

УДК 622.272

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, Д.В. БРОВКО, кандидати техн.наук, доценти
Криворізький національний університет

ЗБЕРЕЖЕННЯ РІЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ШАХТ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗАЛІЗНИХ РУД НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ

Мета. Метою даної роботи є дослідження впливу річної продуктивності шахти на схему розкриття запасів нижче глибини розробки першого ступеню розкриття при підземній розробці залізних руд Криворізького залізорудного басейну. З пониженням гірничих робіт знижується річна продуктивність видобутку корисної копалини. Для збереження річної продуктивності доцільно будівництво другого ступеню розкриття, глибина якого залежить безпосередньо від об'ємів виробництва.

Методи дослідження. При визначенні доцільної схеми розкриття застосовували комплексний метод досліджень, який включав в себе: графо-аналітичний для визначення річної продуктивності шахти та промисловий. За результатами досліджень були виявлені фактори які впливають на стан копра та виявлені закономірності його погіршення стану з часом.

Наукова новизна. Встановлено, що на річну продуктивність впливають не тільки гірничо-геологічні умови але й гірничо-технічні. Доведено, що річна продуктивність шахти зменшується прямопропорційно з пониженням глибини розробки. На швидкість руху скипів в стволі суттєво впливає довжина головної розкривної виробки та термін експлуатації. Зі збільшенням терміну експлуатації стволу швидкість руху скипів зменшується з 12 до 6-8 м/с.

Практична значимість. При проектуванні подальшої розробки схеми розкриття нижележачих горизонтів, необхідно враховувати не тільки гірничі можливості але й технічний стан ствола та копра, глибину розробки та час експлуатації головної гірничої виробки, а також стратегію гірничодобувного підприємства. Урахування вищезазначених факторів, дозволить зберігати необхідну річну продуктивність шахти при відпрацюванні залізних руд на великих глибинах.

Результати. Для умов Криворізького залізорудного басейну встановлено, що при розробці запасів до глибини 1600 м доцільно застосовувати схему розкриття родовища головним вертикальним стволом. При подальшій розробці запасів родовища нижче глибини 1600 м з річною продуктивністю не більше 2,5 млн.т на рік доцільно поглиблювати головний ствол у випадку збільшення об'ємів виробництва виникає необхідність в будівництві другого ступеню розкриття.

Ключові слова: продуктивність, ствол, горизонт, розкриття, залізна руда, підземна розробка, стан копра.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-164-169

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В Україні налічується понад 32,3 млрд.т залізних руд які розробляються відкритим і підземним способами. Третина всіх запасів України зосереджено в Криворізькому залізорудному басейні. Починаючи з 60-х років минулого сторіччя в м. Кривому Розі почали активно будувати стволи шахт на виробничу потужність 8-12 млн.т на рік. Так на початок 90-х років річний видобуток залізної руди підземним способом складав біля 50 млн.т [1-3].

З подальшою розробкою залізних руд підземним способом значно погіршилися гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови які призвели до зменшення річної продуктивності та збільшення собівартості видобутку. На теперішній час шахти здійснюють видобуток залізних руд на глибині понад 1300 м з застосуванням традиційних систем розробки: з масовим обваленням руди та налягаючих порід і з відкритим очисним простором [4-6]. На випуску руди застосовується морально застаріле обладнання: скреперна лебідка або віброживильник, доставка здійснюється електровозним транспортом в вагонетках до опрокиду, а далі 50 т скіпами по стволу на земну поверхню.

Даний технологічний ланцюг значно знизив виробничу потужність шахти з 5-8 до 2,5 млн.т. Гірничо-видобувні підприємства намагаються збільшити річну продуктивність шахт Криворізького залізорудного басейну за рахунок придбання імпортного самохідного обладнання, встановлення потужних підйомних машин, вдосконалення систем розробки та інше. Так шляхом вищеперерахованих заходів за останні роки гірничодобувним підприємствам вдалось збільшити обсяги виробництва на 1,1-1,3 рази, але вийти на виробничу потужність 5-8 млн.т доки не виходить [7-9].

Слід зауважити, що шахти Криворізького залізорудного басейну досягли глибини першого ступеню розкриття родовища (1300 м), при цьому запаси в межах діючих підприємств розпо-

всюджуються до глибини 1900-2500 м, табл. 1.

З табл.1 видно, що підземним способом відпрацьовано близько 70% запасів природно-багатих залізних руд з загальним обсягом видобутку 10 млн.т. Таким чином, при подальшій розробці залізних руд з існуючими виробничими потужностями собівартість видобутку буде збільшуватись [10].

Таблиця 1
Загальна характеристика діючих шахт Криворізького залізорудного басейну з видобутку залізних руд

Шахта	Глибина, м		Річна продуктивність, млн.т
	ведення очисних робіт	розвіданих запасів	
«Юбелейна»	1340	2060	3,3
ім. Фрунзе	1135	1500	
«Родіна»	1390	1765	5,6
«Октябрьська»	1265	2015	
«Тернівська»	1350	1955	
«Гвардійська»	1350	1990	
ім. Артем-1	1135-1060	-	1,3

технології, пропонують комплексну розробку родовищ корисних, вдосконалюють системи розробки, які дозволяють підвищити вміст корисного компонента в видобутій рудній масі [1, 4, 9].

Для підвищення вмісту заліза в видобутій рудній масі пропонуються збільшення об'єму компенсаційного простору, перехід на камерні системи розробки, селективне відпрацювання рудних покладів [11-13]. Дані системи розробки адаптують під високопродуктивну самохідну імпорту техніку, яка суттєво дозволяє збільшити продуктивність вибою в 2-5 рази [14-16]. Також з метою підтримання виробничої потужності на час будівництва другого ступеню розкриття пропонується до залучення в розробку природно-бідних руд (магнетитових кварцитів), збільшення глибини першого ступеню розкриття до глибини 1500-1700 м [17-19]. Слід зауважити, що збільшення глибини першого ступеню розкриття призведе до збільшення часу на видачу руди, зниження річної продуктивності, зростання навантаження на конструктивні елементи стану копра. Всі ці фактори, можуть негативно відобразитись на собівартості видобутку.

Постановка завдання. Таким чином, необхідно обґрунтувати максимальну глибину першого ступеню розкриття з метою забезпечення високої продуктивності шахти та безпечності існування копра.

Викладення матеріалу та результати. При визначенні річної продуктивності підземного рудника використовують формулу, яка характеризує гірничі можливості підприємства, млн. т/рік

$$A = S \cdot V_{сер} \cdot \gamma_p \cdot (1 - B) / (1 - 3) \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

де S – загальна горизонтальна експлуатаційна площа покладу, м²; $V_{сер}$ – середнє річне пониження очисних робіт, м/рік; γ_p – об'ємна маса, т/м³; $B, 3$ – показники вилучення відповідно втрати та засмічення руди при її видобутку підземним способом, долі од.

Слід зауважити, що річну продуктивність за формулою (1) не впливає глибина ведення гірничих робіт. При визначенні річної продуктивності підземного рудника на великих глибинах необхідно враховувати глибину розробки, а також сучасний стан і перспективи роботи гірничодобувного підприємства.

Річна продуктивність підземного рудника за підйомними можливостями на один головний рудопідйомний ствол обладнаний двома рівноважними скіпами визначається з виразу, млн. т/рік

$$A_{p.n.y} = 60 \cdot T_{p.n.y} \cdot Q_{ск} \cdot 10^{-6} \cdot K_n \cdot t_{сум} / t_u, \quad (2)$$

де $T_{p.n.y}$ – час роботи підйомної установки протягом року, діб.; $Q_{ск}$ – вантажопідйомність скіпа, т; $K_n = 0,85 \dots 0,90$ – коефіцієнт наповнення скіпа, долі од.; $t_{сум}$ – час роботи підйомної установки протягом доби (з урахуванням простоїв та ремонтних робіт), год.; t_u – час циклу однієї підйомної установки, хв.

Час циклу однієї підйомної установки на навантаження, розвантаження та підйом визначається за формулою, хв.

$$t_y = t_{n,p} + t_p + t_{p,m}, \quad (3)$$

де $t_{n,p} = 1 \dots 3$ – час на навантаження (розвантаження) скіпа, хв.; t_p – час руху скіпа по стволу, хв.; $t_{p,m} = 1 \dots 2$ – час на постановку скіпа під навантаження (розвантаження) та набір заданої швидкості переміщення, хв.

Час руху скіпа по стволу визначається з виразу, хв.

$$t_p = H / (v \cdot 60), \quad (4)$$

де H – висота підйому по стволу (приймається глибині розробці за нормами технологічного проектування для першого ступеню розкриття), м; v – швидкість руху скіпів по стволу, м/с. Швидкість руху скіпів залежить від технічного стану стволу. З аналізу проектно-технічної документації та досвіду роботи гірничодобувних підприємств Криворізького басейну встановлено, що при розробці родовища нижче глибини 1100 м, швидкість руху скіпів зменшується на 3-7% за кожні 10 років експлуатації стволу.

Розрахунки річної продуктивності підземного рудника приведені на рис. 1.

Рис. 1. Залежність річної продуктивності підземного рудника від глибини розробки: 1 – за гірничими можливостями; 2 – існуюча продуктивність; 3, 4 – при швидкості руху скіпів по стволу відповідно 12 м/с та 8 м/с

З рис. 1, крива 3 видно, що зі збільшенням глибини першого ступеню розкриття з 1200 до 1900 м знижується річна продуктивність підземного рудника з 7,5 до 4,7 млн.т/рік.

Таким чином, якщо гірничодобувні підприємства мають намір збільшити річну продуктивність до 5,5 млн.т, то максимальна глибина першого ступеню розкриття складає 1650 м (рис. 1, криві 1 і 3). Зі збільшенням першого ступеню розкриття за допомогою вертикального стволу річна продуктивність зменшиться до 2,5 млн.т (рис. 1, крива 4).

За результатами виконаних досліджень пропонуються наступні схеми розкриття родовища, які наведені на рис. 2 в залежності від річної продуктивності гірничо-добувних підприємств.

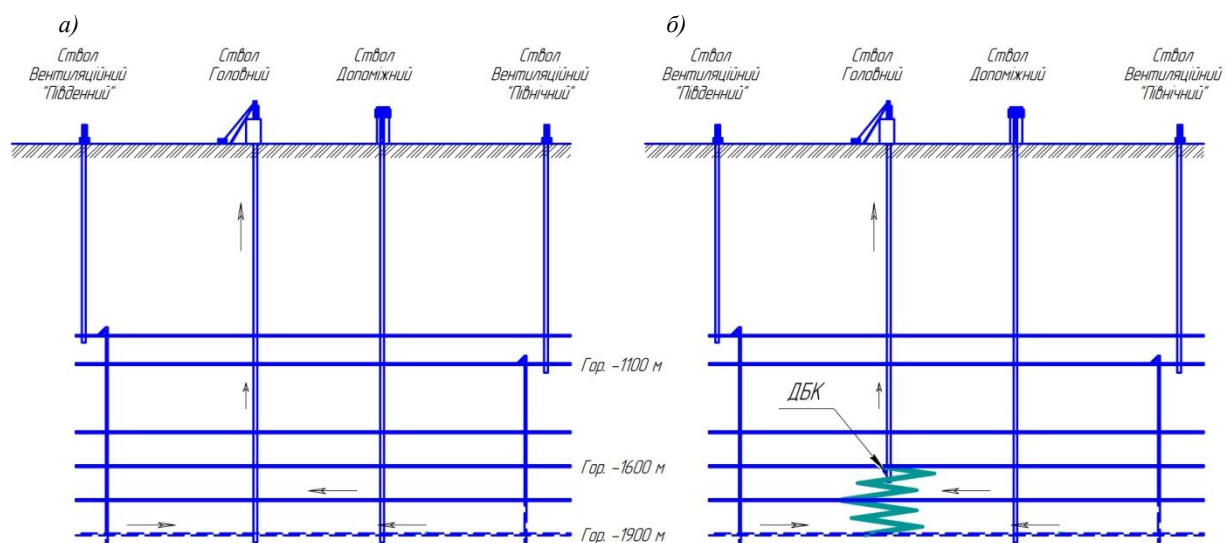


Рис. 2. Схеми розкриття родовищ Криворізького залізорудного басейну з:
 а – проходкою головного стволу на всю глибину розповсюдження;
 б – проходкою спірального з'їзду нижче глибини 1600 м

На рис. 2 а наведена схема розкриття головним стволом пройденим до кінцевої глибини розповсюдження. Сутність даної схеми полягає в наступному: вертикальні стволи поглиблюються по мірі відпрацювання нижлежачих горизонтів. Перевагами даної схеми є наступні: мінімальна кількість перевантажувальних вузлів; стабільна робота з видобутку руди; простота схеми провітрювання. Недоліки: неможливо збільшити річну продуктивність шахти; значна довжина квершлагів.

Сутність другого варіанту, (рис. 2 б) полягає в наступному: видача гірської маси здійснюється підземними автосамоскидами з очисних вибоїв по спіральному з'їзду до перевантажувального пункту розташованого на гор. -1600 м. Біля гирла спірального з'їзду облаштовується перевантажувальний пункт в якому руда перевантажується з автосамоскидів у вагонетки і далі транспортується до головного стволу. Переваги даного варіанта наступні: збільшення річної

продуктивності підземного рудника; швидке введення в експлуатацію видобувних горизонтів нижче -1600 м; зменшення довжини гірничих виробок; зменшення капітальних та експлуатаційних витрат на будівництво другого ступеню розкриття. До недоліків слід віднести: значні капітальні вкладення на придбання самохідного обладнання; додаткові експлуатаційні витрати на підтримання виробки переважувального вузлу; складність провітрювання другого ступеню розкриття; необхідність підтримання концентраційного горизонту (гор. -1600 м).

В останні роки в Україні і в інших країнах, в зв'язку зі збільшенням кількості впливів різного характеру, проблеми живучості елементів копрів при пошкодженнях і впливах раптового характеру стають в ряду найважливіших при проектуванні та експлуатації об'єктів поверхні. Завдання визначення параметрів живучості об'єктів поверхні до теперішнього часу в науковій літературі не обговорювалися, проте, їх рішення відкриває можливості побудови не тільки теоретичного прогнозування поведінки конструкцій при таких впливах, а й мінімізації можливих збитків у випадках аварії. В працях Holicky M., Diamantidis D., Sykora M., Johan V. Retief, Celeste V. [20-23] виводяться сучасні критерії проектування конструкцій, що забезпечують широкий діапазон показників надійності для різних базових періодів існування об'єктів, навіть якщо їх розрахунок для різних базових періодів є невизначеним через взаємну залежність подій відмови.

Для формування оптимального керування процесами аналізу та оптимізації характеристик надійності, несучих конструкцій копрів, що підсилюються і реконструюються розроблено математичну модель статистичної обробки обмеженої інформації їх технічного стану та метод керування конструктивною безпекою конструкцій при раптових аварійних ситуаціях.

Цінність очікуваних результатів для світової та вітчизняної науки полягає у тому, що: - удосконаленні методи визначення технічного стану споруд поверхневого комплексу дозволять вдосконалити теорію прогнозування та забезпечення надійності об'єктів гірничорудних підприємств; - встановлені залежності появи дефектів або їх розвитку в результаті різного роду процесів накопичення пошкоджень доповнять систему знань про функціонування виробництва як єдиної системи взаємопов'язаних технологічних процесів; - розроблені методи управління показниками живучості та розрахунку показників надійності промислових об'єктів на поверхні шахт при обмеженій вибірці статистичної інформації удосконалять методологію проведення реконструкції на цих об'єктах; - розроблені методи прогнозування та оцінки конструкційної безпеки елементів споруд поверхневого комплексу для різних гірничотехнічних умов експлуатації удосконалять методологію підвищення безаварійної експлуатації об'єктів на поверхні шахт.

Одержання ефекту від використання наведених наукових результатів потребуватиме їх використання у проектах щодо розроблення систем прогнозування та забезпечення надійності об'єктів існуючих або проєктованих гірничих підприємств чи їх підрозділів. Слід відзначити, що практична реалізація запропонованих наукових результатів передбачає головним чином розроблення інформаційних технологій та програмного забезпечення відповідно до наведених методик. Це дозволяє суттєво зменшити витрати на впровадження, оскільки програмне забезпечення характеризується: достатньо низькими витратами на перенесення та адаптування до нових виробничих умов; високим ступенем надійності, що забезпечується потужними засобами випробування та відлагодження на початкових етапах розробки. Вартість модернізації функціональних можливостей даної системи прогнозування та забезпечення надійності об'єктів є достатньо низькою, оскільки потребуватиме лише оновлення існуючого програмного забезпечення.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено, що річна продуктивність шахти суттєво впливає вибір схеми розкриття при розробці запасів на значних глибинах. Так, якщо річна продуктивність підземного рудника не перевищує 2 млн.т є перспективи з поглиблення головної розкривної виробки до глибини 1900 м. При цьому слід враховувати, що збільшаться експлуатаційні витрати на підтримання ствола та копру. Тому, при визначенні річної продуктивності підземного рудника необхідно враховувати не тільки технічні складові, а й економічні.

Список літератури

1. Ступнік М.І. Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну /

- М.І. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – № 95(1). – С. 3-7.
2. **Гирин В.С.** Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / **В.С. Гирин, Н.К. Кравцов, В.А. Витряк** // Разраб.рудн.месторожд. – Кривой Рог: КТУ. – 2000. – Вып. 70. – С. 10-13.
3. **Письменний С.В.** Исследования устойчивости целиков от формы очистной камеры при отработке магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт подземным способом / **С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 36. – С. 9-13.
4. **Логачев Е.И.** Снижение потерь и засорения обрушенной руды при отработке месторождений с углом падения 45-60° / **Е.И. Логачев, С.В. Письменний** // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – 2010. – №11(161). – С. 96-99.
5. **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** // Горн.журн. – 2000. – №6. – С. 162-168.
6. **Ступнік Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
7. **Андреев Б. Н.** Перспективы эксплуатации шахты «Первомайская» в геотехнологической системе «карьер-шахта» / **Б.Н. Андреев, С.В. Письменний, Д.В. Бровко, Н.Б. Андреев, И.А. Письменний, Б.И. Литвяк.** // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна» №7 (135). – 2008. – 54-60 с.
8. **Именитов В.Р.** Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Учебное пособие для вузов, 3-е изд., пераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 504 с.
9. **Stupnik, N.I., Kalinichenko, V.A., Kolosov, V.A., Fedko, M.V. & Pismennyi, S.V.** (2014). Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme. Metallurgical and mining industry, 2, 89-93.
10. **Бовин А.А.** Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых на больших глубинах / **А.А. Бовин, М.В. Курленя, Е.И. Шемякин** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – М.: [б. и.], 1983. – № 3. – С. 64-73.
11. **Ступнік Н.И.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 32. – С. 3-6.
12. **Stupnik, N., Kalinichenko, V., Kolosov, V., Pismennyi, S. & Shepel, A.** (2014). Modeling of stopes in soft ores during ore mining. Metallurgical and mining industry, 3, 32-36.
13. **Черных А.Д.** Комплексная разработка рудных месторождений / **А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.**; Под ред. А.Д. Черных. – К. : Техніка, 2005. – 376 с.
14. **Ступнік Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 33. – С. 3-8.
15. **Щелканов В.А.** Комбинированная разработка месторождений / **В.А. Щелканов, С.А. Сторчак** // Кривой Рог: КТУ, 1996. – 293 с.
16. **Ступнік Н.И.** Параметры этажно-камерной выемки железистых кварцитов с наклонными целиками / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг. – 2013. – № 96. – С. 3-7.
17. **Черных А.Д., Гушко П.И.** Комплексная открыто-подземная железорудных месторождений / **А.Д. Черных, П.И. Гушко** // К.:Техника, 1991. – 279 с.
18. **Батраков Д.В.** Применение вибрационных питателей для выпуска руды в условиях железорудных шахт Криворожского бассейна / **Д.В. Батраков** // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 36.
19. **Гирин В.С.** Пути совершенствования качества металлургического сырья на шахтах Кривбасса / **В.С. Гирин, Н.К. Кравцов, В.А. Витряк** // Разраб.рудн.месторожд. – Кривой Рог: КТУ. – Вып. 70, 2000. – С. 10-13.
20. **Holicky M., Diamantidis D., Sykora M.** (2016). Risk and reliability acceptance criteria for civil engineering structures. In: Structural Reliability and Modelling in Mechanics, At Ostrava, Czech Republic.
21. **Holicky M., Diamantidis D., Sykora M.** (2015). Determination of target safety for structures. In: Haukaas, T. (Ed.). Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Vancouver, Canada, July.
22. **Holicky M., Diamantidis D., Johan V. Retief, Celeste V.** (2015). On standardization of the reliability basis of structural design. In: Haukaas, T. (Ed.). Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12), Vancouver, Canada, July 12-15.
23. **Holicky M., Sykora M.** (2013). Probabilistic Assessment Of Industrial Heritage Structures: Framework And Case Study. In: WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, UK

Рукопис подано до редакції 20.04.2018