УДК 622.271.3 https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.018

© Б.Ю. Собко[1], О.В. Ложніков[1], Г.В. Барабицька[2]
[1] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
[2] ТОВ "Єристівський ГЗК", Горішні Плавні, Україна

ПЛАНУВАННЯ СЕЛЕКТИВНОЇ РОЗРОБКИ РУДНИХ РОЗВАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ЄРИСТІВСЬКОГО ГЗК

© B. Sobko[1], O. Lozhnikov[1], G. Barabitskaya[2]
[1] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
[2] FERREXPO Yeristovo Mining, Horishni Plavni, Ukraine

PLANNING OF ORE SHOTPILE SELECTIVE MINING BY THE GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE CONDITION OF THE FERREXPO ERISTOVO MINING

Мета. Розробити методичні рекомендації з прогнозування зміщення контурів руди в розвалі після вибуху для планування селективної розробки рудної сировини при розробці залізорудних кар'єрів.

Методика дослідження. Фактичні виміри поверхонь застосовувалися для визначення коефіцієнту розпушування по окремих перетинах розвалів гірничої маси, аналітичним методом проведені розрахунки площин перетинів вибою до і після вибуху, методом графічного підбору визначалися прогнозі положення контурів залізної руди у розвалі кар'єру в умовах Єристівського ГЗК.

Результати дослідження. Встановлено, що коефіцієнт розпушування породи є змінним в окремих частинах рудного блоку та може використовуватись для визначення прогнозного положення контуру руди. Основна відмінність запропонованого методу прогнозування від існуючих полягає у встановленні очікуваного положення контакту порід і геологічних маркерів на місцевості, які дозволять у штатному режимі контролювати розробку вибою представником геологічного відділу. Впровадження запропонованого методу передбачає незначні зміни в організаційному процесі при плануванні таких робіт без залучення додаткового обладнання та програмного забезпечення.

Наукова новизна. Встановлено залежність прогнозного положення контуру руди у розвалі гірничої маси від методу фактичної зйомки поверхні «до» та «після» вибуху при виконанні геометричних побудов. Встановлено, що величина коефіцієнту розпушування в межах одного блоку, при розробці залізорудного родовища, залежить від геологічних і технологічних факторів та знаходиться в межах від 2,2 до 1,45.

Практичне значення. Розроблено методику визначення положення контуру руди у розвалі гірничої маси. Встановлена можливість використання прогнозного положення контуру руди для планування селективної розробки рудних розвалів. Очікуваний економічний ефект від запропонованих рішень досягається за рахунок зменшення витрат на переробку порід скельного розкриву та некондиційної руди при потраплянні їх на дробарку з причин помилкової класифікації під час селективній розробці рудних розвалів.

Ключові слова: *відкрита розробка, залізна руда, розвал, селективна розробка, коефіцієнт розпушування, порода.*

Актуальність. Розробка західного та східного бортів кар'єру Єристівського ГЗК супроводжується певним переліком складних завдань, вирішення яких можливе за рахунок селективної розробки рудних покладів. Актуальність проблеми посилюється тим, що зміщення контурів рудного тіла на бортах кар'єру може бути занадто суттєвим, тому оперативне оновлення достовірної інформації про якість корисної копалини в розвалі після вибуху впливає на ефективність роботи виймально-навантажувального устаткування.

При підриванні гірського масиву в незамкненому середовищі виникають особливі умови формування розвалу. Спостерігається значний винос гірничої маси у відпрацьований простір, а ширина розвалу може сягати сотен метрів, що ускладнює його подальшу розробку. Як наслідок існує брак актуальної інформації для гірничих інженерів щодо положення лінії контакту порід після вибуху, тобто контури рудного тіла зміщуються у просторі на невизначену відстань. Рішенням цієї проблеми може бути або обмеження зсуву гірничої маси, або розробка методики прогнозування зміни положення контактів порід після вибуху. Це дозволить підвищити ефективність селективної розробки розвалів на залізорудних кар'єрах за рахунок підвищення якості вилучення балансових запасів.

Аналіз досліджень. Огляд літературних джерел дозволив виявити два принципово різних підходи до прогнозуванні розподілення гірничої маси в розвалі. Перший базується на зв'язках між параметрами вибуху, фізичними властивостями породи, структурою уступу та геометричними параметрами розвалу і характером розподілу підірваної маси у масиві, а другий – на фактичних вимірах просторового переміщення гірничої маси. В обох випадках результатом аналізу є уточнення блокової моделі уступу після вибуху.

У роботі [1] за мету ставиться створення та обґрунтування нових методів керування енергією заряду при короткоуповільненому підриванні, які б дозволили підвищити використання енергії вибуху на роздроблення гірничої маси та отримання необхідної фрагментації. Досить детально вивчаються процеси, що виникають під час вибуху та їх накладання, які залежать від інтервалу уповільнення. Припускається, що від інтервалу уповільнення буде змінюватися характер взаємодії цих процесів та, як наслідок, результат вибуху. Але всі дослідження зводяться до винаходу способів отримання необхідної фрагментації порід без будь-якого посилання на можливість керування формою та шириною розвалу.

У роботі [2] зазначено, що при моделюванні формування структури розвалу гірських порід під впливом вибуху ґрунтується на геометричній подібності та формі розвалу і його внутрішній структурі. Така подібність забезпечується зв'язком коефіцієнта розпушення з шириною і висотою розвалу. Тобто на основі розроблених геоінформаційних моделей розвалу при буровибухових роботах та спостережень за експериментальними вибухами складено загальну схему розташування частин уступу у розвалі при відбійці вертикальними свердловинами. Зазначається також, що коефіцієнт розпушування описується дивергенцією, яка при застосуванні до вектору деформації формує просторове розширення, тобто скаляр. При застосуванні відповідних рівнянь знаходять переміщення у просторі

умовної точки М на різних стадіях деформації масиву та відбудовують геометрію внутрішньої структури розвалу.

Проблему прогнозування розподілу твердої фази після вибуху найбільш детально розглянуто у роботі [3]. Зокрема метою роботи визнається побудова об'ємної математичної моделі розвалу буровибухового блоку та розподілу вмісту корисного компоненту у підірваній масі, яка б відображала залежності процесу від максимально можливої кількості природно-технологічних факторів. Для побудов використовується розрахункова сітка, якою буровий блок поділяється взаємно перпендикулярними площинами на елементарні умовні частини (блокова модель) та розглядається взаємодія між цими фрагментами у різні проміжки часу. Реалізація математичної моделі виконується на базі комплексу ГІС «ГЕОМІКС».

У роботі [4] представлено методичний комплекс рішень з дослідження розподілення гірничої маси у розвалі, які базуються на використанні цілої системи слідкування: датчики, детектори, програмне обладнання для інтерпретації та моделювання, що повторно визначає контури руди після вибуху та розраховує вартість видобутої руди, засмічення та помилкової класифікації. Завдяки зазначеним інструментам можливо отримати найбільш точну інформація щодо розподілення руди у розвалі.

Встановлення невирішених проблем. Аналіз існуючих науково-дослідних робіт дозволив встановити, що запропоновані в них методи для вирішення такої задачі здебільшого є витратними у контексті ресурсної бази. В першу чергу їх реалізація передбачає використання складного математичного апарату для розрахунків, а, відповідно, і програмних модулів для їх виконання. До того ж залучення додаткового обладнання не гарантує досягнення очікуваного результату. Однак, деякі із розглянутих методів можуть цілком виправдовувати додаткові витрати за певних умов. Основна з них полягає у необхідності чіткого розуміння конструктивного запланованого результату, який в умовах розробки кар'єру Єристівського ГЗК полягає у встановленні положення контуру рудного тіла у розвалі гірничої маси без залучення додаткових технологічних засобів.

Постановка задач. Встановлення можливості використання геометричних побудов для знаходження прогнозного положення контуру руди у розвалі гірничої маси передбачає виконання наступних досліджень: проведення зйомки поверхні розвалу після вибуху, побудову декількох перетинів вхрест простягання контакту руди та породи, визначення коефіцієнту розпушування та знаходження прогнозного положення контуру руди методом графічного підбору за кожним з перетинів. Аналіз розбіжності прогнозного та фактичного положення контакту руди та порожньої породи дозволить зробити висновки про практичну цінність методу.

Вирішення поставлених задач дозволить розробити рекомендації щодо планування гірничих робіт при селективній розробці рудних розвалів.

Основний матеріал. Під час виконання досліджень основне завдання полягало у встановленні зв'язку між зсувом гірничої маси та коефіцієнтом розпушування. На відміну від робіт [2, 5] не ставилося за мету моделювання поверхні

розвалу та його геометрії з використанням формул. Для вирішення поставленої задачі використовувалися дані зйомки поверхні «до» та «після» вибуху для визначення коефіцієнту розпушування. Зазначені дослідження виконувалися з метою встановлення координати лінії контакту порід у розвалі гірничої маси. Адже саме ця інформація є найбільш актуальною для ефективного планування селективної розробки рудних розвалів.

Розглянувши декілька перетинів вздовж вектору найбільшого зсуву і отримуючи в кожному з них певний коефіцієнт, виникає можливість відстроїти геометрично та отримати положення контактів порід у розвалі. Тобто встановивши зазначені коефіцієнти можна спрогнозувати зміщення у просторі контакту порід. Запропонований геометричний метод досліджень базується на аналізі бурового блоку з відомими геометричними параметрами.

Додатково досліджується план розташування сітки свердловин буровибухових робіт, в кожній з яких за лабораторними даними наявна інформація за якісними показниками корисної копалини (КК). За цією інформацією встановлюється лінія контакту КК і порожньої породи. Лінія контакту координатно прив'язана до положення в цілику. Після вибуху аналізуються геометричні параметри розвалу гірничої маси шляхом проведення декількох перетинів вхрест простягання блоку в залежності від його довжини та форми. За відповідними перетинами визначаємо площу розвалу «до» та «після» вибуху.

Визначаємо декілька, в залежності від кількості перетинів, коефіцієнтів розпушування гірничої маси. Точність інформації напряму залежить від кількості проведених перетинів. Площину перетину до вибуху поділяємо на прямокутники з висотою, рівною висоті уступу та шириною, рівною ½ відстані між рядами свердловин (ВМР). Далі, маючи контур блоку після вибуху на конкретному перетині, а також положення свердловин, відстроюємо ці прямокутники в залежності від визначеного коефіцієнту розпушування. Проводимо цю операцію від цілікової частини в напрямку відкритого простору. При цьому приблизно може бути встановлена відстань, на яку змістився контакт порід в розвалі гірничої маси. Варто зазначити, що цей метод заздалегідь не може врахувати різницю між переміщенням порід у верхній та нижній частинах блоку. Похибку можна встановити лише експериментально, для чого потрібні статистичні дані саме по конкретному родовищу.

План проведення дослідження:

1. Проведення зйомки поверхні розвалу за допомогою прибору Leica GPS.
2. Обробка даних зйомки за допомогою ГІС Surpac Geovia:
- отримання цифрової тріангуляційної моделі поверхні розвалу;
- проведення декількох перетинів впоперек простягання досліджуваного блоку через рівні інтервали (для дослідження було обрано 5 перетинів);
- побудова для кожного перетину контурів блоку «до» та «після» вибуху;
- визначення коефіцієнту розпушування для кожного перетину;
- розрахунок і нанесення лінії контакту порід у контурі розвалу.
3. Зйомка фактичного положення лінії контакту порід послідовно, в ході розробки блоку.

4. Співставлення розрахункового положення контакту порід та фактичного.

Досліджуваний блок після вибуху представлений на рис. 1. Після проведення зйомки поверхні розвалу побудована цифрова тріангуляційна модель (ЦТМ) цієї поверхні. Накладання побудованої ЦТМ на поверхню блоку до вибуху представлено на рис. 2, а схема розташування перетинів розвалу на рис. 3.

Рис. 1. Фото досліджуваного блоку після вибуху

Вихідними даними для розрахунків прийнято дві поверхні «до» та «після» вибуху. Спочатку визначається площа кожної з них у контурі перетину 1-1 за допомогою інструментарію ГІС Surpac, незважаючи на можливу складність геометричних контурів. Тож площа перетину у цілику, що досліджується складає 295,08 м^2, у розвалі – 652,4 м^2. Маємо також інформацію про розташування свердловин у площі перетину. Перетин проведено поперек рядів свердловин, тож відстань між ними становитиме 7 м, за винятком похилих свердловин першого ряду, які розташовані ближче, ніж 7 м. Від кожної свердловини з обох сторін відбудовуємо умовні лінії на відстані 3,5м (1/2 відстані між рядами).

Отримуємо умовний блок висотою 15 м та шириною 7 м, свердловина при цьому розташована всередині з площею:

$$Ну \cdot в_1 = s_1ц, м^2, \quad (1)$$

де *Ну* – висота уступу, м; $в_1$ – ширина умовного блоку, м;

$$s_1ц = Ну \cdot в_1 = 15 \cdot 7 = 105, м^2,$$

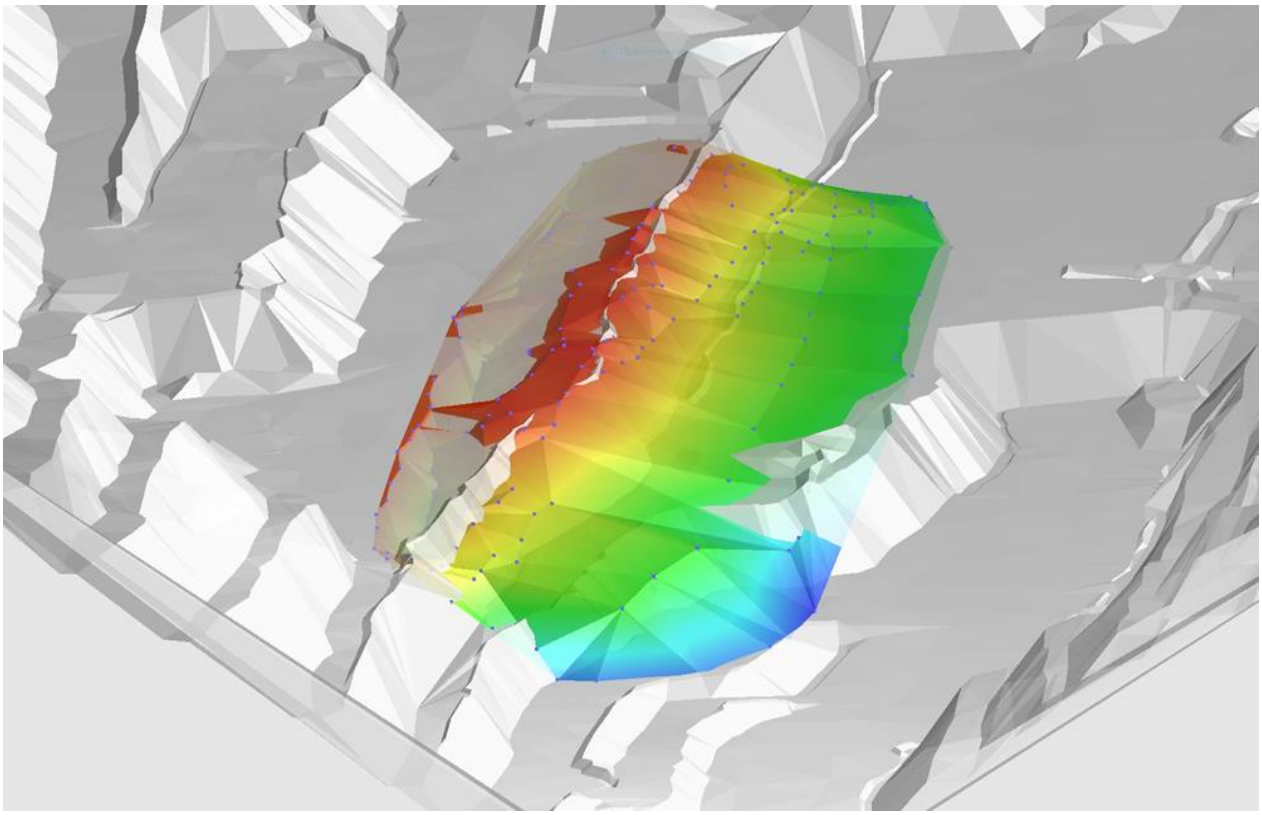

Рис. 2. Накладання ЦТМ розвалу на поверхню блоку до вибуху

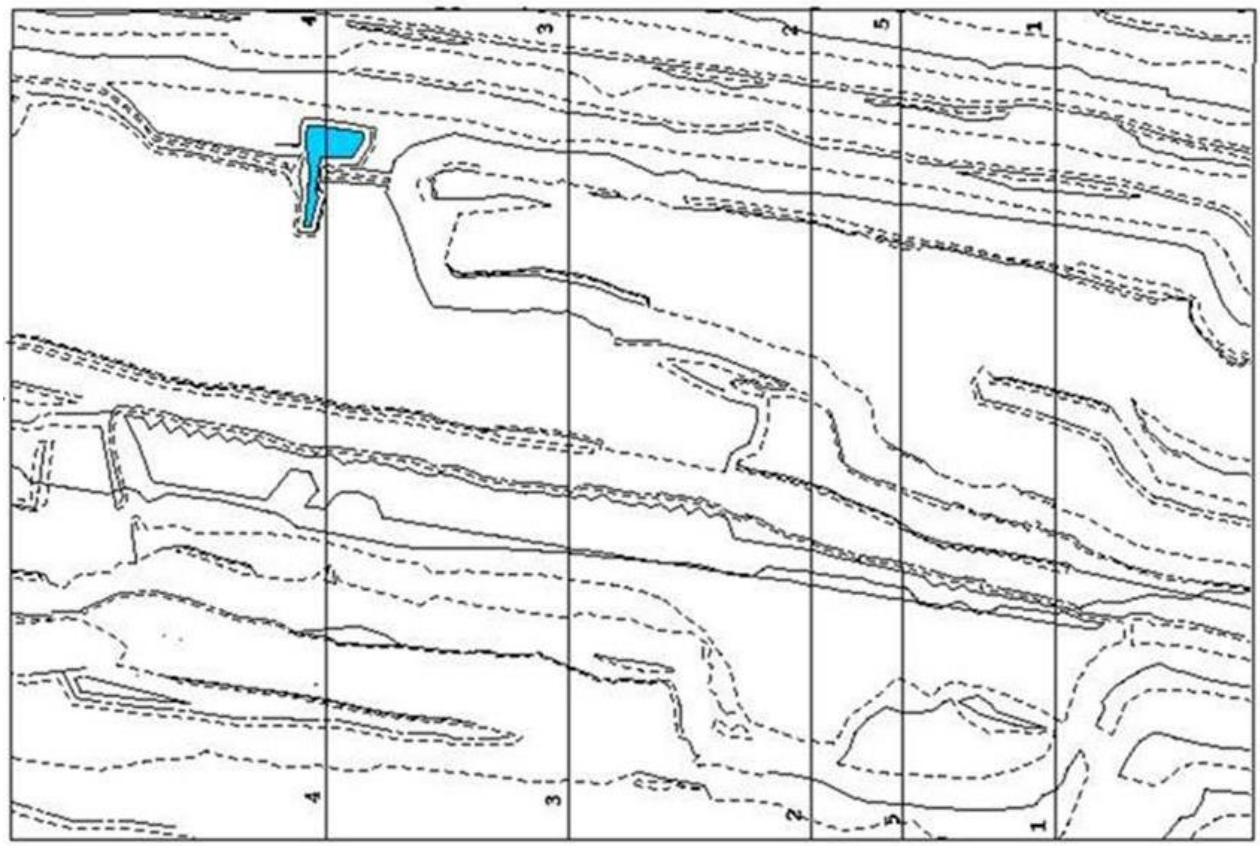

Рис. 3. Схема розташування перетинів

Для отримання площі цього блоку у розвалі, значення помножується на коефіцієнт розпушування - k_p:

$$k_p = S_p / S_ц = 652,4 / 295,08 = 2,2, \text{ од.} \quad (2)$$

де S_p та $S_ц$ – площа перетину у розвалі та у цілику відповідно.

$$s_{1ц} \cdot k_p = s_{1p}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

де $s_{1ц}$, $s_{1р}$ – площі першого блоку у цілику та у розвалі відповідно.

$$s_{1p} = s_{1ц} \cdot k_p = 105 \cdot 2,2 = 232,1, \text{ м}^2.$$

Таким чином за формулами (1 – 3) розраховуємо наступний блок перетину 2-2:

$$S_{2ц} = 8,15 \cdot 15 = 122,3, \text{ м}^2,$$
$$S_{2p} = 122,3 \cdot 2,2 = 269,0, \text{ м}^2,$$

Окремо визначаємо площу поверхні від останнього ряду свердловин (+ 3,5 м на формування лінії відриву) до лінії контакту порід у цілику.

$$s_k^ц = 115,75, \text{ м}^2.$$
$$s_k^p = s_k^ц \cdot k_p = 115,75 \cdot 2,2 = 254,65, \text{ м}^2.$$

Після розрахунку кількісних показників кожного блоку s_1p, s_2p, s_kp, переходимо до графічного підбору площин у контурі розвалу. Тобто моделюємо, куди змістилася межа першого блоку, щоб його площа дорівнювала розрахованій величині. Послідовно відбудовується кожний блок. Для перетину 5-5, як найбільш показового, геометричні побудови приведені на рис. 4.

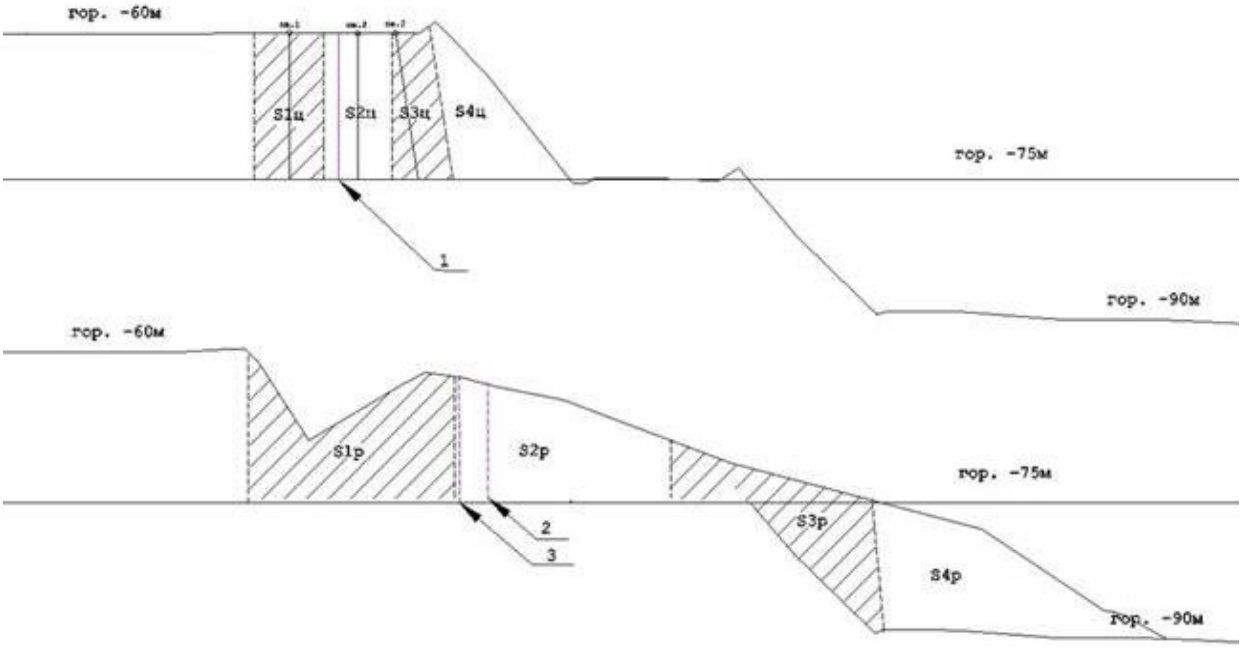

Рис. 4. Контур блоку БВР «до» та «після» вибуху на перетині 5-5:
1 – положення лінії контакту у цілику; 2 і 3 – розраховане і фактичне положення

Відповідно до формули (2), коефіцієнт розпушування становить 1,98. Площа до лінії контакту у цілику – 125,6 м^2, у розвалі – 248,7 м^2. На перетині простежується досить чітка та глибока лінія відриву, що свідчить про значне переміщення гірничої маси. Так, різниця між положенням лінії контакту порід у цілику та фактичним положенням складає 12 м, а різниця між розрахунковим та фактичним положенням – 2,9 м. Похибка на відстані 12 м складає 3 м або 25 %. Такий результат пояснюється в першу чергу похибкою у вихідних даних поверхні розвалу. Бажано, щоб зазначена зйомка проводилася безпілотним літаючим пристроєм з наступною обробкою маркшейдером. Якщо зйомка не є точною, як наслідок будуть спостерігатися розбіжності у розрахунку площин, що призведе до завищення показників коефіцієнта розпушування.

Оцінка впливу помилкової класифікації порід у розвалі на результати розробки блоку здійснюється на прикладі блоку, по якому було побудовано 5 перетинів і розраховане положення лінії контакту у розвалі. Також в окремих пунктах цього блоку було зафіксовано та інтерпольовано фактичну лінію контакту.

За основу прийнято контур до реального плану шихтовки. На рис. 5 відображено: план поверхні кар'єру; контур до плану шихтовки (ПШ); лінія контакту, що встановлена за лабораторними даними. Також сюди додається контур порожньої породи з некондиційною рудою, який відбудовано між лінією контакту у цілику, фактичною лінією контакту та ЦТМ розвалу блоку.

Теоретично контур до ПШ проведений за рудною частиною блоку вздовж лінії контакту. Оскільки відомо, що лінія контакту змістилася після вибуху, то за умови визначеної величини зміщення, на місцевості встановлюються маркери (кілки). Відповідно до них встановлюється положення руди із запланованими якісними показниками. В іншому випадку, коли маркери будуть виставлені за даними у цілику, частина некондиційної руди виявиться на перевантажувальних пунктах, що є небажаним.

Об'єм порожньої породи визначається в межах зазначеного вище контуру. Оскільки, цей контур встановлено при вимірах у розвалі, тому і об'єм розраховується, як об'єм між поверхнею розвалу та поверхнею горизонту, розташованого нижче (гор. -75м). По-перше розраховується об'єм в межах всього контуру, по-друге – об'єм порожньої породи. Об'єм руди визначається, як різниця між ними. Встановлено, що об'єм гірничої маси в межах контуру до ПШ дорівнює 71 730 м^3, а об'єм порожньої породи при цьому дорівнює 12 676 м^3. Наступним етапом розрахунків є встановлення об'єму у цілику з урахуванням коефіцієнту розпушування.

Оскільки в межах контуру було побудовано 3 перетини, в кожному з яких визначався kp, встановлюється середнє значення $kp_{ср}$:

$$kp_{ср} = (kp_1+kp_2+kp_5)/3 = (2{,}2+1{,}47+1{,}98)/3=1{,}88, \quad (4)$$

де kp_1, kp_2, kp_5 – коефіцієнти розпушування за першим, другим і п'ятим перетинами, відповідно.

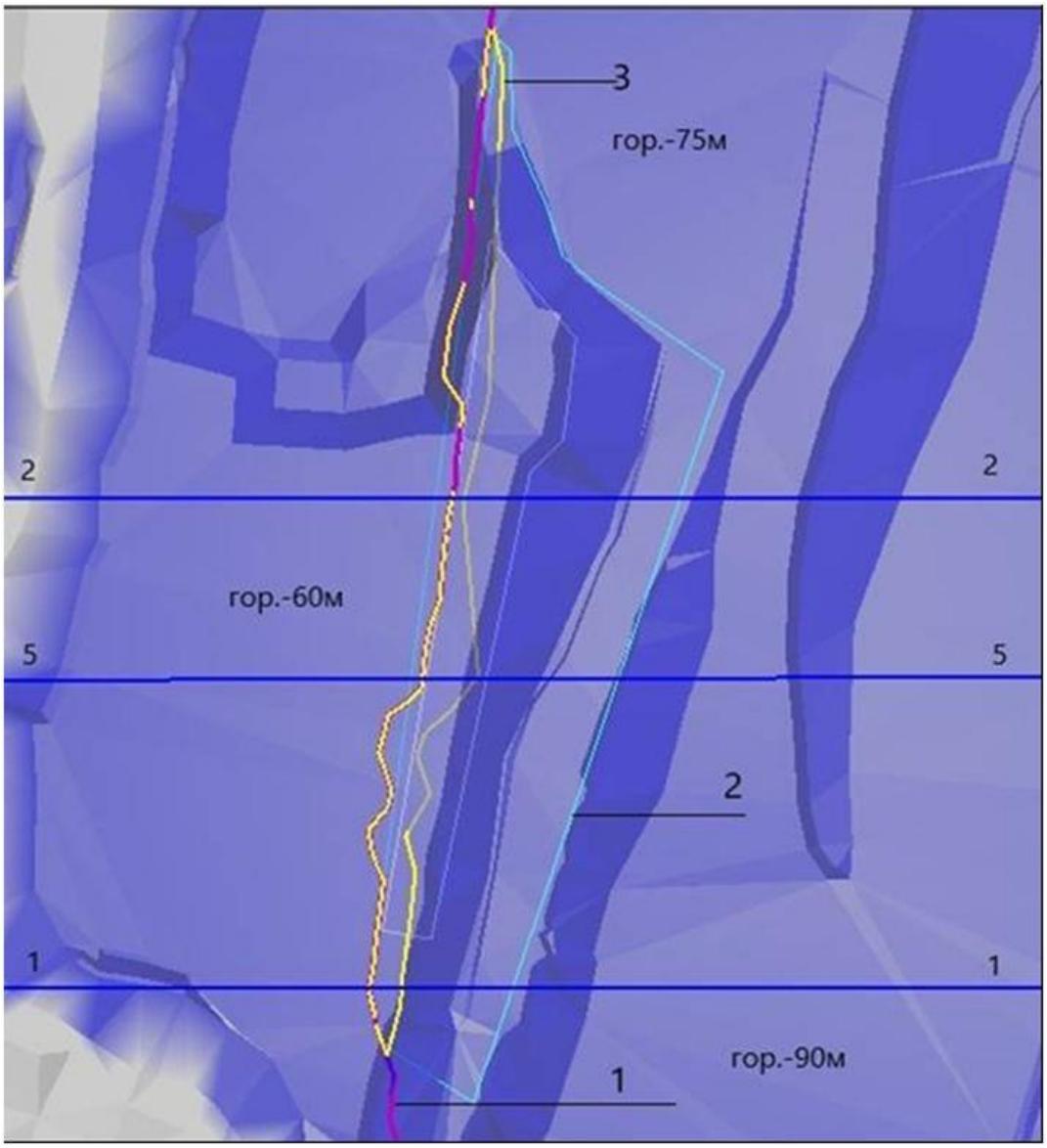

Рис. 5. Поверхня досліджуваного блоку у цілику: 1 – положення лінії контакту у цілику; 2 – контур ПШ; 3 – контур порожньої породи

Об’єм гірничої маси у цілику визначається відповідно до виразу:

$$Q_{гм}^{ц} = Q_{гм}^{р} / kp_{ср} = 71730/1{,}88 = 38154, \text{ м}^3, \quad (5)$$

де $Q_{гм}^{р}$ – об’єм гірничої маси у розвалі, м^3; $Q_{гм}^{ц}$ – об’єм гірничої маси у цілику, м^3.

Об’єм порожньої породи у цілику визначається:

$$Q_{пп}^{ц} = Q_{пп}^{р} / kp_{ср} = 12676 / 1{,}88 = 6742, \text{ м}^3, \quad (6)$$

де $Q_{пп}^{р}$ – об’єм порожньої породи у розвалі, м^3; $Q_{пп}^{ц}$ – об’єм порожньої породи у цілику, м^3.

Визначимо об’єм руди, який необхідно відвантажити з цього контуру:

$$Q_{кк}^{ц} = Q_{гм}^{ц} - Q_{пп}^{ц} = 38154 - 6742 = 31412, \text{ м}^3, \quad (7)$$

де $Q_{кк}^{ц}$ – об’єм корисної копалини у цілику, м^3.

Наступним кроком є встановлення відсоткового відношення руди та порожньої породи в межах контуру, шляхом приймання загального об'єму гірничої маси за 100%, відповідно до пропорції:

$$Q_{гм}^{ц} - 100\%;$$
$$Q_{пп}^{ц} - x.$$

Отримаємо:

$$x = Q_{пп}^{ц} \cdot 100 / Q_{гм}^{ц} = 6741 \cdot 100 / 38154 = 17{,}7, \ \%.$$

Звідси $Q_{кк}^{ц}$ складає 82,3 % від загального об'єму.

Виконані розрахунки дозволяють встановити якісні показники руди за умови, що переміщення лінії контакту після вибуху не враховується. Результати виконаних розрахунків наведені у таблиці.

Таблиця

Результати розрахунку якісних показників гірничої маси у межах контуру

Горизонт	%	Якісні показники			Результуюча якість			Об'єм,м^3
		Fe_O	Fe_M	Fe_{Con}	Fe_O^p	Fe_M^p	Fe_{Con}^p	
-75м – порожня порода	17,7	22,5	4,1	64,6	**34,4**	**23,6**	**65,1**	6 742
-75м – руда	82,3	37,0	27,8	65,2				31 412
Всього:	100	–	–	–	–	–	–	38 154

Відповідно до результатів розрахунків, наведених у табл.1, встановлено, що заплановані якісні показники гірничої маси у межах контуру становлять: вміст заліза загального (Fe_O) дорівнює 37,0 %, заліза магнетитового (Fe_M) – 27,8 %, заліза у концентраті (Fe_{Con}) – 65,2%.

Висновки. Встановлено, що величина коефіцієнту розпушування в межах одного блоку є різною, залежить від багатьох факторів і може коливається від 2,2 до 1,45. Для його встановлення необхідно проводити розрахунки за перетинами через певні відстані, що доводить зв'язок коефіцієнту розпушування з очікуваним положенням лінії контакту. Точність зйомки поверхні розвалу, безпосередньо впливає на коректність величини цього коефіцієнту.

Впровадження запропонованого методу передбачає незначні зміни в організаційному процесі при плануванні таких робіт без залучення додаткового обладнання та програмного забезпечення. Послідовність виконання робіт залежить від складності контуру блоку та від його довжини, адже вони впливають на необхідну кількість перетинів. Основна відмінність від існуючих методів полягає у встановленні очікуваного положення контакту порід і геологічних маркерів на місцевості, які дозволять у штатному режимі контролювати розробку вибою представником геологічного відділу.

Очікуваний економічний ефект від запропонованих рішень досягається за рахунок зменшення витрат на переробку порід скельного розкриву та некондиційної руди при потраплянні їх на дробарку з причин помилкової класифікації під час селективній розробці рудних розвалів. При мінімальних витратах у вигляді незначних організаційних змін під час планування забезпечується додержання якісних показників, зменшення ризиків та небезпек при геологічних роботах, а також підвищується ефективність системи робіт з короткострокового планування у розвалі гірничої маси.

Перелік посилань

1. Ткачук. К.Н., & Тверда. О.Я. (2015). *Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах. Монографія*. Основа.
2. Лаптев, Ю.В., Кантемиров, В.Д., & Яковлев, А.М. (2014). *Компьютерное моделирование развала горной массы при селективной разработке.* https://www.gramota.net/materials/1/2014/5-6/27.html
3. Жиляков, Е.Г., & Кабелко, С.Г. (2010). Математическая модель развала буровзрывного блока и распределения содержания полезного компонента во взорванной горной массе. *Научные ведомости, 1*(72)
4. *Blast movement monitoring* (n.d.). https://blastmovement.com
5. Арагонян Г.А. (2018). Моделирование процесса перемещения и формирования развала взорванной горной массы при взрыве в трещиноватой среде. *Весник НПУА. Металлургия, материаловедение, недопользование, 1*, 84-93.

АННОТАЦИЯ

Цель. Разработать методические рекомендации по прогнозированию смещения контуров руды в развале после взрыва для планирования селективной разработки рудного сырья при разработке железорудных карьеров.

Методика исследования. Фактические измерения поверхностей применялись для определения коэффициента разрыхления по отдельным сечениям развалов горной массы. Аналитическим методом проведены расчеты плоскостей сечений забоя до и после взрыва. Определение прогнозного положения контуров железной руды в развале выполнялось методом графического подбора.

Результаты исследования. Установлено, что коэффициент разрыхления породы является переменным в отдельных частях рудного блока и может использоваться для определения прогнозного положения контура руды. Основное отличие предложенного метода прогнозирования от существующих, состоит в установлении ожидаемого положения контакта пород и геологических маркеров на местности, которые позволят в штатном режиме контролировать разработку забоя представителем геологического отдела. Внедрение предложенного метода предполагает незначительные изменения в организационном процессе при планировании таких работ без привлечения дополнительного оборудования и программного обеспечения.

Научная новизна. Установлена зависимость прогнозного положения контура руды в развале горной массы от метода фактической съемки поверхности «до» и «после» взрыва при выполнении геометрических построений. Установлено, что величина коэффициента разрыхления в пределах одного блока, при разработке железорудного месторождения, зависит от геологических и технологических факторов и находится в пределах от 2,2 до 1,45.

Практическое значение. Разработана методика определения положения контура руды в развале горной массы. Установлена возможность использования прогнозного положения контура руды для планирования селективной разработки рудных развалов. Ожидаемый экономический эффект от предложенных решений достигается за счет уменьшения затрат на переработку пород скальной вскрыши и некондиционной руды при попадании их на дробилку по причине ошибочной классификации при селективной разработке рудных развалов.

Ключевые слова: *открытая разработка, железная руда, развал, селективная разработка, коэффициент разрыхления, порода*

ABSTRACT

Purpose. Develop method for predicting the displacement of ore contours in the shotpile after the explosion to planning the ore raw materials selective mining at the development of iron ore quarries.

Research methodology. Actual surface measurements were used to determine the loosening coefficient for individual sections of rock mass collapse. The analytical methods were used to calculate the planes of the face sections before and after the explosion. Determination of the predicted position of the contours of iron ore in the shotpile was performed by the method of graphical selection.

The results. It is established that the loosening coefficient of the rock is variable in individual parts of the ore block and can be used to determine the predicted position of the ore contour. The main difference of proposed predicting methods consist in establish the expected position of contact of rocks and geological markers in the field, which will allow in the regular mode to control the development of the face by a pit geologist.

Scientific novelty. The dependence of the predicted position of the ore contour in the rock mass shotpile on the method of actual survey of the pit surface "before" and "after" the explosion when performing geometric constructions is established. Determined that the proposed method of prediction allow to minimize costs in the form of insignificant organizational changes at planning observance of qualitative indicators, reduction of risks and dangers at geological works is provided, and also efficiency of works on short-term planning system in rock mass shotpile increases.

Practical value. A method for determining the position of the ore contour in the rock mass shotpile has been developed. The possibility of using the predicted position of the ore contour for planning the selective mining of ore shotpile has been established. The expected economic effect of the proposed solutions is achieved by reducing the cost on processing rocks and low-grade ore when they fall on the crusher due to erroneous classification during the selective development of ore deposits.

Keywords: *surface mining, iron ore, shotpile, selective mining, loosening coefficient, rock*