należy zauważyć, że stosunek $\sigma'_{gr.w.b.}/\sigma_{gr.w.b.} = k_{str}$ jest współczynnikiem strukturalnego osłabienia skał stropowych. Dlatego wyrażenie (11) można uprościć i zapisać w następującej postaci:

$$l'_K = \sqrt{k_{str}} \sqrt{\frac{a\sqrt{b+a_0}}{a_0\sqrt{b+a}}} \sqrt{\frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)}} l_K \quad (12)$$

Analiza warunków dynamicznego powstawania ciśnienia eksploatacyjnego w kopalniach boksytowych północnej części Uralu przy prowadzeniu robót wybierkowych z wykorzystaniem systemu filarowo-komorowego pokazuje, że przy głębokości $H = 800$ m krytyczne wymiary przodka wybierkowego wynoszą $a = 120$ m (rys. 2). Dlatego dane te zdecydowano się przyjmować za wyjściowe przy wyznaczaniu współczynników osłabienia strukturalnego k_{str} . Z uwzględnieniem danych *Instrukcji wyboru parametrów konstrukcyjnych filarowo-komorowego systemu eksploatacji kopalni OAO „Sewuralboksitruuda”* (1997 r.), w zależności od klasy skał, podklasy skał i głębokości prowadzenia robót wybierkowych określono współczynniki osłabienia strukturalnego k_{str} . W tabelicy 1. przedstawiono wartości współczynników osłabienia strukturalnego skał stropowych dla najczęściej występującej (80%) klasy II₄, dla której przyjmuje się, że dopuszczalny wymiar (szerokość) odsłoniętego stropu komory wybierkowej na głębokości 800 m jest równy 5,0 m.

Примем, что на глубине разработки H и H' коэффициенты запаса k_3 и k_3' одинаковые, то есть $k_3 = k_3'$. Тогда деля выражение (3) на (9), получим:

$$\frac{\sigma_{ПР}}{\sigma'_{ПР}} = \frac{a}{a_0} \left(\frac{l_K}{l'_K} \right)^2 \frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)} \quad (10)$$

Преобразовывая выражение (10) относительно ширины камеры l_K , получим:

$$l'_K = \sqrt{\frac{\sigma'_{ПР}}{\sigma_{ПР}}} \sqrt{\frac{a\sqrt{b+a_0}}{a_0\sqrt{b+a}}} \sqrt{\frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)}} l_K \quad (11)$$

Отметим, что отношение $\sigma'_{ПР}/\sigma_{ПР} = k_{СТР}$ является коэффициентом структурного ослабления пород кровли. Поэтому выражение (11) можно упростить, и переписать в следующем окончательном виде:

$$l'_K = \sqrt{k_{СТР}} \sqrt{\frac{a\sqrt{b+a_0}}{a_0\sqrt{b+a}}} \sqrt{\frac{\text{tg}(\varphi_3)}{\text{tg}(\varphi'_3)}} l_K \quad (12)$$

Анализ условий динамических проявлений горного давления на шахтах СУБРа при ведении горных работ с использованием камерно-столбовой системы разработки показывает, что при глубине $H = 800$ м критический размер очистного пространства составляет $a = 120$ м (рисунок 2), поэтому эти данные было решено принимать за исходные при определении коэффициентов структурного ослабления $k_{СТР}$. С учетом данных «Руководства по выбору конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки на шахтах ОАО «Севуралбoksитруда» (1997 г) в зависимости от класса пород, подкласса пород и глубины ведения очистных работ были определены коэффициенты структурного ослабления $k_{СТР}$. В таблице 1 приведены значения коэффициентов структурного ослабления пород кровли для наиболее распространенного класса II₄ (80%) для которого в шахте допустимый пролет кровли очистной камеры на глубине 800 м принимался равным 5,0 м.

Таблица 1.

Współczynniki osłabienia strukturalnego skał stropowych

Klasa skał	Podklasa skał	l_K , m	Współczynniki osłabienia strukturalnego skał stropowych k_{str} w zależności od głębokości robót wybierkowych H		
			$H = 800$ m	$H = 900$ m	$H = 1000$ m
II	4	5,0	1,00	0,90	0,80

Таблица 1

Коэффициенты структурного ослабления пород кровли

Класс пород	Подкласс пород	l_K , м	Коэффициенты структурного ослабления пород кровли $k_{СТР}$ при глубине работ H , равной ..., м		
			800	900	1000
II	4	5,0	1,00	0,90	0,80

4. WERYFIKACJA METODY WYZNACZANIA SZEROKOŚCI ODSŁONIĘCIA STROPU

Poniżej, w tablicach 2. i 3., przedstawiono dane wyjściowe i rezultaty weryfikacji metodyki określania parametrów odsłonięcia stropu komór dla głębokości 1000 metrów, pod warunkiem zmiany prowadzenia robót wybierkowych na system filarowo-komorowy eksploatacji z pozostawieniem w zrobach filarów oporowych.

4. ПЕРЕАТТЕСТАЦІЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ОБНАЖЕНИЯ КРОВЛИ

Нижє, в таблицях 2-3 приведенє исходные данные и результаты апробации методики определения параметров кровли камер для глубины 1000 метров при условии перехода горных работ на технологические схемы камерно-столбовой системы разработки с оставлением в выработанном пространстве системы барьерных целиков.

Tablica 2.

Dane wyjściowe do weryfikacji metodyki określania parametrów odsłonięcia stropu

Rodzaj boksytu w złożu rudnym	$\sigma_{СЖ}$, МПа	α , st.	λ_T	γ , Mg/m ³	$E_{П}$, МПа	E_3 , МПа	b, m	m_3 , m	φ_3^{\max} , st.	φ_{30} , st.
Czerwony brudzący (diaspor-hematytowe)	20	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$0,6 \cdot 10^4$	200	6	72	63
Czerwony niebrudzący (diaspor-bemit-hematytowe)	40	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	200	4	72	63
Różnobarwny	80	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$	200	2	72	63

Таблица 2

Исходные данные

Разновидность боксита в рудной залежи	$\sigma_{СЖ}$, МПа	α , гр.	λ_T	γ , т/м ³	$E_{П}$, МПа	E_3 , МПа	b, м	m_3 , м	φ_3^{\max} , гр.	φ_{30} , гр.
Красный маркиый	20	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$0,6 \cdot 10^4$	200	6	72	63
Красный немаркий	40	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	200	4	72	63
Пестроцветный	80	30	1,5	2,54	$3 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$	200	2	72	63

Tablica 3.

Wyniki obliczeń wg metodyki określania szerokości odsłonięcia stropu komory

Odmiana boksytu w złożu rudnym	Dla $H = 800$ m			Dla $H = 1000$ m			l_K , m	l'_K , m
	a, m	β	φ_3 , stop.	a_0 , m	β	φ'_3 , stop.		
Czerwony brudzący (diaspor-hematytowy)	120	0,33	67,0	75	0,39	66,3	5	5,5
Czerwony niebrudzący (diaspor-bemit-hematytowe)	120	0,18	69,1	75	0,21	68,6	5	5,5
Różnobarwny	120	0,04	71,3	75	0,05	71,2	5	5,5

Таблица 3

Результаты определения ширины пролета кровли камеры

Разновидность боксита в рудной залежи	При $H = 800$ м			При $H = 1000$ м			l_K , м	l'_K , м
	a, м	β	φ_3 , град.	a_0 , м	β	φ'_3 , град.		
Красный маркиый	120	0,33	67,0	75	0,39	66,3	5	5,5
Красный немаркий	120	0,18	69,1	75	0,21	68,6	5	5,5
Пестроцветный	120	0,04	71,3	75	0,05	71,2	5	5,5

5. PODSUMOWANIE

Wiarygodność metodyki jest potwierdzona rezultatami prób doświadczalno-przemysłowych przeprowadzonych w kopalniach OAO „Sewuralboksitruda” [OAO «Севуралбокситруда»].

Uzyskana szerokość obliczeniowa odsłonięcia stropu komory równa 5,5 m została przyjęta dla skał klasy II4 w projekcie „Filarowo-komorowy system eksploatacji złóż boksytowych na głębokości 1000 i więcej metrów w kopalniach OAO «Sewuralboksitruda» [OAO «Севуралбокситруда»]”.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.

5. РЕЗЮМЕ

Достоверность методики подтверждается результатами опытно-промышленных испытаний проведенных на шахтах ОАО «Севуралбокситруда». Полученная расчетная ширина пролета кровли камеры, равная 5,5 м принята для пород класса II4 в «Проекте «Камерно-столбовая система разработки бокситовых месторождений на глубине 1000 и более метров на шахтах ОАО «Севуралбокситруда».

Статья прорецензирована двумя независимыми рецензентами.

THE METHOD OF CALCULATING EXPOSURE ROOF TREATMENT CHAMBERS IN THE DEVELOPMENT OF DEEP HORIZONS SEVEROURALSK BAUXITE DEPOSITS

Refer engineering technique for determining the span of the roof treatment chambers. Method takes into account the change of geo-mechanical processes in the rocks of the roof due to the transition of mining operations in the deep horizons for technological schemes room-and-pillar system with leaving in the goaf of barrier pillars, as well as the influence of the joint convergence of roof rocks and compliant interchamber pillars.

WAGO-I/O-SYSTEM 750 XTR

W eXTRemalnych wyzwaniach 750 XTR ujarzmia żywioły



eXTRemalnie wytrzymałe
od -40°C do $+70^{\circ}\text{C}$

eXTRemalnie odporne na napięcie
udarowe do 5 kV

eXTRemalnie odporne na wibracje
do przyspieszenia 5 g

www.wago.com/750xtr

WAGO®