

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КРІПЛЕННЯ НАРІЗНИХ ВИРОБОК У ЗОНАХ ВПЛИВУ ОЧИСНОГО ПРОСТОРУ

Розкриті актуальність та проблематика існуючої технології кріплення нарізних виробок в умовах ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат». Наведені результати теоретичних, лабораторних та натурних досліджень напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисних камер та бурових ортів. Запропонована нова методика розрахунку параметрів комбінованого кріплення нарізних виробок, яка враховує вплив очисного простору.

Раскрыты актуальность и проблематика существующей технологии крепления нарезных выработок в условиях ЗАО «Запорожский железорудный комбинат». Представлены результаты теоретических, лабораторных и натуральных исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг очистных камер и буровых ортов. Предложена новая методика расчета параметров комбинированного крепления нарезных выработок, которая учитывает влияние очистного пространства.

The urgency and problematics of existing technology of supporting of face heading in the conditions of CJC «Zaporizkij ore mining enterprise» are opened. Results of theoretical, laboratory and natural researches of the is stress and strain condition of a file of rocks round clearing chambers and drilling orts are presented. The new design procedure of parametres of the combined of supporting of face heading which considers influence of stoping is offered.

Видобування багатих залізних руд на шахтах України здійснюється переважно камерними системами розробки. За допомогою цих систем у ВАТ «Криворізький залізорудний комбінат» видобувають понад 70%, а в ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (ЗАО «ЗЗРК») 100% багатих залізних руд. Завдання підвищення темпів експлуатації родовищ найбільш актуальним є для ЗАТ «ЗЗРК», де видобування руди пов'язано з процесом закладання виробленого простору. Збільшення обсягів видобутку та зниження темпів розкриття й підготовки нових горизонтів призводить до порушення раціонального співвідношення між очисними й гірничо-капітальними роботами. З метою вирішення виниклої проблеми в 2001 році Державним підприємством «Науково-дослідний гірничорудний інститут» (м. Кривий Ріг) для ЗАТ «ЗЗРК» був розроблений і впроваджений новий варіант поверхнево-камерної системи розробки із закладкою, що твердіє. Його конструктивною особливістю є наявність у первинних камер високого похилого днища, що примикає до висячого боку покладу.

Нова форма первинних очисних камер дозволяє зменшити кількість техніки з доставки в межах блоків на 20% і знизити обсяг проходки нарізних виробок на 16%.

Формування високого похилого днища веде до деоптимізації форм камер та сприяє прояву гірського тиску в прилеглому масиві гірських порід. Нарізні виробки, що проводять у масиві руди похилого днища та вторинної камери, є концентраторами напружень. Це проявляється у вигляді вивалів, відшарування й обвалення руди в бурових ортах очисних блоків на шахті «Експлуатаційна» ЗАТ «ЗЗРК». Питаннями розробки покладів за допомогою камерних систем і кріплення виробок займалися С.Г. Борисенко, І.С. Зіцер, В.О. Калініченко, Ю.П. Капленко, О.В. Колоколов, В.Ф. Лавриненко, Є.І. Логачов, В.С. Нігматуллін, В.Г. Перепелиця, В.В. Цариковський, Є.П. Чистяков, Г.Т. Фаустов, О.Є. Хоменко та інші. Відсутність достатнього наукового обґрунтування способів кріплення нарізних виробок, що знаходяться в зонах розвантаження очисних камер, сприяє зниженню безпеки гірничих робіт, перевитраті кріпильних матеріалів і, як наслідок, підвищенню собівартості видобутку руди.

Для аналітичного дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисних камер була удосконалена методика, яка запропонована авторами у роботі [1], та розроблена розрахункова схема дослідження напружено-деформованого стану масиву в зонах розвантаження первинними очисними камерами (рис. 1).

Дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід у зонах розвантаження первинних камер виконували за поширенням ізоліній радіальних напружень σ_r . Для дослідження впливу глибини закладання первинних очисних камер, що мають похилі днища з боку висячого боку, були виконані для існуючих та нових горизонтів шахти. Зміна радіальних напружень σ_r у межах зон розвантаження зі збільшенням глибини проведення гірничих робіт наведена на рис. 2, а-в.

Графічні залежності напружень σ_p для основних областей концентрацій напружень у масиві зон розвантаження первинними очисними камерами і аналітичні залежності апроксимації визначалися за допомогою програми Microsoft Excel 2000.

Аналітичні залежності визначені для областей концентрації напружень у масиві навколо первинних камер з метою їх подальшого використання в інженерних розрахунках. Для масиву гірських порід навколо камер, залежності зміни напружень зі збільшенням глибини їх закладання мають вигляд:

– максимальні розтягальні напруження у руді лежачого боку

$$\sigma_p = 1,262e^{0,0021H}, \text{ МПа, при } R = 98 \%,$$

де R – вірогідність апроксимації, %;

H – глибина закладання камер, м;

– максимальні розтягальні напруження у масиві руди похилого днища первинних очисних камер.

$$\sigma_p = 1,726e^{0,0016H}, \text{ МПа, при } R = 95 \%.$$

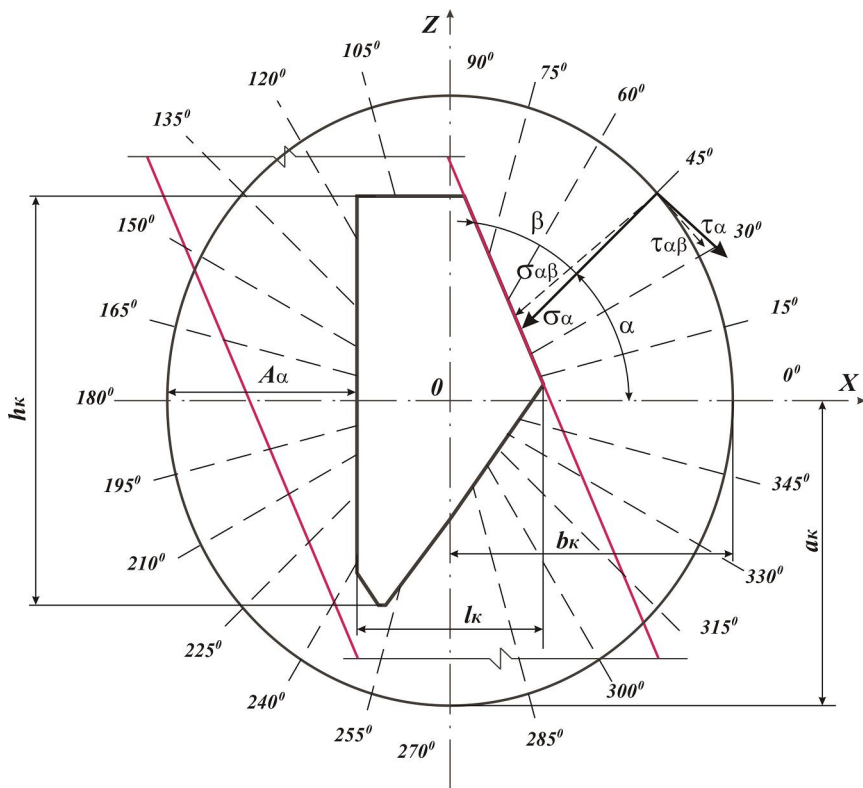


Рис. 1. Розрахункова схема моделювання масиву за допомогою термодинамічного методу в зоні розвантаження очисної камери: α – кут між розрахунковою площиною та віссю OX , град; β – кут між напрямком дії напруження σ_{α} та дотичною в точці пересічення площадки з контуром камери, град; x – поточна проміжна координата положення точки на площадці, м; A_{α} – відстань уздовж площадки від межі зони розвантаження до контуру очисної камери, м; h_k – вертикальний проліт відслонення масиву, м; l_k – горизонтальний проліт оголення масиву, м; O – центр очисної камери, початок системи координат XYZ ; a – вертикальна піввісь зони розвантаження, що направлена уздовж вісі OZ , м; b – горизонтальна піввісь зони розвантаження, що направлена уздовж вісі OX , м; σ_{α} і τ_{α} – радіальні та тангенціальні напруження в незайманому масиві, МПа; $\sigma_{\alpha\beta}$ і $\tau_{\alpha\beta}$ – радіальні та тангенціальні залишкові потенціальні напруження, МПа

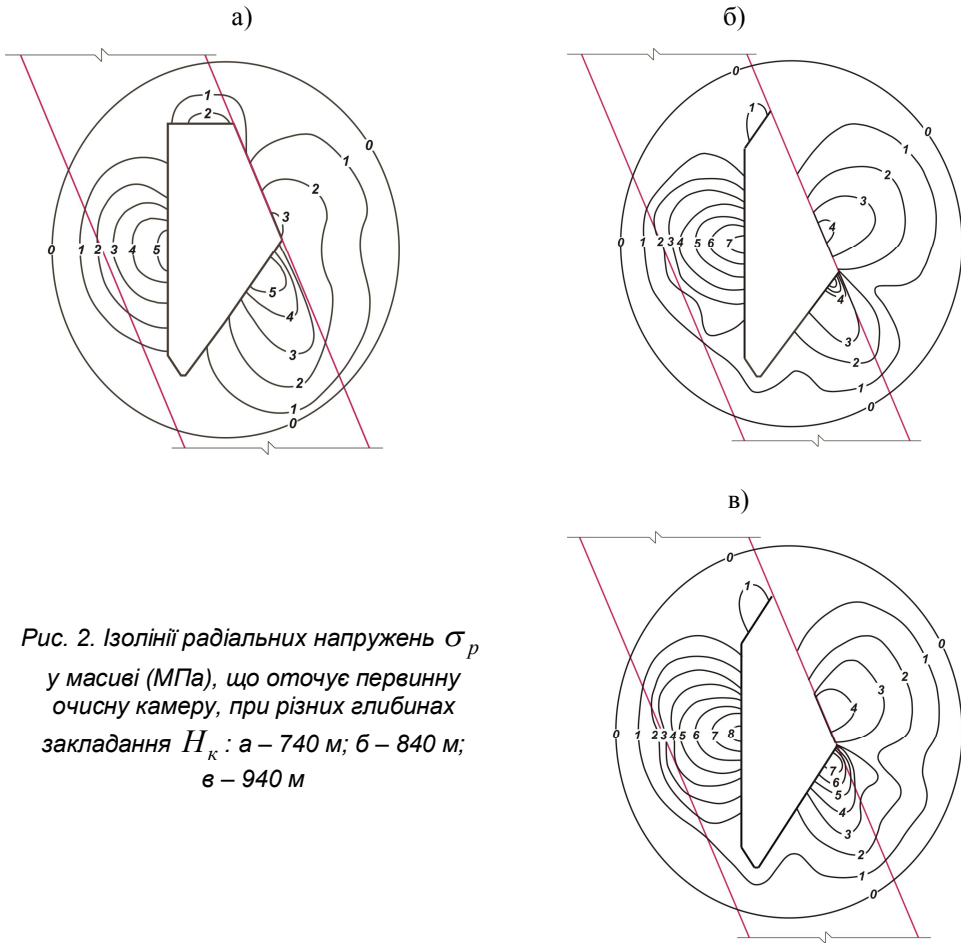


Рис. 2. Ізолінії радіальних напружень σ_p у масиві (МПа), що оточує первинну очисну камеру, при різних глибинах закладання H_k : а – 740 м; б – 840 м; в – 940 м

Дослідження поведінки масиву навколо очисних камер [2] дозволили зробити висновок, що руйнівні деформації діють у місцях, де реальні напруження, що виникають у масивах зон розвантаження, перевищують гранично допустимі на розтяг або зсув. Для виконання досліджень областей впливу глибини закладання, аналізу були піддані первинні очисні камери, що мають однакові геотехнологічні умови розробки та похиле днище зі сторони висячого боку. Зміна величин руйнівних деформацій U_k у межах зон розвантаження зі збільшенням глибини розробки, зображена на рис. 3, а-в.

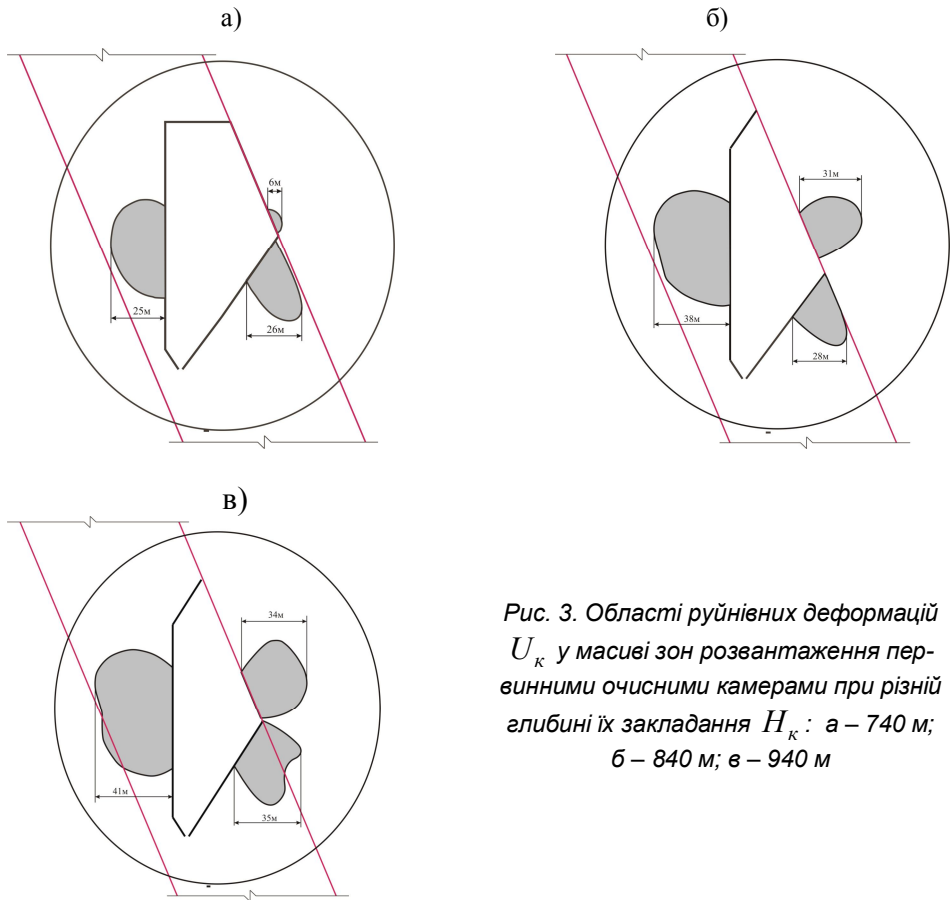


Рис. 3. Области руйнівних деформацій U_k у масиві зон розвантаження первинними очисними камерами при різній глибині їх закладання H_k : а – 740 м; б – 840 м; в – 940 м

Аналитичні залежності визначені для руйнівних деформацій навколо первинних очисних камер з метою їх використання в розрахунках. Для масиву гірських порід, що оточують первинні очисні камери, емпіричні залежності мають вигляд:

– величини руйнівних деформацій у руді лежачого боку

$$U_k = 0,0215\gamma H_k - 36,4, \text{ МПа, при } R = 91,5\%,$$

де γ – об'ємна маса порід, т/м³;

H_k – глибина закладання очисних камер, м;

– величина руйнівних деформацій у масиві руди похилого днища первинної очисної камери

$$U_{\kappa} = 0,009\gamma H_{\kappa} + 4,6, \text{ МПа, при } R = 94,2\% ;$$

– величина руйнівних деформацій у породах висячого боку

$$U_{\kappa} = 0,54\gamma H_{\kappa} - 93,73, \text{ МПа, при } R = 92,8\% .$$

З початку проведення очисних робіт у масиві гірських порід, що оточує очисні камери, розвиваються руйнівні деформації, що поширюються як у бік лежачого, так й у бік висячого боків. До області руйнівних деформацій попадають підповерхові нарізні виробки горизонтів 690 й 715 м, що проходять у похилому днищі камер.

Аналітичні дослідження руйнівних деформацій у підповерхових бурових ортах дозволили встановити наступні залежності:

– для масиву руди в покрівлі нарізних виробок горизонту 665 м, зі сторони боку лежачого боку, залежність має вигляд

$$U = -0,0003 \cdot L^2 - 0,0231 \cdot L + 1,6838, \text{ м, при } R = 99,5\% ,$$

де L – відстань від очисної камери у бік порід лежачого боку, м;

– для масиву руди в покрівлі бурових виробок горизонту 690 м, з боку висячого боку, залежність має вигляд:

$$U = -0,0011 \cdot L^3 + 0,0237 \cdot L^2 - 0,1377 \cdot L + 1,8759, \text{ м, при } R = 91,6\% ,$$

де L – відстань від очисних камер у бік порід висячого боку, м;

– для масиву руди в покрівлі бурових виробок горизонту 715 м, з боку висячого боку, залежність має вигляд:

$$U = -0,00005 \cdot L^3 + 0,002 \cdot L^2 - 0,016 \cdot L + 1,6141, \text{ м, при } R = 91,3\% .$$

Подальші дослідження дали можливість виявити закономірності зміни величин руйнівних деформацій з урахуванням глибин закладання відкаточних горизонтів та відміток проведення нарізних виробок на підповерхах. Залежність, що визначає області руйнівних деформацій з урахуванням відстані від очисних камер та від підосви виробок відкаточних горизонтів до підосви підповерхів має вигляд:

$$U = -\left(\frac{h_{\delta}}{234}\right)^{4,5} L^3 + \left(\frac{h_{\delta}}{145,7}\right)^{3,6} L^2 - \left(\frac{h_{\delta}}{93,1}\right)^{3,1} L + 0,8h_{\delta}^{0,22}, \text{ м,}$$

при $R = 87,7\% ,$ (1)

де h_{δ} – відстань від підосви відкаточного горизонту до підосви підповерху, м.

Залежність, що визначає розміри областей руйнівних деформацій у покрівлі бурових ортів з урахуванням відстані від очисних камер і глибин закладання виробок, має вигляд:

$$U = -\left(\frac{H}{72,9}\right)^{-3,77} L^3 + 31,9H^{-1,3}L^2 - 0,7H^{-0,37}L + 0,148H^{0,38}, \text{ м,}$$

при $R = 84,7\%$, (2)

де H – глибина закладання підповерхових виробок, м.

Подальші дослідження дозволили отримати залежність, що визначає розміри областей руйнівних деформацій з урахуванням відстані від очисних камер у бік порід лежачого боку та глибин закладання підповерхових виробок, яка має вигляд:

$$U = -2 \cdot 10^{-9} H^{1,8621} L^2 - 394,73e^{-0,0151H} L + 0,0453H^{0,5572}, \text{ м,}$$

при $R = 93\%$.

Залежності багатократної апроксимації передбачають деяку похибку, тому результати розрахунків мають відхилення в кінцевих результатах згідно вірогідності апроксимації R . Цей факт зумовлює необхідність перевірки отриманих теоретичних досліджень за допомогою фізичного моделювання та натурних експериментів.

Методика фізичного моделювання містила добір і приготування еквівалентних матеріалів, формування та навантаження моделей, проведення експериментів. Лабораторні дослідження проводилися на спеціальній установці моделювання гірського тиску шляхом інструментального виміру величин деформації матеріалу навколо очисних камер. Для цього в еквівалентному матеріалі утворювали порожнини, що імітували первинні очисні камери в масштабі 1:100.

Отримані результати деформування матеріалу моделі при дослідженні глибин закладання камер дозволили встановити, що збільшення глибини на кожні 100 м призводить до деформування масиву моделі у бік висячого боку на 3 см, лежачого боку – на 3 см й у похилому днищі – на 1-2 см. У бік висячого та лежачого боків процес деформування проявлявся у вигляді відшарувань та обвалень, а у похилому днищі камери – у вигляді утворення тріщин. Залежності руйнівних деформацій U_k від глибини закладання очисних камер H_k мають вигляд:

– у бік лежачого боку

$$U_k = 0,03H_k - 0,533, \text{ мм, при } R = 96\%;$$

– в похилому днищі камер

$$U_k = 0,02H_k + 2,867, \text{ мм, при } R = 92,3\%;$$

– у бік висячого боку

$$U_k = 0,03H_k - 8,533, \text{ мм, при } R = 96,4\%.$$

Розбіжність результатів фізичного моделювання й аналітичних досліджень зміни величин деформацій масиву із глибиною не перевищила 7%.

Методика натурних досліджень містила вивчення технічних характеристик і принципу роботи лазерних приладів, таких як, електронна рулетка та електронний тахометр серії GPT-3000, порядок проведення вимірів в умовах відпрацювання очисних камерах та параметри деформування кріплення у підповерхових бурових ортах горизонтів 665, 690 та 715 м поблизу відпрацьованих первинних очисних камер.

Промислові виміри проводилися в умовах шахти «Експлуатаційна» ЗАТ «ЗЗРК» при відпрацьовуванні запасів руди в поверхах 640-740 м та 740-840 м, де за допомогою лазерних приладів вимірювали фактичні розміри первинних очисних камер після завершення очисних робіт. Отримані дані порівнювали з проектними розмірами камер. Порівняльний аналіз проектних і фактичних розмірів надав можливість отримати параметри збільшення величин деформацій масиву, що оточує первинні очисні камери, зі зростанням глибини розробки. Натурні дослідження дозволили отримати емпіричні рівняння залежностей величин деформації масиву U_{κ}

від глибин закладення очисних камер H_{κ} , що мають вигляд:

– у породах всячого боку

$$U_{\kappa} = 0,07H_{\kappa} - 45, \text{ мм, при } R = 99\%;$$

– у руді лежачого боці

$$U_{\kappa} = 0,0175H_{\kappa} - 11,033, \text{ мм, при } R = 99,3\%;$$

– у похилому днищі камер

$$U_{\kappa} = 0,0125H_{\kappa} - 4,83, \text{ мм, при } R = 98,7\%.$$

Для виміру деформації кріплення в підповерхових бурових ортах горизонтів 665, 690 й 715 м поблизу відпрацьованих первинних очисних камер користувалися електронною рулеткою. Промислові виміри величин деформацій масиву руди та кріплення дозволили встановити залежності величин областей руйнівних деформацій у покрівлі бурових виробок на відстані від первинних очисних камер у бік порід лежачого та всячого боків, які мають вигляд:

– горизонту 665 м зі сторони лежачого боку

$$U = -0,0001 \cdot L^2 - 0,0036 \cdot L + 1,4786, \text{ м, при } R = 97,8\%;$$

– горизонту 690 м зі сторони всячого боку

$$U = -0,0005 \cdot L^3 + 0,0087 \cdot L^2 - 0,0476 \cdot L + 1,7057, \text{ м, при } R = 99,7\%;$$

– горизонту 715 м зі сторони всячого боку

$$U = -0,00007 \cdot L^3 + 0,0028 \cdot L^2 - 0,0227 \cdot L + 1,4616, \text{ м, при } R = 99\%.$$

Розбіжність результатів промислових вимірів від фізичного моделювання та оретичних досліджень зміни величин деформацій масиву із глибиною розробки не перевищила 8%.

Отримані результати дослідження напружено-деформованого стану масиву порід навколо первинних очисних камер і бурових виробок дало змогу створити методику і послідовність визначення параметрів комбінованого кріплення нарізних виробок із урахуванням впливу очисних камер.

1. *Визначається величина руйнівних деформацій у покрівлі виробки від первинної камери у бік порід висячого боку*

$$U = \frac{k_2 L^2 - k_1 L^3 - k_3 L + 0,8 h_0^{0,22} + 0,148 H^{0,38}}{2}, \text{ м,}$$

де h_0 – відстань від підшови відкаточного горизонту до підшови підповерхової виробки, м;

H – глибина закладання підповерхової виробки, м;

L – відстань від очисної камери, м;

$$k_1 = \left(\frac{h_0}{234}\right)^{4,5} + \left(\frac{H}{72,9}\right)^{-3,77}; \quad k_2 = \left(\frac{h_0}{145,7}\right)^{3,6} + 31,9 H^{-1,3};$$

$$k_3 = \left(\frac{h_0}{93,1}\right)^{3,1} + 0,7 H^{-0,37}.$$

2. *Визначається довжина анкера*

$$l_a = U + l_3 + l_n, \text{ м,} \quad (3)$$

де l_3 – величина заглиблення анкера в стійку зону масиву, що дорівнює 0,3...0,5 м;

l_n – довжина виступаючої зі шпурі частини анкера, яка залежить від його конструкції та товщини опорно-підтримувальних елементів, що дорівнює 0,05...0,2 м;

3. *Визначається щільність розміщення анкерів*

$$n_a = \frac{P_e \cdot U \cdot \gamma \cdot k_n}{P_a}, \text{ шт.,} \quad (4)$$

де γ – об'ємна вага руди або гірських порід у межах зони можливого обвалення, кН/м³;

k_n – коефіцієнт перевантаження, що дорівнює 1,2;

P_a – несуча здатність анкера, кН;

P_e – активний периметр виробки з коробчастим склепінням, м:

$$P_e = 3,18 + 1,33B_{np}, \text{ м}, \quad (5)$$

де B_{np} – ширина підповерхової виробки в проходці, м.

4. Визначається відстань між анкерами

$$a_a = \sqrt{\frac{P_a}{U \cdot \gamma \cdot k_n}}, \text{ м}. \quad (6)$$

5. Визначається необхідна довжина анкера

$$l_y = l_a \cdot \sin \alpha, \text{ м}, \quad (7)$$

де α – кут падіння покладу, град.

За результатами теоретичних, лабораторних і промислових досліджень встановлено, що первинні камери впливають на кріплення нарізних виробок у бік порід лежачого боку. Це дозволило розробити методику розрахунку параметрів комбінованого кріплення бурових виробок у бік порід лежачого боку. Величина руйнівних деформацій у покрівлі виробок від сполучень первинних камер у бік порід лежачого боку визначається за формулою:

$$U = -L(2 \cdot 10^{-9} H^{1,8621} L + 394,73e^{-0,0151H}) + 0,0453H^{0,5572}, \text{ м},$$

де L – відстань від камери у бік порід лежачого боку, м;

H – глибина закладання виробок, м.

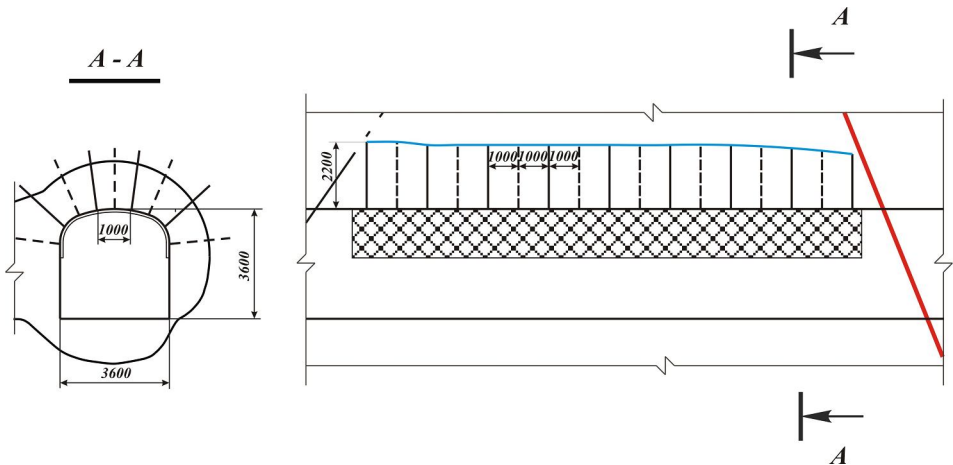


Рис. 4. Технологічна схема комбінованого кріплення нарізної виробки

Інші параметри анкерного кріплення виробки визначаються за формулами (3)-(7). Параметри встановлення сітки типу «Рабиця» чи інших підтримувальних засобів реалізуються відповідно до розмірів і форм областей руйнівних деформацій та ступеня тріщинуватості масиву. На підставі отриманих розрахунків визначено параметри кріплення виробки, технологічна схема якої зображена на рис. 4.

Впровадження раціонального способу кріплення нарізних виробок із урахуванням впливу очисних камер в умовах шахт ЗАТ «ЗЗРК» призведе до зниження собівартості кріплення нарізних виробок до 35%.

Список літератури

1. Лавриненко В.Ф., Лысак В.И. Физические процессы в массиве пород при нарушении равновесия // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1993. – №1. – С. 1-6.
2. Хоменко О.Є., Кононенко М.М. До обґрунтування технології кріплення нарізних виробок в умовах ЗАТ «Запорізький ЗРК» // Науковий вісник НГУ. – 2003. – №7. – С. 15-17.