

УДК 622.016.52:622.34

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОЧИСНИХ КАМЕР ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗАЛІЗНИХ РУД КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ¹**Калініченко В.О., ¹Письменний С.В., ¹Федько М.Б., ¹Калініченко О.В.**¹*Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»***ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР ПРИ ОТРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА**¹**Калиниченко В.А., ¹Письменный С.В., ¹Федько М.Б., ¹Калиниченко Е.В.**¹*Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»***IMPROVEMENT OF EXTRACTION ROOM STABILITY DURING THE UNDERGROUND MINING OPERATIONS IN THE KRYVYI RIH IRON-ORE BASIN**¹**Kalinichenko V.O., ¹Pysmennyi S.V., ¹Fedko M.B., ¹Kalinichenko Ye.V.**¹*State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University»*

Анотація. У Криворізькому залізорудному басейні зосереджена значна кількість запасів природно-багатих залізних руд, які на даний час розробляються підземним способом до глибини 1390 м. Для подальшого успішного функціонування гірничих підприємств з підземним способом розробки необхідно виконати модернізацію і технічне переоснащення підйому, вентиляції, систем розробки та інше.

Метою досліджень є обґрунтування форми очисної камери та параметрів, що забезпечують її стійкість та покращення показників вилучення корисних копалин при відпрацюванні залізних руд Криворізького басейну. Визначено радіуси вертикального та горизонтального криволінійних оголень, які утворюють стійку камеру квазіпараболічної форми.

Дослідженнями визначено величину максимального руйнівного тиску на контурі очисної камери квазіпараболічної форми та його зв'язок з радіусами вертикального та горизонтального криволінійних оголень, що є твірними контурів очисної камери. Доведено, що стійкість очисної камери такої форми забезпечується при оптимальному співвідношенні її висоти до ширини. Розроблено методику визначення параметрів очисної камери, яка дозволяє визначити радіуси вертикального і горизонтального стійких оголень в залежності від фізико-механічних властивостей гірських порід та діючих головних вертикальних напружень. Методика базується на результатах лабораторних досліджень, виконаних для умов Криворізького залізорудного басейну.

Встановлено, що на параметри стійкої камери квазіпараболічної форми впливають співвідношення її висоти та ширини, а також радіуси вертикального та горизонтального криволінійних оголень. Визначені радіуси вертикального та горизонтального оголень, які дозволять збільшити об'єм камери та поліпшити показники вилучення рудної маси з очисного блоку.

В подальшому, враховуючи результати досліджень необхідно розробити ресурсозберігаючу технологію з формуванням в очисному блоці камери квазіпараболічної форми, яка дозволить зменшити капітальні та експлуатаційні витрати, підвищити вміст корисного компоненту в рудній масі.

Ключові слова: очисна камера, оголення, стійкість, радіус виробки, напруження.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У Криворізькому залізорудному басейні зосереджена значна кількість запасів природно-багатих залізних руд, які на даний час розробляються підземним способом до глибини 1390 м. Для подальшого успішного функціонування гірничих підприємств з підземним способом розробки необхідно виконати модернізацію і технічне переоснащення підйому, вентиляції, систем розробки та інше.

Враховуючи потреби металургійних підприємств в якісній сировині, перед гірничорудними підприємствами стоять задачі підвищення вмісту корисного компоненту в видобутій рудній масі.

У зв'язку з цим, існує тенденція збільшення мінімального бортового вмісту заліза в масиві з 46 до 50-52% при видобутку багатих залізних руд підземним способом. Зростання мінімального бортового вмісту заліза в масиві на 4-6% значно підвищує вміст заліза в видобутій рудній масі але, в той же час, призводить до суттєвого зменшення балансових запасів залізних руд і неповного використання надр.

На сьогоднішній день при розробці рудних покладів підземним способом показники вилучення руди залишаються дуже низькими, табл. 1, [1-3]. До того ж, при застосуванні традиційних систем розробки вміст заліза в видобутій рудній масі не перевищує 58-62%, при вмісті заліза в масиві 63-65%.

Таблиця 1 – Показники вилучення при системах розробки, що застосовуються на шахтах Криворізького залізорудного басейну

Найменування показників	Система розробки		
	поверхово-камерна	підповерхово-камерна	примусове обвалення
Питома вага застосування системи розробки, %	35	20	45
Питомі витрати підготовчо-нарізних виробок, м/тис.т запасів	2,5 – 4,5	3,0 – 5,0	2,0 – 3,0
Втрати руди, %	15 – 16	16 – 18	14 – 15
Засмічення, %	12 – 14	10 – 12	16 – 18
Вміст заліза в видобутій рудній масі, %	59 – 61	61 – 62	58 – 60

Як видно з табл. 1, найбільш ефективною є підповерхово-камерна система розробки, при якій вміст заліза в видобутій рудній масі вище на 1-3% у порівнянні з іншими системами розробки, а товарна продукція задовольняє вимоги металургійних підприємств. Застосування цієї системи розробки призводить до збільшення питомих витрати підготовчо-нарізних виробок на 0,5-3,0 м/тис.т, собівартість видобутку та зменшує об'єм видобутої руди з очисного блоку у порівнянні з наведеними системами розробки.

Аналіз досліджень і публікацій. Обсяги видобутку залізної руди в Криворізькому басейні за останні 20 років знизились майже у три рази, що пов'язано з погіршенням гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов та закриття гірничих підприємств з підземного способу видобутку.

Науковцями низки науково-дослідних інститутів і університетів гірничого профілю розроблені досить ефективні системи розробки для відпрацювання родовищ залізних руд, але показники вилучення чистої руди з очисних блоків при застосуванні існуючих систем розробки не перевищують 30-60% [4-8].

Певні успіхи досягнуті в питанні підвищення вмісту заліза в товарній продукції за рахунок збагачення видобутої рудної маси із застосуванням високо-градієнтних магнітних полів. Проте це збільшує собівартість залізної руди на 20-50 грн./т та витрати на відчуження земельних угідь під хвостосховища на 5-15 грн./т [9,10].

Зменшити собівартість видобутку і переробки руди можливо шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій, що дозволять підвищити вміст

заліза в видобутій рудній масі.

В стійких рудах і породах широке застосування знайшла поверхово-камерна система розробки з обваленням ціликів, яка дозволяє виймати камерні запаси з вмістом корисного компоненту майже тотожним вмісту у рудному масиві. В породах середньої стійкості для забезпечення стійкості камери та запобігання засмічення зі сторони висячого боку в виймальному блоці зменшують об'єм камери, а верхній її частині залишають рудний цілик. Це дозволяє підвищити стійкість очисних камер для вилучення незасміченого камерного запасу, але підчас відпрацьовування ціликів вміст корисного компоненту в видобутій рудній масі не перевищує 55% при нормативних втратах і засміченні руди [1-3].

До головних переваг систем розробки з відкритим очисним простором відносять: отримання значної кількості видобутої чистої руди (до 60%); чіткий розподіл потоку чистої руди та засміченої рудної маси при її випуску з ціликів.

До недоліків камерних систем розробки можна віднести двостадійність виїмки запасів, наявність великого обсягу порожнин, значні втрати та засмічення руди при відпрацьовуванні ціликів, збільшені питомі витрати підготовчо-нарізних виробок, які складають 2,5-5,0 м /тис.т, обмежені умови застосування та значна собівартість видобутку [11].

При відпрацьовуванні запасів нестійких руд залишається незмінним застосування систем розробки з обваленням руди та налягаючих порід. Дані системи розробки у порівнянні з камерними системами дозволяють збільшити показники вилучення видобутої рудної маси, зменшити собівартість видобутку, не мають обмежень в умовах застосування. Але при цьому кількість видобутої чистої руди з блоку не перевищує 40% запасу блоку.

Застосування підповерхово-камерної системи розробки в умовах нестійких руд і порід приводило до зменшення кількості видобутої чистої руди з виймального блоку (до 30%) та значним втратам і засміченню руди при відпрацьовуванні міжкамерних ціликів.

Постановка задачі. Таким чином необхідно збільшити кількість видобутої чистої руди з виймального блоку за рахунок формування очисної камери стійкої форми, що дозволить без додаткових витрат задовольняти вимоги металургійних підприємств щодо якості продукції.

Виклад матеріалу і результати. Збільшення об'єму прямокутної очисної камери в 1,1-1,5 рази призводить до зменшення її стійкості та збільшення: ширини ціликів, часу на відпрацьовування блоку (панелі), експлуатаційних витрат на підтримання гірничих виробок, витрат на відпрацьовування міжкамерних ціликів.

Збільшити об'єм очисної камери з забезпеченням її стійкості можливо за рахунок зміни форми з прямокутної на квазіпараболічну, рис. 1.

Стійкість очисної камери забезпечується у випадку коли діючі максимальні напруження в гірському масиві менші за межу міцності руди або порід оточуючих її. Умова стійкої рівноваги описується виразами

$$\begin{cases} \sigma_{max} \leq [\sigma], \\ \tau_{max} \leq [\tau], \text{ Н/м}^2, (\text{т/м}^2), \\ \sigma \gg \tau, \end{cases} \quad (1)$$

де σ_{max} – максимальні напруження внутрішніх сил, що виникають в масиві, Н/м², (т/м²); τ – максимальні дотичні напруження, що виникають в масиві, Н/м², (т/м²); $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, Н/м², (т/м²).

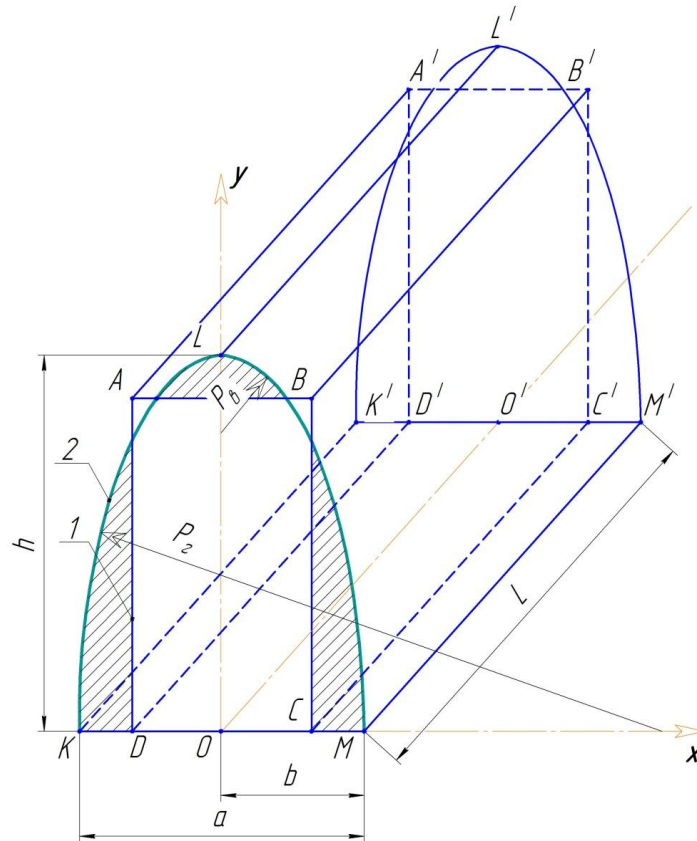


Рисунок 1 – Розрахункова схема до визначення об'єму камери квазіпараболічної форми

Відомо, що при розрахунку стійкості ціликів основним критерієм є вигін, однак в породах гірського масиву при перевищенні максимальних напружень утворюються зони тріщин, які призводять до зниження межі міцності цілика складеного гірськими породами, а з часом до його руйнування.

Галаєв Н.З. стверджує, що на головні вертикальні напруження впливають об'ємна маса та глибина розробки [12]. В непорушеному гірському масиві головні вертикальні напруження є максимальними, а при проведенні підземних гірничих робіт вони залишаються без змін, або зменшуються. Таким чином, значення руйнівного тиску повинно задовольняти граничним умовам

$$\begin{cases} [\sigma] \geq \sigma_3, \\ \sigma_3 = \gamma \cdot H, \end{cases}, \text{ т/м}^2, \quad (2)$$

де σ_3 – головні вертикальні напруження, т/м²; γ – об'ємна маса гірських порід, т/м³; H – глибина ведення гірничих робіт, м.

Згідно виконаних досліджень [13] було встановлено, що руйнівний тиск, який виникає на контурі камери залежить від радіусу криволінійного оголення виробки, куту прикладеного навантаження та фізико-механічних властивостей гірських порід і визначається за формулою

$$\sigma_{max} = \pm \frac{r^3 \cdot \tau_0 \cdot \sin \delta}{\sin 2\delta - r^2 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}, \quad (3)$$

де r – радіус контуру гірничої виробки, м; τ_0 – початковий опір зрушенню, т/м²; δ – кут, під яким діє руйнівний тиск на контурі виробки, град.; β – кут зсуву гірських порід, град.; ρ – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.

Після перетворень формули (3) з урахуванням граничних умов (1) та (2) радіуси вертикального та горизонтального криволінійних оголень, які забезпечують камері квазіпараболічної форми стійкість від дії головних вертикальних і горизонтальних напружень дорівнюють

$$\begin{cases} P_{\epsilon} = \sqrt{\frac{\sigma_3}{\cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}}, \\ P_z = \frac{\sigma_3 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}{[\sigma_{cm}]}, \end{cases}, \text{ т/м}^2, \quad (4)$$

де P_z, P_{ϵ} – радіуси максимально допустимого стійкого криволінійного оголення відповідно горизонтальної і вертикальної кривих, якими описується камера квазіпараболічної форми, м; $[\sigma_{cm}]$ – межа міцності порід на стискання, т/м².

На геометричні розміри камери квазіпараболічної форми впливають: радіуси вертикального та горизонтального криволінійних оголень, які забезпечують стійкість камери; фізико-механічні властивості гірських порід та глибина розробки. Координати точок кривої KLM , яка описує камеру квазіпараболічної форми, див. рис. 1 визначається виразом

$$y = -c \cdot \frac{\int (x^{2 \cdot k - 1} dx)}{\sqrt{(b^2 - x^2)^r}}, \text{ при } k > 0,5; 0 < r < 2, \quad (5)$$

де c, k – дійсні числа; r – найменше непарне дійсне число; x, y – поточні координати.

При зміні значень x від 0 до b крива функції убиває, а друга похідна виразу (5) має вигляд

$$y'' = - \frac{c \cdot x^{2(k-1)} \left((2k-1)b^2 + (r+1-2k)x^2 \right)}{(b^2 - x^2)^{r/2+1}}, \quad (6)$$

при цьому крива ML буде опуклою при всіх значеннях похідної $-b < x < b$. З огляду на те, що камера має вигляд параболічної форми, поточні координати точок

визначаються за формулами

$$\begin{cases} x^2 = -2 \cdot P_z \cdot (y - h), \\ y^2 = -2 \cdot P_\theta \cdot (x - h), \end{cases} \quad (7)$$

де h, b – вертикальна і горизонтальна піввісь кривої ML , м;

Після відповідних перетворень та спрощень формули (7) отримаємо значення ширини та висоти камери квазіпараболічної форми [14]

$$\begin{cases} b = 2 \cdot \sqrt[3]{P_z^2 \cdot P_\theta}, \\ h = 2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_\theta^2}. \end{cases} \quad (8)$$

Виконавши розрахунки за формулою (8), побудовані залежності ширини і висоти камери квазіпараболічної форми від радіусів горизонтального і вертикального криволінійних оголень, наближених до максимально-допустимої стійкої рівноваги, рис. 2 та рис. 3.

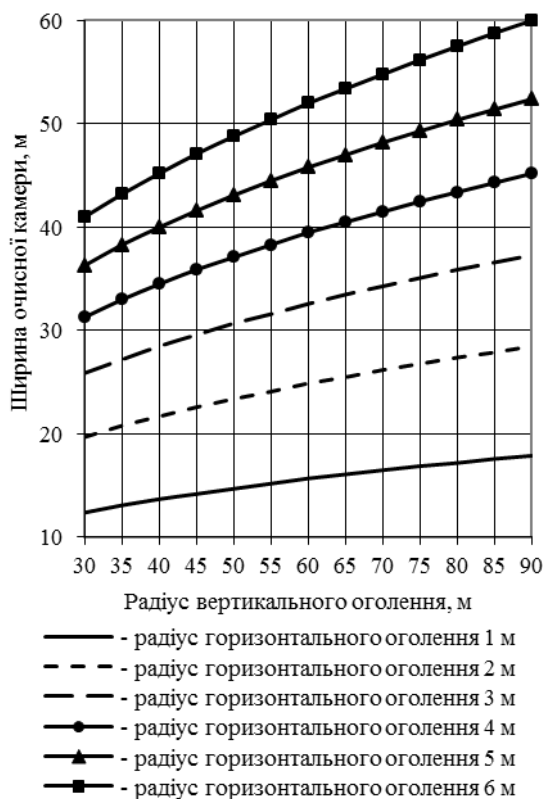


Рисунок 2 – Залежності зміни ширини камери квазіпараболічної форми від радіусів вертикального і горизонтального оголень

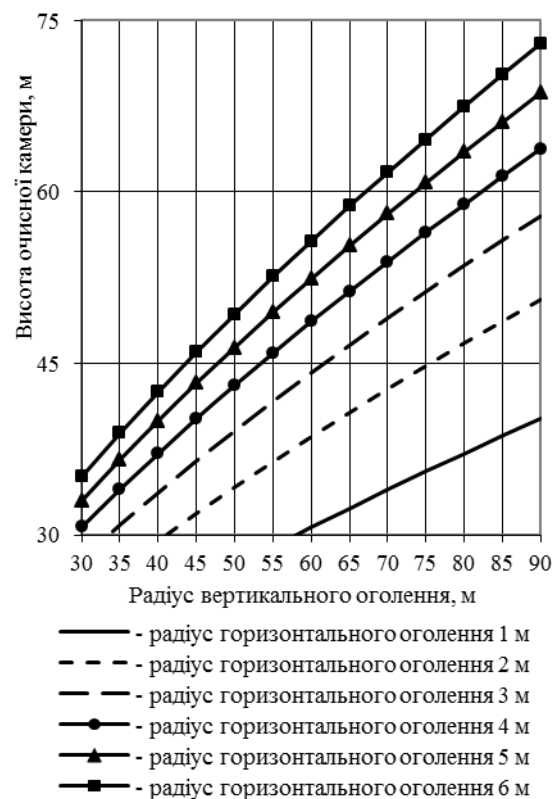


Рисунок 3 – Залежності зміни висоти камери квазіпараболічної форми від радіусів вертикального і горизонтального оголень

З наведених графіків видно, що зі збільшенням радіусів вертикального оголення з 30 до 90 м та горизонтального з 1 до 6 м, ширина камери

квазіпараболічної форми збільшується з 12,5 до 60 м, а її висота з 30 до 75 м.

Слід зауважити, що на параметри камери квазіпараболічної форми впливають радіуси вертикального і горизонтального криволінійних оголень. Таким чином, співвідношення висоти камери до її ширини визначається з виразу

$$\frac{h}{a} = \frac{2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_e^2}}{\sqrt[3]{P_z^2 \cdot P_e}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_e}{P_z}}. \quad (9)$$

Результати розрахунків співвідношення висоти камери до її ширини в залежності від радіусів вертикального і горизонтального оголень наведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Співвідношення параметрів камери від радіусів оголень

Радіус горизонталь ного оголення, м	Радіус вертикального оголення, м												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1,0	1,55	1,64	1,71	1,78	1,84	1,90	1,96	2,01	2,06	2,11	2,15	2,20	2,24
2,0	1,23	1,30	1,36	1,41	1,46	1,51	1,55	1,60	1,64	1,67	1,71	1,74	1,78
3,0	1,08	1,13	1,19	1,23	1,28	1,32	1,36	1,39	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55
4,0	0,98	1,03	1,08	1,12	1,16	1,20	1,23	1,27	1,30	1,33	1,36	1,38	1,41
5,0	0,91	0,96	1,00	1,04	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,23	1,26	1,29	1,31
6,0	0,85	0,90	0,94	0,98	1,01	1,05	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,21	1,23

З табл.2 видно, що співвідношення висоти до ширини очисної камери змінюється з 0,85 до 2,24. При цьому слід зауважити, що оптимальне співвідношення висоти камери до ширини коливається в межах 1,23-1,55.

Згідно [15] координати криволінійних оголень, з яких утворюється камера в загальному вигляді описується виразом

$$y = \pm h \cdot \sqrt[4]{\left(1 - x^2/b^2\right)^3}. \quad (10)$$

Після підстановки у вираз (10) значень формул (8), з урахуванням (4) та відповідних перетворень, отримаємо вираз для визначення площі фігури KLM (див.рис.1)

$$S = \pm \int_{-b}^b \left(2 \sqrt[3]{P_z \cdot P_e^2} \right) \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{x^2 dx}{4 \cdot \left(\sqrt[3]{P_z^2 \cdot P_e} \right)^2} \right)^3}. \quad (11)$$

Об'єм камери квазіпараболічної форми визначається за формулою

$$V = \pm 2 \cdot L \cdot \int_0^b \left(2 \sqrt[3]{P_c \cdot P_\theta^2} \right) \cdot 4 \sqrt[4]{1 - \frac{x^2 dx}{4 \cdot \left(\sqrt[3]{P_c^2 \cdot P_\theta} \right)^2}}^3, \text{м}^3, \quad (12)$$

де V – об'єм камери квазіпараболічної форми, м^3 ; L – довжина камери, м.

Після відповідних перетворень виразу (12) з урахуванням формул (8) об'єм камери квазіпараболічної форми, яка забезпечує їй стійкість визначається

$$V = \pm 2 \cdot L \cdot \int_0^b \left(2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2}{[\sigma_{cm}]}} \right) \cdot 4 \sqrt[4]{1 - \frac{x^2 dx}{4 \cdot \sigma_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}{[\sigma_{cm}]^2}}}}^3, \text{м}^3. \quad (13)$$

За допомогою програмного комплексу ANSYS були виконані дослідження розподілу еквівалентних напружень навколо виробок прямокутної та квазіпараболічної форм з метою визначення їх стійкості. Вихідними даними для розрахунків були наступні: питома вага порід 2800 кг/м^3 ; межа міцності на стиснення 60 МПа ; межа міцності на розтягнення 9 МПа ; модуль Юнга 50000 МПа ; коефіцієнт Пуассона $0,23$; площа поперченого перетину камери 1970 м^2 ; глибина розробки 1200 м . Параметри для очисної камери прямокутної форми приймалися наступні: ширина 33 м , висота 60 м ; для камери квазіпараболічної форми: радіус вертикального оголення $77,5 \text{ м}$, а горизонтального 3 м .

Стійкі параметри очисної камери визначались за методикою НДГРІ для заданих гірничо-геологічних умов (рис. 4).

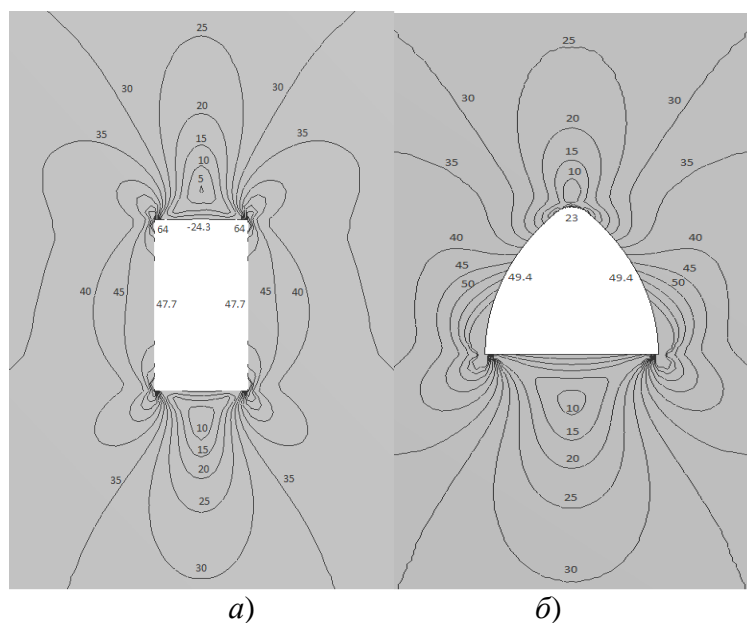


Рисунок 4 – Розподіл еквівалентних напружень навколо очисної камери: а – прямокутної форми; б – квазіпараболічної форми.

Аналізуючи розрахункові дані (рис. 4) встановлено, що на контурі очисної камери в середній частині діють стискаючі напруження які відрізняються не більше ніж на 3,45%. Слід зауважити, що в верхній частині очисної камери прямокутної форми діють розтягуючі напруження, а при формуванні виробки квазіпараболічної форми стискаючі.

Висновки та перспективи досліджень. Таким чином, на підставі виконаних досліджень встановлено, що на стійкість камери квазіпараболічної форми впливають не тільки співвідношення висоти камери до її ширини але й радіуси вертикального та горизонтального криволінійних оголень, фізико-механічні властивості гірських порід та глибина розробки.

В подальшому, враховуючи результати досліджень необхідно розробити ресурсозберігаючу технологію з формуванням в очисному блоці камери квазіпараболічної форми, яка дозволить зменшити капітальні та експлуатаційні витрати, підвищити вміст корисного компоненту в рудній масі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колосов, В.А. Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин // Горный журнал. – М.: МГУ, 2000. – Вып.6. – С. 162-168.
2. Хоменко, О.Е. Эффективность селективной добычи железных руд в условиях криворожского бассейна / О.Е. Хоменко, А.Б. Владыко, В.Н. Яворский // Науковий вісник НГУ, 2006. – Вып. 6. С. 15-17.
3. Гирин, В.С. Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / В.С. Гирин, Н.К. Кравцов, В.А. Витряк // Разраб. рудн. месторождений. Кривой Рог: КТУ, 2000. – Вып. 70. – С. 10-13.
4. Шашенко, А.Н. Исследование закономерностей изменения смещений и деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, А.В. Наумович // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2009. – Вып. 23. – С. 47-50.
5. Колоколов, О.В. Технологія видобування джеспіліту на шахтах Криворізького залізорудного басейну / О.В. Колоколов, О.С. Хоменко, М.В. Нетеча // Науковий вісник НГУ. - 2006. - №7. - С. 3-7.
6. Булат, А.Ф. Повышение эффективности буровзрывных работ в крепких рудах / А.Ф. Булат, В.А. Никифорова, В.Я. Осенний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - 2006. – Вып. 37. - С. 93-94.
7. Тарасютин, В.М. Геотехнологические свойства высококачественных мармитовых руд глубоких горизонтов шахт Кривбасса / В.М. Тарасютин // Науковий вісник НГУ, 2015. – Вып.1. – С. 54-60.
8. Исаенков, А.А. Лабораторные исследования механизма передачи нагрузки через зону разрушенных пород в почве выработки при повторном нарушении равновесного состояния / А.А. Исаенков, Ю.А. Петренко, И.Г. Сахно // Вісті Донецького гірничого інституту. - 2013. – Вып. 2. – С. 112-118.
9. Plevako V. Analytical study of the bending of isotropic plates, inhomogeneous in thickness / V. Plevako, V. Potapov, V. Kysenko, I. Lebedynets, I. Pedorych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. – Vol. 4, 7 (82), pp. 10-16.
10. Новые технологии и технические средства для сепарации слабомагнитных руд // В.И. Мулявко, Т.А. Олейник, В.И. Ляшенко [и др.] // Обогащение руд. - 2014. - № 2. - С. 43-49.
11. Stupnik, N. Pillars sizing at magnetite quartzites room-work / N. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pismennyi // Mining of Mineral Deposits. A Balkema Book. – 2013. – pp. 11-15. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-4>.
12. Галаев, З.Н. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений / З.Н. Галаев. – М.: Недра, 1990. – 176 с.
13. Письменный, С.В. Методика визначення активної зони склепоутворення на контурі підземно-транспортної виробки при комбінованій розробці залізорудних родовищ / С.В. Письменный // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. –Харків: НТУ "ХПІ", 2017. - № 16 (1238). – С. 99-106.
14. Определение параметров компенсационной камеры сводчатой формы / С.В.Письменный, В.О.Хивренко, В.А.Сбитнев, Н.В. Полухина // Разраб. рудн. месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – Вып. 79. – С. 48-52.
15. Ступник, Н.И. Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / Н.И. Ступник, Б.Н.Андреев, С.В.Письменный // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук.праць. – КривийРіг, 2012. – Вып. 32. – С. 3-6.

REFERENCES

1. Kolosov, V.A., Volovik, V.P. and Dyadechkin, N.I. (2000), «Contemporary state and prospects of development of enterprises on a mining and processing of iron-ore and gumboil raw material in Ukraine», *Mining Journal*, No. 6, pp 162-168.

2. Khomenko, O.Ye., Vlyadyko, A.B. and Yavorsky, V.N. (2006), «Efficiency of selective mining of iron-stones in the conditions of Kryvoi Rog basin», *Naukovy visnyk NGU*, no. 6, pp. 15-17.
3. Girin, V.S., Kravtsov, N/K/ and V.A. Vitryak (2000), «Ways of perfection of quality of metallurgical raw material on the Krivbass mines», *Mining of ore deposits*, Vol. 70, pp. 10-13.
4. Shashenko, A.N., Solodyankin, A.V. and Naumovich, A.V. (2009), «Research conformities to the law of change of displacements and deformations of breeds on the depth of area of unresilient deformations», *Bulletin of Krivoi Rog Technical University*, Vol. 23, pp. 47-50.
5. Kolokolov, O.V., Khomenko, O.Ye. and Netecha, M.V. (2006), «Technology of mining of dzhespilit on the mines of Krivoy Rog sron-ore basin», *Naukovy visnyk NGU*, no. 7, pp. 3-7.
6. Bulat, A.F., Nikiforova, V.A. and Osenniy, V.Ya. (2006), «Increase of efficiency of the blast-hole drillings in strong ores», *Bulletin of Kremenchug State Polytechnical University*, Vyp. 37, pp. 93-94.
7. Tarasyutin, V.M. (2015), «Geo-technological properties of high-quality martit ores of deep horizons of the Krivbass mines», *Naukovy visnyk NGU*, no. 1, pp. 54-60.
8. Isaenkov, A.A., Petrenko, Yu.A. and Sakhno, I.G. (2013), «Laboratory researches of mechanism passing of load through zone of destructed rocks in a floor of working by the repeated violation of balansing state», *Visti Donetskogo gornychoho instytutu*, Vyp. 2, pp. 112-118.
9. Plevako, V., Potapov, V., Kycenko, V., Lebedynec, I. and Pedorych, I. (2016), «Analytical study of the bending of isotropic plates, inhomogeneous in thickness», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, 7(82), pp. 10-16.
10. Mulyavko, V.I., Oleynik, T.A., Lyashenko, V.I. [and others] (2014), «New technologies and hardwares for separation of weak-magnetical ores», *Ore-dressing*, no. 2, pp. 43-49.
11. Stupnik, N., Kalinichenko, V. and Pismenny, S. (2013), «Pillars sizing at magnetite quartzites room-work», *Mining of Mineral Deposits*, Balkema Book, pp. 11-15. Available at: <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-4>.
12. Galaev, Z.N. (1990), *Upravleniye sostoyaniyem massiva gornykh porod pri podzemnoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy* [Control state of array of mine rocks at underground mining of ore deposits], Nedra, Moscow, SU.
13. Pismenny S.V. (2017), «Method of determination of active area of dome-formation on the contour of the underground-transport working at the combined mining of iron-ore deposits», *Visnyk Natsionalnogo Tekhnichnogo Universytetu «KhPI». Seriya «Mekhaniko-tehnologichni sistemy i komplekсы»*, NTU «KhPI», Kharkiv, no. 16 (1238), pp. 99-106.
14. Pismenny, S.V., Khivrenko, V.O., Sbitnev, V.A. and Polukhina, N.V. (2002), «Determination parameters of compensative chamber of the vaulted form», *Mining of ore deposits*, Vol. 79, pp. 48-52.
15. Stupnik, N.I., Andreev, B.N. and Pismenny, S.V. (2012), «Research forms of transversal section of the underground workings at the combined working out of deposits», *Visnyk Kryvorizkogo Natsionalnogo Universytetu*, Vol. 32, pp. 3-6.

Про авторів

Калініченко Всеволод Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет" (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, vsevolod921@mail.ru

Письменний Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет" (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, psvknu@gmail.com

Федько Михайло Борисович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет" (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна

Калініченко Олена Всеволодівна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет" (ДВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна

About the authors

Kalinichenko Vsevolod Oleksandrovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (SHEI «KNU»), KryvyiRih, Ukraine, vsevolod921@mail.ru

Pyismennyi Serhiy Vasylyovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (SHEI «KNU»), Kryvyi Rih, Ukraine, psvknu@gmail.com

Fedko Mykhailo Borysovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (SHEI «KNU»), Kryvyi Rih, Ukraine

Kalinichenko Olena Vsevolodivna, Candidate of Economical Sciences (Ph. D), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Underground Mining of Mineral Deposits, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (SHEI «KNU»), Kryvyi Rih, Ukraine

Аннотация. В Криворожском железорудном бассейне сосредоточены значительные запасы богатых железных руд, на данном этапе разрабатываемых подземным способом на глубинах до 1390 м. Для последующего успешного функционирования горных предприятий с подземным способом разработки

необходимо модернізувати і технічно переоснастити підйом, вентиляцію, систему розробки і т.д.

Целью исследований являются обоснование формы очистной камеры и параметров, обеспечивающих ее устойчивость и улучшение показателей извлечения полезных ископаемых при отработке железных руд Криворожского бассейна. Определены радиусы вертикального и горизонтального криволинейных обнажений, образующих устойчивую камеру квазипараболической формы.

Исследованиями определена величина максимального разрушительного давления на контуре очистной камеры квазипараболической формы и его связь с радиусами вертикального и горизонтального криволинейных обнажений, которые являются образующей контуров очистной камеры. Доказано, что устойчивость очистной камеры такой формы обеспечивается при оптимальном соотношении ее высоты к ширине. Разработана методика определения параметров очистной камеры, позволяющей определить радиусы вертикального и горизонтального устойчивых обнажений в зависимости от физико-механических свойств горных пород и действующих главных вертикальных напряжений. Методика базируется на результатах лабораторных исследований, выполненных для условий Криворожского железорудного бассейна.

Установлено, что на параметры устойчивой камеры квазипараболической формы влияют соотношения ее высоты и ширины, а также радиусы вертикального и горизонтального криволинейных обнажений. Определены радиусы вертикального и горизонтального обнажений, которые позволяют увеличить объем камеры и улучшить показатели извлечения рудной массы из очистного блока.

В дальнейшем, учитывая результаты исследований, необходимо разработать ресурсосберегающую технологию с формированием в очистном блоке камеры квазипараболической формы, которая позволит уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы, повысить содержание полезного компонента в рудной массе.

Ключевые слова: камера, обнажение, устойчивость, радиус.

Annotation. The considerable supplies of rich iron-stones are concentrated in the Kryvoy Rog ore field, now developed by an underground method on the depths of to 1390 m. For the subsequent successful functioning of mining enterprises with the underground method of exploitation it is necessary to modernize and technically retool hoisting, ventilation, system of exploitation and etc

Objective of the research was to substantiate shape of the extraction room and parameters that ensure its stability and to improve effectiveness of mineral extraction when mining iron ores in the Kryvyi Rih Basin. Radii of vertical and horizontal curvilinear exposures, which formed a stable quasiparabolic shape of the extraction room, were determined.

The research determined magnitude of maximum destructive pressure on the contour of quasiparabolically-shaped extraction room and its relationship with the radii of vertical and horizontal curvilinear exposures, which are responsible for the shape of the extraction room contours. It is proved that stability of extraction room of such shape is ensured by its optimal height/width ratio. A method for determining parameters of extraction room was developed, which allows to determine radii of vertical and horizontal stable exposures depending on the rock physical and mechanical properties and existing main vertical stresses. The method is based on the results of laboratory studies performed for the conditions of the Kryvyi Rih iron ore basin.

It is established that parameters of stable extraction room of quasiparabolic shape are influenced by its height/width ratio, as well as by radii of vertical and horizontal curvilinear exposures. Radii of vertical and horizontal exposures were determined, which allowed to increase volume of extraction room and improve effectiveness of the ore extraction from extraction panel.

In future, taking into account the results of researches, it is necessary to develop resource-saving technology with forming in the breacaging block of chamber of quasi-parabolic form which will allow to decrease the capital and operation outlays, to promote maintenance of useful component in ore mass.

Keywords: extraction room, exposure, stability, radius, stress.

Стаття надійшла до редакції 9.03.2018.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.А. Курносовим.