

9. Перегудов В. В., Григор'єв І. Є., Григор'єв Ю. І. Дослідження взаємозв'язків параметрів техногенних родовищ нафти типу / В. В. Перегудов, І. Є. Григор'єв, Ю. І. Григор'єв // Гірничий вісник. - 2019. Вип. 105. - С. 29-34.
10. Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві / О. В. Соколов, А. Д. Желтобрюх, І. В. Копинець, В. І. Каськів // Дороги і мости. - 2020. Вип. 21. - С. 110-119.
11. Валовой О. І., Астахов В. І., Афанасьєв В. В., Валовой М. О., Єременко О. Ю. Використання відходів гірничорудної промисловості у промисловому, цивільному та транспортному будівництві / О. І. Валовой, В. І. Астахов, В. В. Афанасьєв, М. О. Валовой, О. Ю. Єременко // Гірничий вісник. - 2020. - вип. 107. - С. 142-147.
12. Валовой О. І., Єрьоменко О. Ю., Валовой М. О. «Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості» / О. І. Валовой, О. Ю. Єрьоменко, М. О. Валовой // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. - Рівне, 2016. - Вип. 32. - С. 15-22.
13. Валовой М. О. «Технологія виготовлення та аналіз тріщиностійкості дослідних зразків балок на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів» / М. О. Валовой // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. - Рівне. - 2013. - Вип. 25. - С. 233-239.
14. Шишкіна О. О., Шишкін О. О. Вплив міцел, наповнених реакційними порошками, на міцність бетону / О. О. Шишкіна, О. О. Шишкін // Нові технології в будівництві. - 2021. Вип. 39. - С. 61 - 68.
15. Геммерлинг Г. В., Важенін Б. В., Климошкина Э. П. Влияние качества шлаковой пемзы на свойства шлакопемзобетона / Г. В. Геммерлинг, Б. В. Важенін, Э. П. Климошкина // В кн.: Строительные материалы и изделия из металлургических шлаков. - М.: 1966. - С. 73-77.
16. Алексеев С. Н., Степанова В. Ф. Защита от коррозии арматуры в легких бетонах / С. Н. Алексеев, В. Ф. Степанова // Бетон и железобетон. - 1968, № 5. - С. 26-28.
17. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. - М.: НИИЖБ, 1979. - 30 с

Рукопис подано до редакції 29.02.24

УДК 622.271

Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, С.О. ЛУЦЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,
Д.В. БРОВКО, д-р техн. наук, доц., І.В. БАРАНОВ, канд. техн. наук, с. н. с.,
С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.
Криворізький національний університет

АДАПТАЦІЯ КІНЦЕВИХ КОНТУРІВ КАР'ЄРІВ №2-БІС ТА №3 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» В УМОВАХ ДИНАМІКИ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Основна мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні і подальшій адаптації проектних положень гірничих робіт кар'єрів №2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідно до оновлених гірничо-геологічних даних.

Методами дослідження є ретроспективний, компаративний та каузальний аналіз невідповідностей положень гірничих робіт до актуальних гірничо-геологічних даних, а також гірничо-геометричний аналіз фактичного і проектного положень гірничих робіт.

Наукова новизна дослідження полягає в установленні динаміки неузгодженості головних параметрів відкритих гірничих робіт до змін гірничо-геологічних факторів.

Практичне значення полягає у встановленні фактичної невідповідності кутів відкосів неробочих бортів кар'єрів до фізико-механічних властивостей масиву порід з подальшим усуненням даних неузгодженостей шляхом проектування кінцевих контурів гірничих робіт на засадах динамічного проектування.

Результати. В роботі виконано ретроспективний аналіз проектних рішень щодо розвитку відкритих гірничих робіт на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а також сучасного їх стану. На підставі виконаного авторами аналізу невідповідностей головних параметрів відкритих гірничих робіт фізико-механічним властивостям порід було проведено геомеханічні розрахунки стійкості породного масиву і визначено безпечні кути відкосів уступів і бортів кар'єрів. На базі проведених розрахунків геомеханічної стійкості масивів гірських порід було виявлено можливі зони оптимізації кінцевих контурів гірничих робіт шляхом зменшення ширини берм та збільшення кутів відкосів уступів. В результаті динамічного проектування кінцевих контурів кар'єру №2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було обґрунтовано приращення запасів залізистих кварцитів на 5,2 млн т і на 22,1 млн т відповідно при зменшенні середнього коефіцієнту розкриву.

Таким чином, було науково обґрунтовано перспективи подальшого сталого розвитку гірничо-видобувного підприємства із безпечним розвитком мінерально-сировинної бази за рахунок впровадження підходів динамічного проектування головних параметрів кар'єрів.

Ключові слова: кар'єр, кут відкосу борта кар'єру, запаси корисних копалин, динамічне проектування.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В сучасних умовах складного економічного становища вітчизняних добувних підприємств особливо гостро стоїть проблема не тільки збереження їх конкурентних позицій на світовому ринку мінеральної сировини, а й можливості подальшого функціонування взагалі. В цьому аспекті не менш важливим стратегічним питанням є і відновлення мінерально-сировинної бази у кризовий післявоєнний період [1, 2].

Однак в ході експлуатації родовища змін зазнають не лише зовнішні економічні фактори [3-5], а й гірничо-геологічні. До некерованих факторів, що змінюються при поглибленні гірничих робіт, відносяться і фізико-механічні властивості гірського масиву: його загальна тріщинуватість, інтенсивність і орієнтація систем тріщин, заповненість тріщин, міцність порід тощо. Встановлено, що навіть у межах одного кар'єрного поля умови залягання гірських порід є змінними, а у переважній більшості, проектні параметри кар'єрів залишаються незмінними, часто навіть у різних проектах. Завжди існують певні умови при яких може змінитися стійкий стан уступів і бортів кар'єру. При цьому будуть з'являтися потенційно небезпечні ділянки, на яких можуть виникнути ці зміни у вигляді деформацій: зрушень, обвалень, зсувів тощо.

Згідно концепції сталого розвитку, відкрита розробка родовищ корисних копалин має передбачати максимально повне використання надр [6]. З точки зору ринкової економіки, у мінливому конкурентному середовищі кожне видобувне підприємство прагне до посилення своїх конкурентних позицій шляхом адаптації до динаміки зовнішніх факторів [8]. Підвищення ж адаптивного потенціалу гірничо-видобувного підприємства досягається при максимізації прибутку від експлуатації надр. Розглядаючи гірничо-видобувне підприємство як антропогірничий комплекс другого порядку, до інструментів адаптації можна віднести головні параметри відкритих гірничих робіт [8-10].

Виходячи зі зміни цих властивостей, з'являється доцільність перегляду кутів відкосу уступів, а також відкосів бортів кар'єру, що, в свою чергу, може призвести до перегляду запасів корисних копалин, строку відпрацювання родовища і коефіцієнту розкриву.

Аналіз досліджень і публікацій. На даний час Криворізькі залізрудні родовища розробляються у складних гірничо-геологічних умовах, що обумовлено глибиною видобутку корисної копалини понад 400 метрів. В цих умовах дуже гостро набувають значення питання, які пов'язані з економічною доцільністю подальшої розробки залізрудних родовищ відкритим способом. При цьому, невід'ємною умовою є розв'язання проблем, пов'язаних з безпекою відпрацювання залізрудних кар'єрів та веденням гірничих робіт. Досвід роботи великих залізрудних кар'єрів показує, що зі збільшенням їх глибини зростає навантаження на борти та, як наслідок, мають місце прояви послаблення масивів, а в деяких випадках – зсувні явища. Наочним прикладом інженерних викликів, з якими стикаються глибокі залізрудні кар'єри в умовах зміни гірничо-геологічних і економічних факторів, є кар'єри № 2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [11].

Новокриворізьке родовище залістистих кварцитів розробляється кар'єром № 2-біс, а Валявкінське родовище – відповідно кар'єром № 3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Кар'єр №2-біс було введено в експлуатацію в 1970 році, а кар'єр №3 – у 1972 році. Проект, за яким було побудовано та введено в експлуатацію кар'єр №2-біс, було розроблено інститутом «Южгіпроруда» в 1968 році. Цим проектом була встановлена річна продуктивність кар'єру за сировою рудою в обсязі 4,0 млн. т сирової руди. В 1984 році виконано проект «Розкриття та підготовки Західної ділянки для підтримки потужності кар'єру № 2-біс НКГЗК». Розробка цього проекту була обумовлена вибуттям виробничих потужностей кар'єру № 2-біс в запроєктованих контурах його відпрацювання та необхідністю розширення кар'єру за рахунок розкриття нових ділянок. Відповідно до проекту 1984 р. продуктивність кар'єру за рудою була збільшена до 10,5 млн. т на рік у зв'язку зі зміною кондицій. З 1988 року до 1990 року робота кар'єру відбувалася на рівні, близькому до проектного. З 1993 року почався період погіршення роботи кар'єру. Так з 1993 року до 2000 року обсяги видобутку руди знизилися в 2-3 рази. При цьому обсяги виймання розкритих порід скоротилися в 6-10 разів. Після випрямлення русла річки Інгулець гірничі роботи в кар'єрі були зосереджені біля західного борту, складеного рудою. У зв'язку з цим, в період з

1993 до 2000 року було видобуто 36,8 млн т руди при середньому коефіцієнті розкриву 0,23 м³/т [11, 12].

Погіршення роботи кар'єрів та порядок ведення гірничих робіт також призвів до зменшення фронту видобувних і розкривних робіт, ширини робочих площадок, готових до виїмки запасів руди і відставання робіт за розкривом. У 2007 році ДП «ДПП «Кривбаспроект» розроблено проєкт реконструкції і розвитку кар'єру № 2-біс для підтримки продуктивності з видобутку руди 10 млн т на рік на період до 2010 року. Проєктом передбачалося досягнення в 2007 році проєктної продуктивності кар'єру № 2-біс у розмірі 10,0 млн. т на рік за рахунок розширення бортів кар'єру та залученням додаткових рудних площ з мінімальним поглибленням. У 2011 році інститутом ТОВ «Южгіпроруда» був виконаний проєкт «Реконструкція і розвиток кар'єрів № 2-біс і № 3 гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для підтримки продуктивності з видобутку сирової руди 30 млн тонн на рік на період до 2020 року». У проєкті визначено оптимальний напрямок подальшого розвитку гірничих робіт і приведені технічні рішення з реконструкції транспортної схеми кар'єру до 2020 року. З 2016 року до сьогодні, коригування та виконання проєктів з подальшої розробки Новокириворізького родовища залізистих кар'єром № 2-біс ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» кваліфікує виконувало ПП «КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ». На теперішній час гірничі роботи в кар'єрі № 2-біс ведуться згідно коригування проєкту «Реконструкція та розвиток кар'єрів № 2-біс та № 3 гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для підтримки продуктивності по видобутку сирової руди 30 млн. тонн в рік на період з 2020 р. – до кінця відпрацювання в Інгулецькому та Центрально- міському районах. Коригування геологічної та гірничої частини проєкту», розробленого ТОВ «КАІ» в 2021 р [11, 12].

Проєктні параметри бортів кар'єру прийняті відповідно до звіту ТОВ «НОВОТЕК-2» «Рекомендації щодо забезпечення стійкості укосів бортів кар'єрів» і забезпечують вимоги по максимальному вилученню корисних копалин. Проєктні показники кар'єрів № 2-біс та №3 наведено в табл. 1.

Згідно актуального стану гірничих робіт, у кар'єрі №2-біс розкрито горизонт -210 м. Фактична глибина кар'єру складає 285 м. Розробка родовища ведеться уступами висотою: по м'яким і змішаним породам – 12 метрів; по скельних породах, що вимагають попереднього розпушення, – 15 метрів. Горизонти, складені наносами і змішаними породами (+78 м, +66 м, +54 м, +42 м, +30 м), в даний час вже відпрацьовані і перебувають на граничному контурі [12].

Таблиця 1

Проєктні показники кар'єрів № 2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Показник	Кар'єр № 2-біс	Кар'єр № 3
Проєктна глибина кар'єру, м	455	500
Розміри кар'єру по верху в плані, м:		
довжина	2100	2200
ширина	1200	1450
Експлуатаційні запаси в проєктному контурі, на 01.01.2023 року, млн т	314 680,6	221 867,7
Промислові втрати, %	2,0	2,0
Засмічення, %	2,0	2,0

За минулий проєктний період гірничі роботи велися без розширення раніше сформованих меж кар'єру по поверхні. Основними напрямками розвитку гірничих робіт є східний, північний і південний борти кар'єру, а також поглиблення дна кар'єру. Фактичне положення гірничих робіт у кар'єрі № 2-біс представлено на рис. 1.

В даний час значну частину робочої зони кар'єру № 2-біс становлять ділянки тимчасово неробочих бортів із здвоєних уступів. Проведений гірничо-геометричний аналіз дозволив зробити висновок про можливість ведення гірничих робіт в кар'єрі № 2-біс із застосування ділянок тимчасово неробочих бортів, що дозволяють при стабільному видобутку руди частину розкривних робіт віднести на більш пізній період, що обумовлено економічною доцільністю. Ширина робочих площадок за рудою складає 33-50 м, а на уступах де виконується підготовка гірничої

маси до виймання (наявність бурових блоків) – ширина площадок сягає 80-100 м. Протяжність уступів з нормальною шириною площадки складає близько 900 метрів [12, 13].

Станом на кінець 2023 року у кар'єрі № 3 розкрито горизонт -315 м. Фактична глибина кар'єру складає 390 м. Фактичне положення гірничих робіт у кар'єрі № 3 представлено на рис. 2. Гірничі роботи зосереджені на нижніх горизонтах, сході, півдні а також на півночі кар'єру. Відповідно до гірничотранспортного обладнання, яке використовується, і фізико-механічних властивостей порід, що розробляються подальша розробка родовища передбачається уступами висотою 12-15 м. Горизонти наносів і змішаних гірських порід мають висоту 12 метрів (горизонти +90 м, +78 м, +66 м, +54 м, +42 м і +30 м). Нижче горизонту +30 м ведеться 15 метровими уступами, з подальшим здвоюванням скельних уступів при підході до кінцевого контуру. В робочій зоні кар'єру є наявність тимчасово неробочих ділянок з погашеними робочими бортами, висотою не більше 30 м, бермами безпеки шириною 10 м і уловлювальними бермами шириною 30 м.

Постановка завдання. З огляду на фактичне положення гірничих робіт в кар'єрах, а також доступні шляхи підвищення ефективності розробки Валявкінського і Новокриворізького родовищ залізистих кварцитів завдання адаптації проектних положень гірничих робіт до оновлених гірничо-геологічних даних вбачається актуальною і важливою задачею.

Викладення матеріалу та результати. При розгляданні можливої оптимізації проектних контурів кар'єрів за основу були прийняті виконані геомеханічні розрахунки максимально допустимих кутів нахилу бортів, уступів та груп уступів кар'єру на підставі обґрунтованих фізико-механічних властивостей гірських порід, які складають бортові масиви. Такі розрахунки було проведено при виконанні НДР «Визначення геологічної будови, фізико-механічних властивостей та структурних особливостей масиву та визначення граничних кутів укосу бортів та уступів кар'єрів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»», виконаної НДГРІ КНУ у 2023 році.

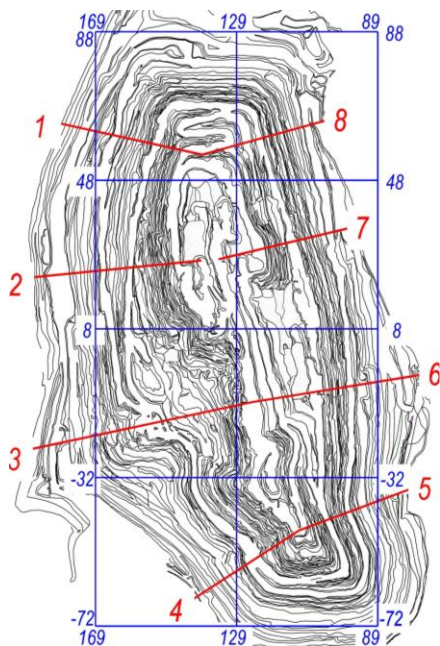


Рис. 1. Фактичне положення гірничих робіт станом на 01.07.2023 в кар'єрі №2-біс ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» із нанесенням розрахункових розрізів

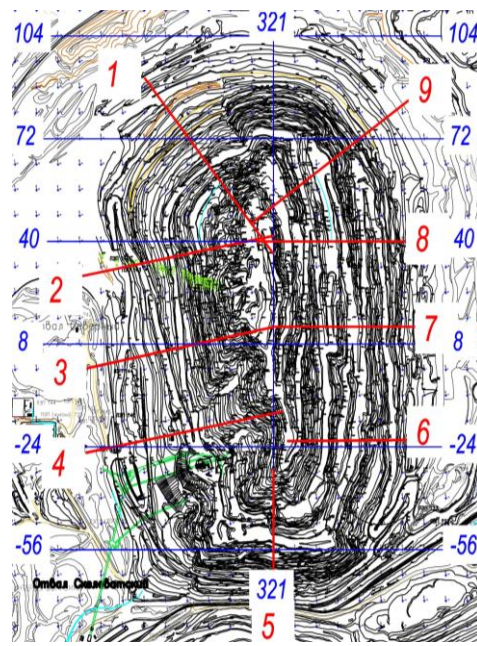


Рис. 2. Фактичне положення гірничих робіт станом на 01.07.2023 в кар'єрі №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» із нанесенням розрахункових розрізів

На підставі виконаних маркшейдерських розрахунків було визначена можливість збільшення кутів нахилу бортів кар'єру в тій їх частині, яка ще не досягла кінцевого проектного положення за розрахунковими розрізами, що для цього були визначені (табл. 2, 3).

Таблиця 2

Показники груп уступів та бортів кар'єру № 2-біс за розрахунковими розрізами після оптимізації проектного положення

№ розрізу	Розрахункова схема	Оптимізація проектного положення				
		висота борта, м	горизонти, м	кут укосу, град.	КЗС	зміщення нижньої брівки ділянки борта, м
1	V	188	-285 ÷ -97	55,0	1,25	16
2	V	300	-360 ÷ -60	47,0		16
3	V	333	-285 ÷ +45	33,6		18
4	V	269	-210 ÷ +60	35,8		20
5	V	97	-210 ÷ -113	48,0		20
6	V	179	-285 ÷ -106	51,0		17
7	V	270	-360 ÷ -90	53,0		16
8	V	227	-330 ÷ -103	48,0		16

Таблиця 3

Показники груп уступів та бортів кар'єру № 3 за розрахунковими розрізами після оптимізації проектного положення

№ розрізу	Розрахункова схема	Оптимізація проектного положення				
		висота борта, м	горизонти, м	кут укосу, град.	КЗС	зміщення нижньої брівки ділянки борта, м
1	X	246	-405 ÷ -159	53,0	1,25	16
2	X	210	-405 ÷ -195	54,0		17
3	X	140	-405 ÷ -265	48,0		18
4	X	355	-405 ÷ -60	48,5		17
5	V	482	-405 ÷ +75	45,9		16
6	V	320	-405 ÷ -85	48,0		16
7	V	320	-405 ÷ -85	48,0		16
8	V	320	-405 ÷ -85	46,0		16
9	V	278	-405 ÷ -127	44,0		16

Такі кути нахилу бортів кар'єру та груп уступів були визначені на підставі зниження коефіцієнту запасу стійкості до мінімально нормативного значення 1,25 згідно з Нормами технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин [14].

Можливість оптимізації затвердженого проектного положення бортів кар'єру була розглянута з дотриманням умови збереження визначеної, у діючому проекті, транспортної системи з використанням діючого на даний час у кар'єрі гірничого обладнання.

Аналіз положень уступів на затвердженому проектному контурі показав, що існують ділянки бортів, де кут укосу зведеного уступу менше 70° , а ширина запобіжних берм – більше мінімально нормативної, яка встановлюється відповідно до Норм технологічного проектування та повинна складати не менше $1/3$ висоти уступу [14]. Тобто при висоті зведеного уступу 30 м мінімально допустима ширина запобіжних берм повинна бути 10 м.

Враховуючи такий стан, оптимізація затвердженого проектного положення бортів кар'єру виконувалась або за рахунок збільшення кута укосу зведеного уступу до 70° , або за рахунок зменшення ширини запобіжних берм до розміру мінімально нормативної величини, або шляхом використання обох підходів одночасно, якщо для цього існувала така можливість.

При цьому кут нахилу груп уступів та бортів кар'єру №2-біс витримували в тих межах, які були визначені при виконанні геомеханічних розрахунків стійкості та наведені в табл. 2. На підставі цього було визначено, що оптимізацію можливо виконати для частин північно-західного, західного, східного та північного бортів в інтервалі горизонтів з -375 м по -120 м. Якщо спиратися на розрахункові розрізи (рис. 1), то оптимізацію, в інтервалі вище вказаних горизонтів, можна виконати на підставі тільки 1, 2, 7 та 8 розрізів (в м.в. 0 ÷ 72). На південному борті хоча і існують умови для оптимізації його затвердженого проектного положення, але це призводить

до збільшення обсягів розкривних порід, які набагато переважають обсяги руди, що, в свою чергу, вплине на збільшення коефіцієнту розкриття в цілому по кар'єру.

Щодо кар'єру №3, було визначено, що оптимізацію можливо виконати для південного, східного північного, західного та частково південно-західного бортів кар'єру в інтервалі горизонтів з -410 м по 0 м. Якщо спиратися на розрахункові розрізи (рис. 2), то оптимізацію, в інтервалі вище вказаних горизонтів, можна виконати на підставі всіх розрізів в маркшейдерських осях $-72 \div 72$. Стосовно горизонтів за якими можливо виконати оптимізацію затвердженого проектного положення бортів кар'єру можна сказати, що горизонти з -410 м по -330 м підлягали оптимізації на всіх бортах на всій їх протяжності. Горизонт -300 м підлягав оптимізації також на всіх бортах кар'єру окрім частини західного борту (цілику) в маркшейдерських осях $8 \div 32$. Положення групи уступів з відмітки -270 м по -210 м оптимізувалося на північному та північно-західному бортах кар'єру в маркшейдерських осях $72 \div 24$ та на південному та південно-східному бортах в маркшейдерських осях $-56 \div -8$. Положення групи уступів з відмітки -180 м по -120 м підлягало оптимізації на північному борту в маркшейдерських осях $72 \div 48$ та південно-західному – в маркшейдерських осях $-56 \div -64$. Положення групи уступів з відмітки -90 м по ± 0 м оптимізувалося на невеликій частині південно-західного борту в маркшейдерських осях $-56 \div -72$.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В ході виконаних досліджень було проведено гірничо-геометричний аналіз кар'єрів №2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». На базі проведених розрахунків геомеханічної стійкості масивів гірських порід було виявлено можливі зони оптимізації кінцевих контурів гірничих робіт. В результаті динамічного проектування кінцевих контурів кар'єру №2-біс було прирощено 5,2 млн. т руди при збільшенні обсягів розкриття на 209,9 тис. м³ при додатковому коефіцієнті розкриття 0,04 м³/т. Збільшення запасів по кар'єру №3 становило 22,1 млн. т руди, обсягів розкриття – 2,1 млн. м³ при додатковому коефіцієнті розкриття 0,1 м³/т.

Таким чином, було виконано адаптацію виробничих систем кар'єрів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» до оновлених гірничо-геологічних факторів. В подальших наукових дослідженнях планується більш глибока імплементація принципів динамічного проектування із врахуванням економічних факторів.

Список літератури

1. **Hryhoriev Y.** Study of the impact of the open pit productivity on the economic indicators of mining development / Y. Hryhoriev, S. Lutsenko, A. Kuttybayev, A. Ermeckali, V. Shamrai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science - 2023, vol. 1254, 012050
2. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України // Відомості Верховної Ради України від 17.05.2012. – № 44, стаття 457.
3. **Lutsenko. A. Sergey.** Open pits productivity control along with iron ore products demand variation / Lutsenko. A. Sergey/ Quality – Access to Success. – 2017. – vol. 18(S1) – С. 226-230.
4. **Григор'єв Ю.І.** Системні невідповідності за традиційного проектування залізрудних кар'єрів / С.О. Луценко, С.О. Жуков, Ю.І. Григор'єв, С.О. Федоренко // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2023. - Вип. 111. – С.11-18.
5. **Луценко С.А.** Исследование влияния производительности карьера на экономические показатели разработки / С.А. Жуков, С.А. Луценко // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць, вип. 47. – Кривий Ріг, 2018. – С. 139-142.
6. **Hryhoriev Y.** Implementation of sustainable development approaches by creating the mining cluster: the case of MPP "Inguletskiy" / Y. Hryhoriev, S. Lutsenko, O. Systierov, A. Kuttybayev, A. Kuttybayeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science - 2023, vol. 1254, 012055.
7. **Григор'єв Ю.І.** Цифровізація як інструмент адаптації гірничого виробництва у невизначеному динамічному середовищі (на прикладі впровадження K-MINE) / Ю. І. Григор'єв, І. Є. Григор'єв, С. В. Слюсар, В.А. Власенко // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2023. - Вип. 2(102). - С. 476-484.
8. **Hryhoriev Y.** Dominant Determinants of Adaptation of the Mining Complex in the Conditions of a Dynamic Environment / Y. Hryhoriev, S. Lutsenko, S. Joukov // «Inżynieria Mineralna». Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(51), - Kraków : 2023. - p. 15 – 22.
9. **Григорьев И.Е.** Системный подход к процессу проектирования горных объектов / И.Е. Григорьев, Ю.И. Григорьев // Разраб. рудн. месторожд., 2011. - Вип. №94. - С 40-44.
10. **Панченко В.В.** Анализ состояния и приоритетные направления повышения эффективности открытой разработки железорудных месторождений Украины / В.В. Панченко, А.В. Романенко // Матеріали міжнародної конференції „Форум гірників – 2016”. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2016. – С. 33–43.

11. Визначення геологічної будови, фізико-механічних властивостей та структурних особливостей масиву та визначення граничних кутів укосу бортів та уступів кар'єрів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»: звіт про НДР / КНУ НДГРІ. – Кривий Ріг, 2023.

12. Пояснювальна записка до виробничої програми гірничого департаменту на 2023 рік. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – Кривий Ріг, 2022. – 93 с.

13. **Луценко С.О.** Дослідження впливу продуктивності кар'єру за рудою і параметрів системи розробки на інтенсивність відпрацювання родовища / С.А. Луценко, С.А. Жуков // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2019. - №58. - С. 68 - 75.

14. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 2. Відкриті гірничі роботи. СОУ - Н МПП 73.020-078-2: 2008.

Рукопис подано до редакції 27.03.24

УДК 622.342.: 622.276

Г. І. ТКАЧЕНКО, Т. М. КОВАЛЬЧУК, кандидати техн. наук, доцентки,
М. В. МИХАЙЛЕНКО, магістрантка, Криворізький національний університет

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕНОЇ ГІРНИЧОЇ МАСИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

Мета. Метою даної роботи є розроблення методики, яка дозволяє оперативно встановлювати залежність виробничих витрат на основні технологічні процеси гірничо-добувного виробництва від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси. Враховуючи те, що інтегральним показником кускуватості або гранулометричного складу є середній розмір куска гірничої маси в розвалі, використання даної методики дозволяє спрогнозувати та підвищити ефективність буро вибухових робіт на кар'єрах шляхом зниження витрат на виконання вантажно – транспортних робіт і додаткового подрібнення.

Методи дослідження. Поставлені в статті завдання базуються на комплексному методі досліджень, що включає: аналіз науково дослідних робіт по буро вибуховим роботам на залізрудних кар'єрах Кривбасу та їх моніторингу; результати інженерно-геологічних вишукувань залізрудного родовища, використання емпіричних законів вибухових робіт; комп'ютерні технології й обчислювальні програми; оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному підході до розроблення методики, яка дозволяє оперативно встановлювати емпіричні залежності виробничих питомих витрат на основні технологічні процеси в залізрудному кар'єрі від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси. Доведено, що залежність суми питомих витрат на реалізацію розглянутих технологічних процесів від кускуватості має вигляд параболічної функції, точкою екстремуму якої є оптимальний діаметр середнього розміру куска підірваної гірничої маси.

Практичне значення. Отримані емпіричні залежності питомих витрат на: - буро вибухові роботи; руйнування негабариту; - на екскавацію; - на транспортування від середнього розміру куска підірваної гірничої маси дозволяють доповнити існуючі практичні рекомендації та надають реальні передумови щодо оптимізації технологічних процесів на кар'єрах Кривбасу.

Результати. Розроблено методику оперативного встановлення залежностей витрат на основні технологічні процеси гірничо-добувного виробництва від оптимального середнього розміру куска підірваної гірничої маси, яка спрямована на підвищення ефективності буро вибухових робіт на кар'єрах шляхом зниження витрат на виконання вантажно – транспортних робіт і додаткового подрібнення.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, вибухові роботи, подрібнення негабариту, кускуватість, питомі витрати, середній розмір куска підірваної гірничої маси

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-83-88

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний етап розвитку видобутку та переробки скельних порід характеризується бажанням підвищити ефективність технологічних процесів за рахунок більш якісного подрібнення гірських порід. Специфічною особливістю вибухових процесів у гірництві є те, що досліджуються процеси техногенного походження. При розробці залізрудних родовищ, 80-90% гірничої маси представлено скельними породами, яку необхідно додатково дробити. Якість ведення вибухових робіт у гірництві визначається кускуватістю підірваної гірської породи, яка в значній мірі визначає змінну продуктивність гірничого та дробильного обладнання, обсяги добичі кар'єру, ритмічність роботи гірничо-добувного підприємства, продуктивність праці, собівартість залізної руди. Інтегральним показником кускуватості або гранулометричного складу є середній розмір куска гір-