

Даний метод був використаний для визначення аПАР в природних водах. Аналіз досліджуваної води: помішають в ділільну ліжку 5 см<sup>3</sup> проби води та продовжують визначення, як вказано вище.

Як видно з рис. 6 градувальний графік для визначення аПАР має лінійну залежність та величина достовірності апроксимації дорівнює 0,9967. Визначена концентрація аПАР, за градувальним графіком, знаходиться в межах гранично допустимої концентрації аПАР у воді.

Таким чином, нами було встановлено, вплив рН на водні розчини акридінового жовтого. Підібрано оптимальні умови та визначено вміст аніонних поверхнево-активних речовин в природних водах з акридіновим барвником. Отримані результати дозволяють рекомендувати використання акридінового жовтого в якості нового реагента в екстракційно-фотометричному методі.

### Список літератури

1. Часова Е.В. Характеристика влияния выбросов промышленных предприятий Кривого Рога на рабочих и население города / Е.В. Часова, Л.Д. Ермак, В.В. Івчук // Вісник Криворізького технічного університету, зб. Наукових праць. – вип. №20. – Кривий Ріг, 2008. – С.209-213.
- 2 Часова Е.В. Некоторые проблемы использования синтетических поверхностно-активных веществ и основные пути их решения / Е. В. Часова, В.В. Івчук // Качество минерального сырья. – 2014. – С. 198-205.
3. Часова Е.В. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кривбасса на экологию региона // Е.В. Часова, Л.Д. Ермак, В.В. Івчук // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов». – Саратов, 12-14 апреля 2011. – Ч.1. – С. 328-331.
4. Часова Е. В. Экологические проблемы Кривбасса – состояние и перспективы / Е. В. Часова, В.В. Івчук // Вісник Криворізького технічного університету, зб. Наукових праць. – вип. №30. – Кривий Ріг, 2012. – С.215-219
- 5 Яцик А.В. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник для студентів вищих навч. закладів / А.В. Яцик. – К. : Генеза. – 2007. –360 с.
6. Алыков Н. М. Поверхностно-активные вещества и флокулянты в объектах окружающей среды. Методы концентрирования, определения и удаления : монография / Н. М. Алыков, Т. В. Алыкова, Е. Ю. Шачнева. – Астрахань, 2011. – 107с
7. Лугова Л.Р. Сучасний стан методів контролю вмісту поверхнево-активних речовин у стічних водах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2000. – С.182-186.
8. Перевошикова Н.Б. Количественное определение поверхностно-активных веществ различной природы в водных растворах / Н.Б. Перевошикова, Ю.А. Азиатцев // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. – 2010. – Вып.2. – С. 54-65
9. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье – М. : Химия, 1984. – 447с.
10. Часова Е. В. Кількісне визначення аніонних поверхнево-активних речовин у стічних водах / Е. В. Часова, О. В. Демчишина // Науковий журнал «Молодий вчений». – 2017. – №10(50). – С. 10-12.
11. M.W.Schmidt. General Atomic and Molecular Electronic Structure System / M.W.Schmidt, K.K. Baldrige, J.A. Boatz, S.T. Elbert, M.S. Gordon and others // J.Comput.Chem. – 1993. – Т. 14. – С. 1347-1363.

Рукопис подано до редакції 07.05.2018

УДК 622.016.52:622.34

В.О. КАЛІНІЧЕНКО, д-р техн.наук, проф., С.В. ПИСЬМЕННИЙ,  
Д.В. БРОВКО, кандидати техн.наук, доценти, О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд.екон.наук, доц.  
Криворізький національний університет

### МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ШТУЧНИХ СПОРУД ПРИ РОЗРОБЦІ ЗАЛІЗНИХ РУД

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання очисних камер різної форми на еквівалентних матеріалах при підземній розробці залізних руд Криворізького залізрудного басейну. З пониженням гірничих робіт навколо очисних камер зростає гірський тиск, який призводить до їх часткового обвалення, а як наслідок зниження вмісту корисного компоненту в видобутій рудній масі. Теоретичними дослідженнями доведено, що очисні камери параболічної форми є більш стійкими у порівнянні з камерами прямокутної форми, але лабораторним дослідженням приділено не було достатньої уваги, щоб підтвердити дану теорію.

**Методи дослідження.** В процесі моделювання застосовували комплексний метод досліджень, який полягав з аналітичного визначення параметрів очисних камер та лабораторне моделювання з застосуванням еквівалентних матеріалів. Суттєвою відмінністю даних досліджень є те, що при виготовленні еквівалентного матеріалу враховували масштаб фактору часу.

**Наукова новизна.** Встановлено, що очисна камера параболічної форми у порівнянні з прямокутними збільшує свою стійкість в 1,1-1,5 рази. При цьому, на стійкість камери параболічної форми суттєво впливають радіуси вертикального та горизонтального оголень, які залежать від фізико-механічних властивостей гірського масиву.

**Практична значимість.** Для зменшення засмічення руди при її випуску з очисних камер, що призведе до підвищення вмісту корисного компонента в рудній масі, очисні камери доцільно формувати не прямокутної форми, а у вигляді параболі. Формування очисних камер параболічної форми при відпрацюванні магнетитових кварцитів дозволить зменшити ширину міжкамерних ціликів.

**Результати.** В лабораторних умовах на моделях з використанням еквівалентного матеріалу досліджували як впливає термін існування на стійкість очисних камер прямокутної, шатрової та склепистої форм. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що раціональна форма очисної камери з умови її стійкості та терміну існування є параболічна. Достовірність результатів моделювання підтверджується високою збіжністю отриманих значень.

**Ключові слова:** очисна камера, стійкість, термін існування, моделювання, еквівалентний матеріал, підземна розробка, радіус оголення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-39-44

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Розробка родовищ природно-бідних та природно-багатих залізних руд Криворізького басейну на даний час здійснюється відкритим і підземним способами. В умовах діючих залізрудних підприємств з підземним способом розробки загальна кількість балансових запасів багатих руд складає 1,5 млрд.т, а бідних руд понад 5,0 млрд.т. Для успішного функціонування підземних гірничих підприємств з видобутку залізних руд необхідно виконати модернізацію та технічне переоснащення комплексів підйому, вентиляції, водовідливу, а також переглянути існуючі способи видобутку корисних копалин [1].

На теперішній час на шахтах Кривбасу при розробці залізних руд застосовуються системи з масовим обваленням та з відкритим очисним простором, які призводять до зсуву земної поверхні, а з пониженням гірничих робіт відповідно й її площі. Подальше застосування даних систем розробки на значних глибинах (понад 1700 м) неминуче призведе до суттєвого збільшення собівартості видобутку, зниження вмісту корисного компонента в видобутій рудній масі.

Для збереження земної поверхні та підвищення вмісту корисного компонента в видобутій руді необхідно застосовувати систему розробки з закладкою виробленого простору. Але, собівартість видобутку від застосування даної системи розробки не зміниться, до того ж зменшиться річна продуктивність в 1,2-1,5 разів.

Зменшити собівартість видобутку та збільшити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування камерних систем розробки. При застосуванні камерних систем розробки особливо в умовах прояву гірського тиску необхідно очисним камерам забезпечити додаткову стійкість [2].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Криворізький залізрудний басейн складається комплексом кристалічних порід залізистої формації, які залягають серед гранітів вузькою смугою метаморфічних порід, витягнутих з півдня на північ в субмеридіальному напрямку, протяжністю понад 100 км і є складовою частиною Криворізько-Кременчугської структурно-фаціальної зони. Комплекс порід Криворізької серії зім'ятий в складки меридіонального простягання і утворює велику складчасту структуру, яка складається з наступних серій свит: Новокриворізька (*Nk*), Сकेловатська (*Sk*), Саксаганська (*Sx*), Гданцівська (*Gd*) та Глеєватська (*Gl*) [3].

Основною рудоносною товщею, що розробляється підземним способом є Саксаганська свита (*PR<sub>1</sub>Sx*), яка представлена сім'ю сланцевими та сім'ю залізистими пластами, які чергуються між собою. Залізисті пласти складені мартитовими, гетит-гематит-мартитовими, силікат-карбонат-магнетитовими, магнетитовими, силікат-магнетитовими та іншими рудами потужністю від 4 до 150 м та з середнім вмістом заліза 58-62% та бідних руд (магнетитових кварцитів) - 26-35% [4].

В Криворізькому залізрудному басейні на теперішній час успішно функціонують 7 гірничо-видобувних підприємств, з них: 5 – з відкритим способом розробки і 4 – з підземним. У межах діючих підприємств зосереджено понад 8,7 млрд. т балансових запасів багатих і бідних руд, які доцільно розробляти існуючими способами [5]. Але при розробці запасів біля

7,6 млрд.т необхідно: удосконалити технологію видобутку з підземним способом; перехід на комбіновану відкрито-підземну розробку при видобутку бідних руд відкритим способом; будівництво другого ступеню розкриття при розробці багатих руд підземним способом [6].

Запасів залізистих кварцитів в межах діючих підприємств з відкритим та підземним способами складають біля 10,8 млрд. т, у тому числі балансових запасів нараховується понад 7,65 млрд. т. Відробку 3,2 млрд. т запасів магнетитових кварцитів, які не доцільно розробляти на теперішній час відкритим способом, доцільно відпрацьовувати комбінованою відкрито-підземною розробкою, що дозволить гірничим підприємствам подовжити свою роботу ще на 50-100 років. Балансові запаси багатих залізних руд, підраховані до глибини 1500-2100 м, становлять понад 5,6 млрд.т, у тому числі промислових категорій – 1,13 млрд.т. Неосвоєними з цих запасів, є лише Східно-Скелюватська ділянка та частина родовищ НкГЗК, яка виступає охоронним ціликом річки Інгулець.

Шахтні поля Криворізького басейну мають неоднакову забезпеченість запасами багатих залізних руд. Протягом найближчих 30 років шахти південної групи допрацюють свої запаси, в той час як деякі рудники північної групи працюватимуть більше 30 років. Зі збільшенням глибини розробки значною мірою погіршуються геологічні та гірничотехнічні умови; зменшуються запаси багатих руд; знижується якість залізної руди, підвищується гірський тиск, що викликає збільшення трудових і матеріальних витрат, значно збільшуються витрати на додаткову проходку виробок, підземний транспорт, вентиляцію, водовідлив, шахтний підйом та ін [4, 5].

Загальні прогнозні запаси залізистих кварцитів тільки в полях діючих шахт та в міжрудникових ділянках Саксаганської світи становлять близько 43,0 млрд т, у тому числі магнетитових кварцитів близько – 14,68 млрд. т (з бортовим вмістом заліза магнетитового 20%). У полях діючих шахт магнетитові кварцити залягають, в основному, в лежачому боці покладів багатих руд і в окремих випадках, наприклад, на шахтах "Ювілейна, "Гвардійська" та ім. Леніна - в одних стратиграфічних горизонтах.

Одним із заходів щодо збільшення запасів залізородної сировини та термінів забезпеченості ними рудників є залучення у видобуток підземним способом магнетитових кварцитів, що залягають у полях діючих шахт і в проміжках між ними з подальшим їх збагаченням. Для видобутку магнетитових кварцитів в полях існуючих шахт, де є резерви підйомних можливостей, достатньо пройти додаткові відкотні виробки від існуючих і нині вже не використовуваних квершлагів, оскільки видобуток цих кварцитів може бути розпочато з глибини нижче зони окислення [7].

Слід враховувати те, що діючі стволи шахт перетинають товщу магнетитових кварцитів, а поверхня в районі їх розташування густо забудована технологічними комплексами шахт, під'їзними залізничними коліями та шляхами Придніпровської залізниці, житловими та соціально-культурними об'єктами. У разі відпрацювання магнетитових кварцитів відкритим або підземним способом системами з масовим обваленням руди та денної поверхні, зазначені вище об'єкти на поверхні необхідно перенести на інші ділянки.

**Постановка завдання.** Таким чином, альтернативною системою розробки при відпрацюванні залізних руд і магнетитових кварцитів є камерна система з заходами щодо забезпечення додаткової стійкості очисним камерам. Тому, необхідно вирішити актуальне питання щодо підземної розробки запасів Криворізького залізородного басейну шляхом обґрунтування форми очисної камери, що дозволить збільшити строк її існування та забезпечити високі показники вилучення.

**Викладення матеріалу та результати.** Для визначення стійких параметрів очисної камери різних форм використовуємо фізичне моделювання з використанням еквівалентних матеріалів на стаціонарних моделях. Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності [8-10], приводить до висновку, що для моделювання на статичних моделях необхідно дотримуватись масштаб моделювання. Усі розміри досліджуваної системи в натурі й розміри її в моделі будуть змінені у певну кількість разів. Масштаб моделювання  $C_l$  визначається з виразу

$$l'_n / l'_m = l''_n / l''_m = \dots = l^i_n / l^i_m = C_l, \quad (1)$$

де  $l_m, l_n$  – лінійні розміри відповідно у моделі й натурі.

При моделюванні необхідно дотримання початкового стану системи й подібності умов на границях. Перше (початковий стан системи) досягається дотриманням масштабу моделювання,

коефіцієнта розрихлення матеріалу моделі й природи. Друге (умова подоби на границях) – дотримання коефіцієнта тертя на контактах матеріалу зі стінками моделі. Для цього збільшують шорсткість стінок моделі. Кращим способом досягти відповідності граничних умов є наклеювання матеріалу, що моделюється, на стінки моделі. Але при моделюванні дотримання всіх критеріїв подібності, які забезпечать подібність механічних процесів, неможливо, тому необхідно виділити й забезпечити пропорційність фізичних констант, що мають вирішальне значення для досліджуваного явища [10-12].

Тому одними з головних критеріїв подібності є фізико механічні властивості руди й породи, які моделюються, та геометричні розміри об'єктів, що досліджуються. Для визначення зсуву порід, а так само навантажень, тиску, які виникають у процесі переміщення гірського масиву, необхідно дотримуватись динамічної подібності. При цьому повинна бути дотримана умова стійкості матеріалів

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + c, \quad (2)$$

де  $\tau$  – дотичне напруження на заданій площині,  $\text{т/м}^2$ ;  $\sigma_n$  – нормальне напруження на заданій площині,  $\text{т/м}^2$ ;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя корисної копалини, град.;  $c$  – зчеплення порід.

Основною умовою динамічної подоби є дотримання куту внутрішнього тертя корисної копалини та зчеплення порід, що можливо досягти тільки прикладенням на модель зовнішнього навантаження. Розрахунок зовнішнього навантаження  $P_m$ , яке необхідно прикласти при моделюванні, визначають за формулою, запропонованою Кузнецовим Г.Н. [11]

$$P_m = (P_n l_n^3 \gamma_n) / (l_m^3 \gamma_m), \quad (3)$$

де  $P_m, P_n$  – зовнішнє навантаження відповідно в моделі й природі,  $\text{т/м}^2$ ;  $\gamma_n, \gamma_m$  – об'ємна вага руди відповідно у природі й моделі,  $\text{т/м}^3$ .

Можливість застосування виразу (3) можливо обґрунтувати тим, що масштаб моделювання виконується тільки для лінійних розмірів моделі й не відповідає в повному обсязі для гранулометричного складу. Коефіцієнти й кути опору руху руди визначалися за методикою [12]. Коефіцієнт опору у цьому випадку визначається за різницею дії сил ваги й сил опору зразку за формулою

$$f = (l_1 \sin \alpha) / (l_1 \cos \alpha + l_2) = h/L = \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

де  $l_1$  – довжина похилої площини, м;  $l_2$  – довжина горизонтальної ділянки шляху, що проходять зразки породи по інерції, м;  $\alpha$  – кут нахилу площини, град;  $h$  – висота скочування зразка, м;  $L$  – проекція сумарного шляху, пройденого зразками на горизонтальну площину, м;  $\varphi$  – кут опору руху, град.

Величина  $f$  і  $\varphi$  визначалися для окремих зразків руди (породи) різного гранулометричного складу, для суміші зразків одного розміру, а також для сумішей зразків різного гранулометричного складу. В результаті отриманих даних в процесі лабораторних досліджень побудовані залежності зміни складу еквівалентного матеріалу для отримання наступних параметрів: межі міцності на стискання; модуля пружності та коефіцієнта Пуассона

Після ув'язування всіх перерахованих факторів, масштаб моделювання приймаємо 1:100, при цьому підбір еквівалентних матеріалів виконується на підставі теорії подібності з урахуванням необхідних встановлених значень, рис. 1.

Тимчасовий опір досліджуваних зразків на стискання виконували відповідно до прийнятого міжнародного стандарту для визначення міцності порід при одноосьовому стиску. Тимчасовий опір досліджуваних зразків визначається за формулою

$$G_{cm} = P/S, \quad (5)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження, Н;  $S$  – площа поперечного перерізу зразка,  $\text{м}^2$ .

В лабораторних умовах були проведені дослідження по стійкості камер різної форми: прямокутної та параболічної. При проведенні дослідів, гірський масив замінюється еквівалентним матеріалом. Геометричний масштаб моделювання був прийнятий 1: 100, а масштаб часу становив 1:10. Еквівалент-

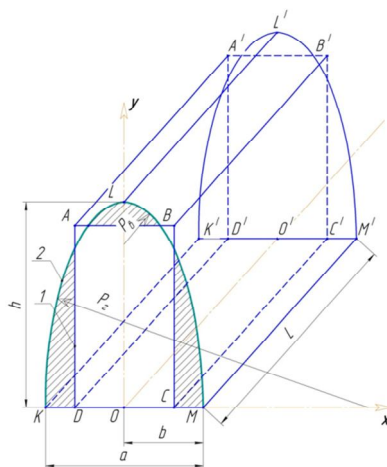


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення об'єму камери параболічної та прямокутної форм

ний матеріал з урахуванням масштабу моделювання підбирався згідно фізико-механічним властивостям гірських порід ш. «Октябрьська» ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Об'єм камери параболічної форми визначається за формулою [13]

$$V = 2L \cdot \int_0^b \left( 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2}{[\sigma_{cm}]}} \right) \cdot \sqrt[4]{\left( 1 \pm x^2 dx / 4\sigma_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2 \cos \beta \operatorname{tg} \rho}{[\sigma_{cm}]^2}} \right)^3}, \quad (6)$$

де  $V$  – об'єм камери параболічної форми,  $m^3$ ;  $L$  – довжина камери, м;  $\sigma_3$  – головні вертикальні напруження,  $t/m^2$ ;  $[\sigma_{cm}]$  – межа міцності порід на стискання,  $t/m^2$ ;  $\beta$  – кут зсуву гірських порід, град.;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.

Ширина камери вертикальної форми визначалась виходячи з об'єму камери параболічної форми (6) з виразу

$$a_g = V / (L \cdot (h_g - h_{cm})), \quad (7)$$

де  $h_g$  – висота виймального блоку (приймалась 90 м), м;  $h_{cm}$  – товщина стелини, м.

Ширина камери горизонтальної форми розраховувалась з урахуванням (6) за формулою

$$a_z = V / (L h_z), \quad (8)$$

де  $h_z$  – висота камери горизонтальної форми (приймається 30 м), м.

Всього було проведено 8 серій лабораторних експериментів, які відрізняються між собою: формою очисної камери і межею міцності на одноосевий стиск. Кожен досвід повторювався 3-5 разів. Надійність отриманих результатів при моделюванні на еквівалентних матеріалах за теоремою множення ймовірностей незалежних подій. Згідно виконаним розрахунками вертикальний та горизонтальний тиск в моделі приймався відповідно 13,2 і 6,4  $kg/cm^2$ . Радіус склепіння у верхній частині очисної камери визначався за умовою стійкої граничної рівноваги на будь-якому майданчику згідно закону Кулона розраховували за формулою [14, 15]

$$P_g = \sqrt{\sigma_3 / (\cos \beta \operatorname{tg} \rho)}, \quad P_z = \sigma_3 \cos \beta \operatorname{tg} \rho / [\sigma_{cm}], \quad (9)$$

де  $P_z, P_g$  – радіуси максимально допустимого стійкого криволінійного оголення відповідно горизонтальної і вертикальної кривих, якими описується камера параболічної форми, м.

Висота камери параболічної форми визначалась за формулою [16]

$$h = 2 \cdot \sqrt[3]{P_z \cdot P_g^2}. \quad (10)$$

В лабораторну модель заочувався еквівалентний матеріал, який навантажували зовнішнім навантаженням визначеної з формули (3) з урахуванням масштабу моделювання (1). Через 3 доби, з боку задньої стінки вирізали еквівалентний матеріал об'ємом 45000  $cm^3$ , створюючи необхідну форму очисної камери і об'єм, а далі протягом 36 діб (що відповідає 12 міс. в натурі) спостерігали за поведінкою моделі. Результати моделювання стійкості очисних камери протягом їх існування від 12 діб (4 міс.) до 36 діб (12 міс.) приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати моделювання стійкості очисних камер

Міцність руди за шкалою М.М. Протоджяконова	Об'єм очисної камери після її існування, діб (міс)				
	12 (4)	18 (6)	24 (8)	30 (10)	36 (12)
очисна камера вертикальної форми					
8	45000	47000	58000	62000	68000
10	45000	45000	47000	55000	66000
12	45000	45000	45000	47000	64000
очисна камера горизонтальної форми					
8	48000	55000	67000	73000	80000
10	46000	54000	66000	72000	78000
12	45000	50000	64000	70000	76000
очисна камера параболічної форми					
8	45000	45000	45000	45000	45000
10	45000	45000	45000	45000	45000
12	45000	45000	45000	45000	45000

Після 15 діб спостерігалось сколювання еквівалентного матеріалу у верхній частині очисної камери прямокутної форми, та надання їй у верхній частині склепінної форми. Зі збільшенням часу її існування до 36 діб. форма компенсаційної камери приймає вигляд еліпсоїду, що підтверджують дослідження виконані Куликовим. Слід зазначити, що при зменшенні міцності гірського масиву з 12 до 8, об'єм камери збільшився відповідно в 1,3-1,5 рази. Після 18-30 діб існування очисної камери спостерігається сколювання еквівалентного матеріалу не тільки у верхній частині, а й з боку її боків.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Проведеними лабораторними дослідженнями встановлено, що при відпрацюванні запасів сформовані в масиві камери прямокутної форми будуть зруйновані протягом 6 міс. Через 1,5 міс. відбувається незначне сколювання в середній частині вертикального цілика висячого боку. Після чого відбувається інтенсивне розшарування ціликів і після 16-17 міс. повне їх руйнування.

Очисна камера склепінної форми зберігає свою стійкість, а її руйнування відбувається лише у верхній її частині. Лабораторними дослідженнями встановлено, що руйнівна сила, що діє з боків очисної камери, буде мінімальною. Формування очисної камери параболічної форми підвищує стійкість камери без порушення еквівалентного матеріалу по її периметру.

#### *Список літератури*

1. **Ступник Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступник, С.В. Письменный** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – 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. Горная энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1987., Т.3, с. 372-373.
4. **Ржевский В.В.** Физико-технические параметры горных пород. – М.: Наука, 1975.
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. **Андреев Б.Н.** Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса / **Б.Н.Андреев, С.В.Письменный, Д.В.Бровко** // БНТУ. – Минск. – 2013. – С.115-120.
7. **Ступник М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізорудних родовищ Криворізького басейну / **М.І.Ступник, С.В.Письменный** // Гірничий вісник: науково-технічний збірник. Кривий Ріг, 2012.–Вип. 95(1).– С. 3-7.
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. **Мартынов В.К., Кудрявцев М.С., Зайцев Н.М. и др.** К вопросу о переносе результатов моделирования выпуска руды на натуру // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техніка. – 1970. – Вып. 10. – С. 13.
10. **Куликов В.В.** Выпуск руды. – М.: Недра, 1980. – 303 с.
11. **Насонов И.Д.** Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
12. **Корж В.А.** Эквивалентные параметры кусков обрушенной руды в блоке // Разраб. рудн. месторожд. – Кривой Рог: КТУ, 1996. – № 59. – С. 52-59.
13. **Письменный С.В.** Моделирование стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізорудного басейну / **С.В. Письменный, О.Б. Томашевський** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – 2015. – № 40. – С. 98-103.
14. **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. –Х.: НТУ "ХПІ", 2017. - № 16 (1238). – С. 99-106.
15. **Ступник Н.И.** Разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и сопряжений в условиях урановых шахт ГП "ВОСТГОК" / **Н.И. Ступник, М.Б. Федько, В.А. Колосов, С.В. Письменный** // Научный вестник НГУ. – 2014. – № 5. – С.21-25.
16. **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. – Кривий Ріг. – 2012. – Вип. 32. – С. 3-6.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018