

всього, неравномерность расхода дутья по фурмам по окружности горна доменной печи.

Для полного решения обозначенной в данной работе задачи необходимо обеспечить равномерное распределение дутья с постоянной температурой по фурмам доменной печи, что из-за неэффективной конструкции смесителя холодного дутья с горячим сделать пока невозможно. Поэтому вопрос разработки конструкции эффективного смесителя не снят и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. **Лялюк В.П.** Методика расчета полной энергии горнового газа при вдувании пылеугольного топлива / **В.П. Лялюк, А.К. Тараканов, Д.А. Кассим** // Сталь. – 2017. – №3. – С. 2-8.
2. Определение траектории потока газа при вдувании в доменную печь пылеугольного топлива / **В.П. Лялюк, А.К. Тараканов, Д.А. Кассим** и др. // Сталь. – 2017. – №4. – С. 2-6.
3. Проблемы технологии с вдуванием пылеугольного топлива на доменной печи объемом 5000 м³ / **В.П. Лялюк, А.К. Тараканов, Д.А. Кассим** и др. // Сталь. 2017. – №10. – С. 4-10.
4. **Лялюк В.П.** Современные проблемы технологии доменной плавки: монография / **В.П. Лялюк** – Днепропетровск: Пороги, 1999. – 164 с.
5. **Лялюк В.П.** Выбор режимов доменной плавки на комбинированном дутье с оценкой параметров фурменной зоны / **В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский** // Черные металлы. 2003. – №11. – С. 13-16.
6. Теоретические и экспериментальные исследования доменной плавки / **Лялюк В.П., Кассим Д.А., Онопа В.Н., Донсков Е.Е.** – Кривой Рог: Дионат, 2016. – 621 с.
7. Влияние распределения дутья по фурмам на газовый поток в доменной печи / **Бугаев К.М., Антонов В.М., Варшавский Г.В.** и др. // Сталь. – 1987. – №2. – С. 17-22.
8. Влияние диаметра воздушных фурм на работу доменной печи объемом 5000 м³ / **Почекайло И.Е., Тарановский В.В., Петухов В.Н.** и др. // Metallurgical and Mining Industry. – 1988. – №2. – С. 6-8.
9. **Иванов Ю.В.** Газогорелочные устройства / **Ю.В. Иванов** – М.: Недра, 1972. – 276 с.
10. **Товаровский И.Г.** Эволюция доменной плавки / **И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк** // Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.
11. **Давиденко А.М.** Новые методы изучения действующих производств и их возможности / **А.М. Давиденко, М.Д. Кац** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №6. – С.189-193.
12. **Кац М.Д.** Математическое моделирование и оптимизация технологического режима доменной плавки по информации, фиксируемой в режиме нормальной эксплуатации / **М.Д. Кац, А.М. Давиденко** // Metallurgical and Mining Industry. – 2007. – №3. – С. 15-20.
13. **Грачев Ю.М.** Новый подход к решению задачи повышения эффективности доменной плавки одновременно по удельному расходу кокса и производительности / **Ю.М. Грачев, М.Д. Кац, А.М. Давиденко** // Metallurgical and Mining Industry. – 2008. – №5. – С. 142-145.
14. **Коробов В.И.** Статистические исследования доменного процесса / **В.И. Коробов** – М.: Metallurgy, 1977. – 184 с.
15. Об увлажнении дутья в доменной плавке / **Лялюк В.П., Тараканов А.К., Кассим Д.А.** и др. // Сталь. – 2017. – №8. – С. 7-12.

Рукопись поступила в редакцию 06.02.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, «ГДД МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»

ГЕОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕЖ МОЖЛИВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ УКОСІВ УСТУПІВ ДЛЯ СИМЕТРИЧНОГО ЇХ ПІДРИВАННЯ

У статті аналізуються геомеханічні умови, за яких вибухове руйнування кристалічних порід здійснюється за допомогою взаємодії свердловинних зарядів. Це враховує суперпозицію вибухових хвиль, що розходяться від різних рядів свердловин і відбиваються від поверхонь уступів. Крім того, розроблений автором метод відрізняється від традиційних тим, що укоси вибухових блоків формуються не похилими – а вертикальними. Застосування вертикальних (субвертикальних) укосів спонукало автора провести також дослідження можливих геомеханічних ризиків розробленого рішення, що було виконано графоаналітичним методом.

Мета. Основною метою дослідження є визначення геомеханічних факторів, що впливають на стійкість породних уступів з вертикальними укосами. Присвячене воно вирішенню актуального питання зниження питомої витрати вибухових речовин на руйнування гірських порід шляхом зміни порядку виконання вибухових робіт. Це враховує напружено-деформований стан гірського масиву при руйнуванні його в умовах симетричного підривання.

Методами дослідження є аналіз геологічних даних по залізрудних родовищ Кривбасу, проектної документації, даних виробничої діяльності гірничих підприємств і кар'єрів, наукових публікацій, їх подальший аналіз і обґрунтування розроблених положень.

Досліджено особливості формування та зміни стану вертикальних укосів на блоках гірських порід для реалізації симетричної дії вибуху. Для теорії і практики вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів при підриванні вибухових свердловин в умовах авторського методу. Вибираючи величину вибухового імпульсу в кожному зі взаємодіючих зарядів вибухових речовин, можна регулювати процес руйнування масиву в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов БВР. Ця технологія є можливою тільки при формуванні стійких вертикальних укосів уступів.

Оригінальність полягає в тому, щоб визначити комплексний підхід до вирішення зазначеної проблеми і ряду технічних рішень.

Практичне значення. Подальший розвиток й упровадження результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізородних продуктів за рахунок підвищення ефективності бурових і вибухових робіт в кар'єрі.

Висновки. За певних геологічних та геомеханічних умов раціональним є виконання вибухових робіт за допомогою взаємодіючих свердловинних зарядів різної потужності і в той же час першим ініціювати заряд меншої потужності, як це запропоновано в методах буропідривних робіт, розроблених авторами.

Ключові слова: породні блоки, вибухове руйнування, кар'єр, поверхня уступу, вибухові роботи, симетричне підривання.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-70-75

Постановка проблеми. Традиційні методи ведення вибухових робіт в кар'єрах об'єднує те, що уступ гірських порід найбільш нерівномірно руйнується в зоні, прилеглої до укосу, в результаті чого утворюється гірнична маса з найбільш неоднорідною кускуватістю [1-3]. Винятково складний напружено-деформований стан породного масиву в цій частині при взаємодії свердловинних зарядів, що підриваються в першому і другому рядах, є однією з головних причин неконтрольованого виходу негабаритної фракції при виконанні вибухових робіт, що негативно позначається на техніко-економічних показниках всього гірничодобувного виробництва, тому пошук шляхів вирішення даного завдання є вельми актуальним [2-5], так як у свою чергу сприяє вирішенню проблеми підвищення ефективності буропідривних робіт.

Як показує аналіз останніх досліджень з теорії вибухового руйнування кристалічних масивів і практики БВР, одним з найменш досліджених теоретично і невіршених практично питань є нерівномірний вплив на формування вибухом навантаження крайової частини уступу, оптимізувати що є можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих зарядів ВР приконтурних рядів [4-7]. У зв'язку з цим в дослідження закладалася ідея можливості цільового використання динамічних ефектів, що проявляються при взаємодії свердловинних зарядів, для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з нею, а саме: заряди першого ряду свердловин ініціюються після підривання зарядів другого, утворюючи завдяки сприятливій суперпозиції вибухових хвиль більш оптимальну динамічну зону відповідно до конкретних умов. Крім того, розроблений автором метод відрізняється від традиційних тим, що укоси вибухових блоків формують не похилими, а вертикальними.

Викладення матеріалу досліджень. Застосування вертикальних (субвертикальних) укосів уступів змусило автора виконати також дослідження можливих геомеханічних ризиків розробленого рішення, що було виконано графоаналітичним методом.

Насамперед виконувався аналіз залежності стійкості укосу уступу від просторової орієнтації системної тріщинуватості та шаруватості породного масиву.

Як відомо [8-11], стійкість укосів уступів та бортів кар'єрів, складених скельними породами, визначається силами молекулярного зчеплення і кутом внутрішнього тертя у моноліті та по поверхнях ослаблення (тріщини, контакти шарів гірських порід з різними фізико-механічними властивостями). Основним фактором, який впливає на стійкість укосів, є структурне порушення законтурного масиву, так як тріщинуватість є невід'ємною властивістю скельних порід.

Відомо, що іноді при стійкому стані всього борта кар'єру спостерігаються деформації окремих уступів. Локальні їх обвалення спостерігаються у вигляді плоского сковзання поверхнями ослаблення природного походження: тріщини, контакти шарів порід, тектонічні порушення. Розміри цих порушень часто є сумірними з висотами уступів, тому за певних умов є небезпечними.

Вивчення інтенсивності складчастості та тріщинуватості породного масиву дозволяє визначити коефіцієнт структурного ослаблення λ , який знижує опір масиву на зріз у порівнянні з опором у зразку. Від вибору значення коефіцієнта структурного ослаблення міцно-

сті масиву залежить кінцевий результат визначення кутів укосів уступів і бортів кар'єру при проектуванні, а також достовірність оцінки ступеня їхньої стійкості.

За даними натурних випробувань Г.Л. Фісенка [12], встановлено емпіричну залежність $C_m = C(1 + \lambda \ln H/l_i)^{-1}$, де C і C_m – молекулярне зчеплення гірської породи у зразках і масиві відповідно; λ – коефіцієнт структурного ослаблення, який залежить від характеристики тріщинуватості; H/l_i – відношення висоти товщі порід до середніх розмірів елементарних структурних блоків.

Для оцінки ступеня стійкості укосів породних оголень враховують: щільність гірських порід γ , кг/м³; кут внутрішнього тертя ρ , градус; коефіцієнт молекулярного зчеплення порід C , Па (табл. 1). Нами використовувались усереднені значення міцнісних властивостей з урахуванням коефіцієнта структурного ослаблення для показників зчеплення і пористості та водопоглинення – для щільності відповідних порід.

Таблиця 1

Розрахункові фізико-механічні властивості гірських порід кар'єру «Північний»

Породи	Стратиграфічний індекс	Фізико-механічні властивості			Природна вологість, %	Пористість, %	λ , відносл. од.
		γ , кг/м ³	ρ°	C_m , МПа			
Кварцити гідрогематит-мартитові	sx ^{4f}	3360	30-31	0,362	0,06	3,3	3
Сланці серицит-хлоритові	sx ^{4s}	2810	29-30	0,378	0,05	3,9	2
Сланці тальк-карбонатні, тальк-хлоритові	sk ₃	2840	45-47	0,06	0,04	3,73	3
Сланці кварц-філітові	sk ₂	2850	23-25	0,013	0,02	2,68	4
Пісковики аркозові	sk ₁	2660	30-32	0,0331	0,02	2,95	2

Для оцінки стійкості субвертикального укосу розглянуто основні можливі випадки падіння шаруватості порід відносно горизонту (рис. 1).

Графоаналітичні дослідження можливості застосування субвертикальних укосів породних уступів для умов кар'єру Північний ВАТ Укрмеханообр проведено з урахуванням рекомендацій [8-12]. Так, при визначенні максимальної висоти укосу, згідно [12] використано схеми I і II.

Схему I рекомендовано до застосування для розрахунку висоти вертикального укосу з відносно сприятливими умовами залягання поверхонь ослаблення: падіння – в масив, вертикальне і горизонтальне залягання, падіння – в бік виробленого простору при $\beta < \rho$. (ситуації а, б, в і г на рис. 1).

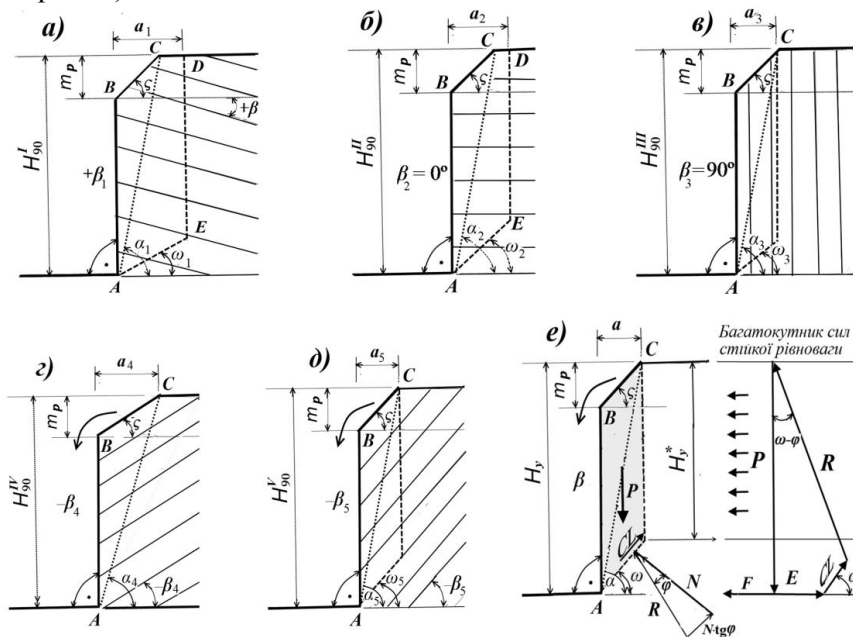


Рис. 1. Розрахункові схеми стійкості укосів відповідно просторової орієнтації шаруватості порід: а – падіння в бік масиву; б – горизонтальне; в – вертикальне; г – пологіше падіння в бік виробленого простору; д – круте падіння в бік виробленого простору. а – товщина потенційної призми сповзання; m_p – товщина шару породи, порушеного підірванням верхнього уступу ($m_p \approx l_{перевороту}$); α – результуючий кут укосу; ω – кут сповзання; β – кут падіння шарів (тріщин) породи

Розрахунок максимальної висоти вертикального укусу за схемою I здійснюється за формулою

$$H_b = \frac{2 \cdot k_n}{\gamma} \cdot \operatorname{tg} \omega_n \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sigma_{\rho n}}{k_n} \cdot \operatorname{tg} \omega_n} \right),$$

де k_n – розрахункове зчеплення т/м²; γ – питома маса, Н; $\omega_n = (45 + \rho_n/2)$; $\sigma_{\rho n} = 2 k_n \operatorname{ctg}(45 - \rho_n/2)$.

Схему II рекомендовано до застосування для розрахунку висоти вертикального укусу з несприятливими умовами залягання поверхонь ослаблення: падіння – в бік виробленого простору при $\beta > \rho$. (Ситуації δ на рис. 1). Розрахунок максимальної висоти вертикального укусу за схемою II проводиться за формулами

$$H'_b = h'_n + \sqrt{\frac{2\sigma_{\rho n} \cdot h'_n}{\gamma} \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg}(\beta - \rho'_n)}, \quad h'_n = \frac{k'_n \cos \rho'_n}{\gamma \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \rho'_n)}$$

Результати розрахунків максимальної висоти вертикального укусу для основних гірських порід, що складають масив бортів кар'єру Північний ВАТ «Укрмеханобр», за схемою I (сприятливі умови просторового положення поверхонь ослаблення) наведено в таблиці 2 для базового КЗС = 1,30, тобто для укусів неробочого борту, яким до 10 років, і для укусів неробочого борту, яким вже понад 10 років.

Таблиця 2

Максимально допустима висота вертикального укусу в гірських породах

КЗС	Щільність гірських порід γ , Н	Кут внутрішнього тертя ρ , градус	Коефіцієнт молекулярного зчеплення порід C , Па	Розрахунковий питомий опір відриву порід $\sigma_{\rho n}$, т/м ² .	w_n	H_b , м
в кварцитах гідрогематит-мартитових, КЗС = 1,30						
1,30	33600	30	362000	842647	1	79
в сланцях серицит-хлоритових, КЗС = 1,30						
1,30	28100	29	378000	867180	1	96
в сланцях тальк-карбонатних, тальк-хлоритових, КЗС = 1,30						
1,30	28400	45	60000	175878	1	23
в сланцях кварц-філітових, КЗС = 1,30						
1,30	28500	23	13000	27373	1	3
в пісковиках аркозових, КЗС = 1,30						
1,30	26600	30	33100	77049	1	9
в кварцитах гідрогематит-мартитових, КЗС = 2,00						
2,00	33600	30	362000	842647	1	40
в сланцях серицит-хлоритових, КЗС = 2,00						
2,00	28100	29	378000	867180	1	49
в сланцях тальк-карбонатних, тальк-хлоритових, КЗС = 2,00						
2,00	28400	45	60000	175878	1	10
в сланцях кварц-філітових, КЗС = 2,00						
2,00	28500	23	13000	27373	1	2
в пісковиках аркозових, КЗС = 2,00						
2,00	26600	30	33100	77049	1	5

Розрахунки для несприятливих умов з падінням поверхонь ослаблення убик виробленого простору виконано за допомогою імітаційного моделювання, на підставі чого отримано аналітичні залежності максимальної висоти вертикального укусу від кута падіння поверхонь ослаблення. Результати розрахунків представлено в таблицях 2, 3, графіки отриманих кривих – на рис. 2-6.

Залежність максимально допустимої висоти вертикального укусу та КЗС від характеристик порід

№№ графіків	КЗС	γ , Н	ρ , град.	C , Па	σ_{pn} , т/м ² .	h_n	β , град.	H_b
1	2	3	4	5	6	7	8	9
в кварцитах гідрогематит-мартитових								
1	1,30	33600	30	36200	84265	3÷48	31÷87	8÷44
в сланцях серицит-хлоритових								
2	1,30	28100	29	37800	86718	3÷30	30÷87	10÷79
в сланцях тальк-карбонатних, тальк-хлоритових								
3	1,30	28400	45	6000	17588	1÷9	46÷89	2÷31
в сланцях кварц-філітових								
4	1,30	28500	23	6500	13686	0÷10	24÷89	1÷24
в пісковиках аркозових								
5	1,30	26600	30	6620	15410	1-11	31-89	2-29
в кварцитах гідрогематит-мартитових								
6	2,00	33600	30	36200	84265	1-16	31-87	4-35
в сланцях серицито-хлоритових								
7	2,00	28100	29	37800	86718	2-19	30-87	5-43
в сланцях тальк-карбонатних, тальк-хлоритових								
8	2,00	28400	45	6000	17588	0-6	46-89	1-16
в сланцях кварц-філітових								
9	2,00	28500	23	6500	13686	0-7	24-89	1-13
в пісковиках аркозових								
10	2,00	26600	30	6620	15410	0-7	31-89	1-16



Рис. 2. Графіки № 1 і № 6
(в кварцитах гідрогематит-мартитових)



Рис. 3. Графіки № 2 і № 7
(в сланцях серицит-хлоритових)

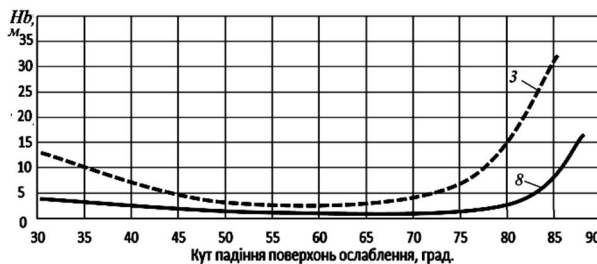


Рис. 4. Графіки № 3 і № 8
(в сланцях тальк-карбонатних, тальк-хлоритових)



Рис. 5. Графіки № 4 і № 9 (в сланцях кварц-філітових)

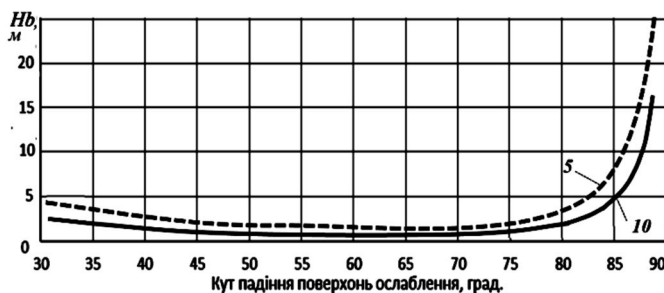


Рис. 6. Графіки № 5 і № 10 (в пісковиках аркозових)

Висновки:

1. Аналізом наукових досліджень виявлено, що головним фактором дроблення скельних гірських порід для умов застосування існуючих промислових ВР, як правило, є пружні хвилі. В той же час, при застосуванні розробленої автором технології підривання породних масивів з диференційованим їх енергонасичен-

ням взаємодіючими комбінованими різнотипними свердловинними зарядами виключно важливого значення набуває кут нахилу укосу уступу.

2. В кристалічних породах з вираженою системною тріщинуватістю при проектуванні БВР необхідно враховувати акустичну анізотропію середовища, що забезпечує додаткові можливості регулювання гранулометричного складу підірваної гірничої маси й більш раціонального і повного використання енергії ВР.

3. Виконані експериментальні дослідження швидкості й поведінки вибухових пружних хвиль в гірських породах кар'єру «Північний» ГЗК «Укрмеханобр», а також широкі лабораторні дослідження властивостей гірських порід в межах їх міцності $f=6-14$, підтвердили робочу гіпотезу про значимість хвильової частки в загальному виділенні енергії вибуху, а відтак і можливість й ефективність створення умов для симетричної дії вибуху за умови формування вертикальних укосів уступів.

4. На основі теоретичних досліджень уперше запропоновано новий порядок вибухового навантаження породного блоку, з випереджаючим послідовним підірванням зарядів ВР у парних (рахуючи від укосу) рядах, чим створюється відбиваюча хвиля щілина – майбутній вертикальний укіс уступу, й знеміцнюється прилеглий масив, з наступним підірванням через уповільнення зарядів рихлення в непарних рядах у бік укосу уступу.

5. Розрахунки для різних умов падіння поверхонь ослаблень порід щодо виробленого простору виконано за допомогою імітаційного моделювання, на підставі чого отримано аналітичні залежності максимальної висоти вертикального укосу та коефіцієнта запасу стійкості (КЗС) від кута падіння поверхонь ослаблення.

Список літератури

1. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. - М.: Недра, 1983. - 344 с.
2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
3. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
4. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
5. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. - М.: Недра, 1993. - 144 с.
6. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - Київ: МПТУ. -2008.- 702с.
7. Открытые горные работы: Спр. / К.Н.Трубецкой, М.Г. Потапов, Н.Н. Мельников и др. - М.: Горное бюро, 1994. - 590 с.
8. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. - М.: Издательство МГТУ, 2003. - 473с.
9. Попов В.Н., Байков Б.Н. Технология отстройки бортов карьеров. - М., Недра, 1991. - 250 с.
10. Зотеев В.Г. Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах: Сб. научн. тр. - Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987.- №83.- С. 8-15.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір. МСП 03680 / В.О. Півень, Д.М. Шпирок, О.В. Романенко, Є.Я. Бехлер, С.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко. - № 18720; Заявл. 03.10.06; Зареєстр. 22.11.06.
12. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Недра, 1965. - 378 с.

Рукопис подано до редакції 20.04.2018

УДК 622.14

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.А. ПОДОЙНИЦЫНА, ст. преп., Криворожский национальный университет

ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ И ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Цель. В статье рассматривается вопрос о применимости статистической теории информации для задач геометризации месторождений. Целью работы является описание закономерности размещения важнейших качественных показателей в пространстве с тем, чтобы спрогнозировать их изменение в процессе развития горных работ. Важнейшим аспектом геометризации является горно-геометрическое прогнозирование качественных показателей и решение заданных перспективного и текущего планирования для максимально эффективной работы горнодобывающего предприятия в режиме усреднения качества руды и рационального освоения месторождения.

Методы исследования. Данные исследования базируются на концепции проф. П.К.Соболевского о геометри-