

УДК 622.236-047.44:622.232.72

О. О. ВУСИК, аспірант, А. М. ПИЖИК, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ БЕЗВИБУХОВОЇ РОЗРОБКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНИМИ КОМБАЙНАМИ ФРЕЗЕРНОГО ТИПУ

**Мета.** На сьогоднішній час актуальним являється приділення уваги вивченню та дослідженню безвибухової розробки породного масиву в умовах залізорудних кар'єрів. Гірничодобувні підприємства перебуваючи в складних техніко-геологічних і гірничотехнічних умовах потребують нарощування об'ємів видобутку на значних глибинах, пошуку, дослідження і реалізації нових більш продуктивних технологічних схем виробництва.

**Методи.** Висвітлено аналіз стану і перспектив використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні безвибуховим способом породних гірських масивів на кар'єрах шляхом обробки статистичних даних досвіду використання фрезерних комбайнів на гірничих підприємствах з метою визначення їх ефективності при розробці гірських порід. Проведено аналіз стану теоретичної і практичної ефективності перспектив використання безвибухового способу відпрацювання покладу гірських порід шляхом застосування гірничих комбайнів фрезерного типу. Розглянуто особливості руйнування гірських порід в залежності від фізико-механічних властивостей.

**Наукова новизна.** Виконано спробу обґрунтування способу використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні гірських порід та їх ефективність, котрий дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру. При адаптації безвибухової розробки породних масивів до діючої технології розробки родовища в умовах відпрацювання крутоспадних родовищ, що суттєво підвищує ефективність ведення відкритої розробки.

**Практична значимість.** Ефективність використання запропонованої технології розробки породних масивів на кар'єрах залежить від критеріїв оцінки вибору і застосування у відповідних умовах, оптимальної роботи виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу на залізорудних кар'єрах та удосконалення технології розробки гірських порід. Гірничі комбайни фрезерного типу на сьогоднішній час можуть достатньо ефективно відпрацьовувати залізорудний масив з межею міцності на одноосьове стиснення до 80 МПа. В перспективі цей показник має тенденцію зростати.

**Результати.** Використання фрезерних комбайнів на залізорудних кар'єрах дає можливість ефективно відпрацьовувати тверді породи без попередньої підготовки порід до виймання вибухом. В перспективі пріоритетним напрямком являється оцінка механічного способу розробки гірських порід, підвищення ефективності його застосування, розробка технології відпрацювання залізорудних родовищ фрезерними комбайнами. Даний спосіб дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру при адаптації безвибухової розробки породних масивів до умов відпрацювання крутоспадних родовищ, суттєво підвищити ефективність ведення відкритої розробки.

**Ключові слова:** масив, розробка, безвибуховий спосіб, фрезерний комбайн.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасна ситуація вітчизняної гірничодобувної промисловості характеризується погіршенням гірничотехнічних умов видобутку, при одночасному зростанні енерговитрат та собівартості видобутку 1 т руди. Для зменшення собівартості видобутку руди зменшують коефіцієнт розкриву в наслідок чого консервується значна частина розкритих порід. Їх розконсервація буде вимагати значних інвестицій з тривалим періодом їх повернення при обмеженій ресурсній базі, значно погіршувати техніко-економічні показники розробки родовища.

Сучасний економічний стан гірничодобувної промисловості України потребує пошуку і освоєння нових технічних і технологічних рішень, котрі підвищать показники ефективності видобутку залізистих кварцитів [1].

Одним з напрямків вирішення даного питання є освоєння безвибухового способу розробки гірських порід із застосуванням виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу. Останнє десятиліття проводяться наукові дослідження в напрямку механічного руйнування породного масиву з впровадженням у виробництво досягнутих результатів у вигляді рекомендацій і технологічних рішень.

Технічна можливість і економічна доцільність використання на кар'єрах різного виймально-навантажувального обладнання залежить від міцності порід, їх умов залягання, відповідної продуктивності однієї машини і кар'єру в цілому, виду механізації суміжних процесів (підготовка порід до виймання і транспортування гірської маси), кліматичних умов, способу виїмки (валової або селективної) та від інших факторів [4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Великий внесок у розвиток теорії і практики розробки гірських порід виймально-навантажувальними обладнаннями зробили багато вчених. Академік В.П. Горячкін показав, що сила різання (без втрат енергії на різноманітне тертя) пропорційна площині зрізу породної стружки, питомій протидії ґрунту різанню. Професор Н.Г. Домбровсь-

кий на основі багато чисельних експериментів встановив значення протидії різанню для різноманітних порід.

Щільність гірських порід визначає їх пористість, тріщинуватість, шаруватість. Ці фактори знижують протидію порід тертю, зчепленню, значно знижують міцність порід на розтягнення, вигинання і зсування. Міцність гірських порід залежить також від розмірів зерна, хоча і менш суттєво. Зі збільшенням розмірів зерна міцність гірських порід знижується, і навпаки дрібнозернисті гірські породи мають більш високу міцність [9].

Відомо, що гірські породи по різному протидіють руйнуванню в залежності від характеру прикладеного навантаження. Протидія гірських порід зрізу і відколу максимальна, а розтягненню і відриву – мінімальна. Однак практично у всіх виймальних машинах, за допомогою яких виконується екскавація, відділення породи від масиву засновано на зрізі і відколі різцем стружки певної товщини [8].

Розвиваючи теорію різання, Е.Р. Петерс вводить поняття про роботу підлягаючу втраті на перетворення одиниці об'єму породи в стружку і показує, що величина її залежить тільки від фізико-механічних властивостей породи. Роботи в області різання гірських порід дали можливість визначити зусилля, необхідні для робочих органів екскаватору та підійти обґрунтовано до створення раціональної форми ковша екскаватора.

Слід відзначити також роботи, що сприяли оптимальній організації екскаваторних робіт: професорів Е.Н. Барбот де Марні, П.І. Городецького і Е.Ф. Шешко та інших.

Декілька пізніше цьому питанню присвятили свої роботи І.П. Пономарев, А.І. Бунін, І.Р. Ворошилін, А.С. Фіделев та інші.

Над обґрунтуванням нових типів екскаваторів для гірничої промисловості багато працювали колективи інженерно-технічних робітників вугільної промисловості під керівництвом інженерів М.М. Соколовського, А.С. Чернегова, А.М. Шаркова, Ю.К. Бугославського, Ю.С. Подерні та інших, інженерно-технічні робітники кольорової металургії під керівництвом інженера А.І. Буніна і чорної металургії під керівництвом інженера С.М. Мелешкіна, а також колектив науково-дослідних робітників під керівництвом професора Н.Г. Домбровського.

Професором Н.Г. Домбровським запропонував розділити технологічний цикл роботи екскаватора на ряд операцій. Окрім цього була зроблена теоретична оцінка тривалості кожної операції і можливості їх поєднання.

Не менш важливий внесок у виявлення умов застосування колісних скреперів, бульдозерів і комбайнів зробили канд. техн. наук Ю.Б. Дейнего, А.Г. Даліна, А.І. Арсентьев, Н.Д. Аверін та інші. Було встановлено час сезону роботи гірничого обладнання при різних умовах застосування, заходи по його подовженню, вплив характеру порід на дальність перевезення, продуктивність устаткування [2]. Тривалі спостереження за роботою виймально-навантажувального обладнання дозволили виявити найбільш економічно доцільні технологічні схеми їх роботи при різних умовах застосування.

Серед різноманітних видів гірничого обладнання, яке використовується для розробки гірських порід на кар'єрах, на сьогоднішній час знаходить ефективне застосування виймально-навантажувальні комбайни фрезерного типу. Промислові випробування цих машин на кар'єрах Німеччини, Австралії показали їх достатню робочу спроможність і значну ефективність їх застосування в наслідок великої продуктивності, малої питомої енергоємності, простоти управління, відносно низької вартості обладнання.

Практичну цікавість представляє досвід роботи ряду закордонних рудників, котрі відпрацьовують крутоспадні родовища підземним способом поблизу рудних кар'єрів [5].

**Постановка задачі.** Аналіз літературних джерел і проектних розробок свідчить про високу ефективність відкритих гірничих робіт з використанням безвибухової розробки породного масиву з застосуванням механічного руйнування гірських порід та її великі технологічні можливості. Не дивлячись на свою беззаперечну ефективність, принцип механічного руйнування гірських порід не знайшов ще поширеного застосування в практиці відкритих гірничих робіт, що пояснюється недостатнім вивченням фізики самого процесу руйнування і його закономірностей, а також відсутністю ефективних технологічних схем розробки гірського масиву.

Робота присвячена аналізу і обґрунтуванню засад механічного способу руйнування гірських порід при відкритій розробці родовищ із застосуванням виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу.

**Викладання матеріалу та результатів.** Сучасні комбайни відрізняються за принципом дії, конструкцією й розташуванням робочого органу. Вони виготовляються в Німеччині, США, Англії, Австралії, Японії та Швеції.

Комбайни з робочим органом у вигляді циліндричної фрези, розташованої в центрі в нижній частині опорної рами між передніми й задніми гусеницями. Фреза являє собою шнековий барабан, оснащений штировими зубцями, розташованими по гвинтовій лінії й армованими вставками з кобальт-вольфрамового твердого сплаву. Обертання фрези може здійснюватися як у напрямку руху, так і проти руху комбайну.

Кількість зубців, їх тип, відстань між ними залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, необхідного складу гірничої маси за крупністю й устанавлюються відносно конкретних природних умов родовища та міцності порід (табл. 1). Зруйнована гірська порода із середнім розміром куску до 300 мм конвеєром завантажується в транспортні засоби або в штабель уздовж смуги виймання, з якого гірнична маса навантажувачем або екскаватором завантажується в транспортний засіб.

Таблиця 1

Показники міцності деяких порід			
Гірська порода	Коефіцієнт міцності по М.М. Протодяконова	Межа міцності на одноосьове стиснення, МПа	Контактна міцність, МПа
Гранітні породи. Дуже міцні пісковики та вапняки. Міцний конгломерат. Дуже міцні залізні руди.	8...10	80...120	1750...2450
Вапняки міцні. Неміцні граніти. Міцні пісковики. Доломіт.	6...8	70...80	1250...1750
Звичайний пісковик. Залізні руди.	5...6	50...70	900...1250
Піскуваті сланці. Сланцеві пісковики.	5	35...50	650...900

Найбільш відомі комбайни цього типу випускає німецька фірма «Віртген». Використовуючи досвід виготовлення дорожніх машин для фрезерування старого дорожнього покриття з бетону й асфальту, вони створили ряд комбайнів для кар'єрів із шириною фрези 1900-4200 мм, глибиною фрезерування за один прохід від 150 до 600 мм і теоретичною продуктивністю до 1700 т/год (табл. 2).

Таблиця 2

Продуктивність комбайнів Wirtgen (Віртген) в залежності від міцності порід (по матеріалам Wirtgen Group)							
Показники		Породи (відповідно до межа міцності на одноосьове стиснення, МПа)					
		м'які			тверді		дуже тверді
		<20	<40	<50	<70	<80	>80
Продуктивність, т/год (відповідно до моделі комбайна)	2200 SM	750	...	300	...	...	...
	2500 SM	1550	...	...	...	220	65
	3700 SM	2550	...	...	...	365	100
	4200 SM	3400	...	...	475	...	...

Термін служби комплексу різців при двозмінній роботі становить 2 місяці. Модель 4200SM/1600 оснащена автоматичною системою, що підтримує задану глибину різання. На різальному барабані розташовано датчики для виявлення відмінності між корисними копалинами й пустою породою, наприклад вугіллям і породним прошарком. Це дає змогу відрізнити кондиційну руду від некондиційної.

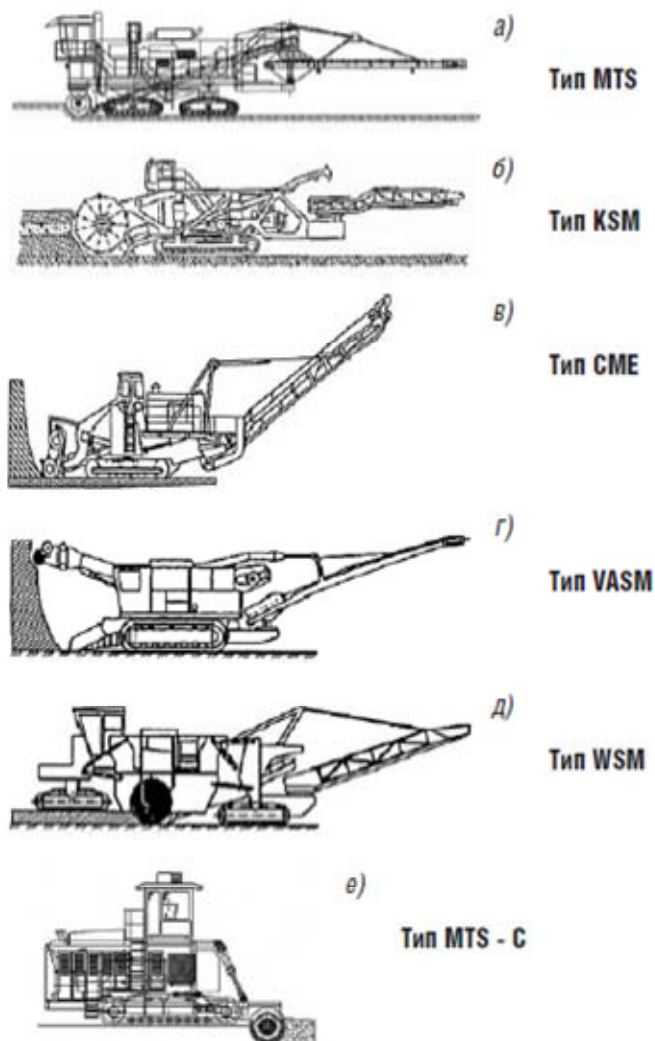
Слід відзначити, що на практиці контроль фактичних величин показників вилучення (втрата руди і її якості) і оцінка технічних і економічних наслідків для підприємств фактичних (отриманих в результаті контролю) величин показників вилучення руди і ефективності приймаючих технічних і технологічних рішень ведеться в строгій відповідності з «Інструкції по нормуванню показників вилучення руди по технічним, технологічним і економічним критеріям, їх прогнозування і врахування в процесі розробки родовищ» [6].

За даними фірми, комбайном більших моделей можна проводити роботи за наявності твердих вкраплень міцністю до 20 за шкалою проф. М.М. Протодяконова.

Американська фірма «Х'юрон» випускає фрезерні комбайни, які використовуються для розробки щільних глин, сланців і угілля. Комбайни фірми EM-1224 відпрацьовують шар за товшки 0,6 м. Розташований у центрі машини барабан, оснащений різцями, відокремлює породу від масиву шляхом відколу під дією маси машини, подрібнює і передає її на навантажувальний конвеєр. Переміщується комбайн на чотирьох гусеницях, рівень яких установлюється гідроциліндрами. При роботі гусениці одного боку перебувають на поверхні шару, що відпрацьовується, іншого – на основі шару. При видобутку вугілля продуктивність комбайну складає 2360 т/год.

Модель «Юніматик» фірми «Юніт Клуно» (США) дозволяє відпрацьовувати шар гірських порід середньої міцності й вугілля 1,22-2,44 м по висоті й 4,6 м по ширині зі швидкістю 26,8 м/хв.

Фрезерні комбайни з переднім кріпленням робочого органу дозволяють розробляти масив гірських порід уступами заввишки 1,8-2,5 м, шириною захоплення 7,0-7,6 м і продуктивністю 550-2100 т/год (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципові конструктивні схеми кар'єрних комбайнів: *a* – фрезерний фірми «Сі-Майнер»; *б* – роторний фірми «Саттервіт»; *в* – з консольним розташуванням робочого органу на рамі фірми «Рахко»; *г* – роздільно від приймального конвеєра-живильника фірми «Вест-Альпуне»; *д* – на рамі по центру кар'єрного комбайну фірми «Віртген»; *е* – у задній частині кар'єрного комбайну фірми «MAN TAKRAF»

Подібні комбайни серії «Континус Майнер» випускають німецькі фірми «Везерхютте» й «Порат». Різальний інструмент – різень зсувного типу, який зазвичай використовується в комбайнах для проведення підземних гірничих виробок. Тип і кількість різців на двосторонньому барабані встановлюється для конкретних порід.

Зрізана порода подається бічними частинами шнекового валика до середини робочого органу, звідки через отвір в упорному щиті надходить на навантажувальний конвеєр.

Робочий орган піднімається і за необхідності нахилиється в поперечному напрямку гідроциліндрами.

Переднє розташування робочого органу дозволяє виконувати розробку горизонтів звичайною технологією – уступами, як і однокішшевою технікою, проходити траншеї, легко робити огляд стану робочого органу і заміну різців. Робота з конвеєрним транспортом забезпечує потокову технологію розробки

гірських порід середньої міцності [3].

Отже, ефективність використання гірничих комбайнів фрезерного типу в різноманітних умовах застосування, послідовність відпрацювання кар'єрного поля та інших факторів оптимальної і продуктивної роботи виймально-навантажувальних комбайнів може бути визначено на основі методичного підходу, який врахує всі позитивні і негативні наслідки їх роботи. На основі аналізу загальної моделі відпрацювання гірського масиву необхідно порівнювати всі можливі варіанти порівняння фрезерного комбайну і іншими видами виймально-навантажувального обладнання.

Повна собівартість видобутку 1 т корисної копалини при відкритих роботах складається із собівартості власне корисної копалини і собівартості виймання пустих порід, що видаляються для видобутку одиниці корисної копалини. Отже, повну собівартість видобування корисної копалини можна представити у вигляді формули, грн/м<sup>3</sup>

$$C = C_d + k C_p, \quad (1)$$

де  $C_d$  – собівартість видобутку корисної копалини без врахування розкривних порід, грн/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – собівартість розкриття, грн/м<sup>3</sup>;  $k$  – коефіцієнт розкриття, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [3].

Відомо, що економічні показники відкритих робіт залежать від капітальних витрат (витрати на підготовчі роботи, придбання і монтаж обладнання та ін.), експлуатаційних витрат (поточні витрати) і прибутку від реалізації (продажу) корисної копалини, що видобувається. Експлуатаційні витрати включають витрати на амортизацію, електроенергію матеріали тощо. Одним з ключових показників є також кількісна оцінка переміщених об'ємів розкривних порід та досягнутий рівень коефіцієнту розкриття [7].

Вирішальним фактором підвищення ефективності гірничих робіт на глибоких горизонтах кар'єрів, являється вибір найбільш оптимальних технологічних рішень, після ретельного аналізу техніко-економічних показників при порівнянні різних видів транспорту [11]. Що супроводжується розробкою ефективних технологічних схем роботи виймально-транспортного устаткування при раціональному виборі технологічних параметрів системи розробки.

Характерною особливістю крупних кар'єрів, за масштабами і технології робіт подібних залізородним кар'єрам Кривбасу, являється збільшення об'ємів розкриття до максимальних розмірів при визначеній глибині гірничих робіт. Для кар'єрів Кривбасу такою являється вже досягнута глибина 250-350 м, при якій робоча зона на поверхні досягає проектних контурів. В цих умовах сучасні способи і технологія відпрацювання кар'єрів постають недостатніми для стабілізації об'ємів розкривних робіт і не можуть в потрібній мірі вирішити економічні і екологічні проблеми відкритих гірничих робіт [10].

**Висновки.** Аналіз досвіду відпрацювання гірського масиву виймально-навантажувальними комбайнами фрезерного типу вказує на необмежену ефективність даної технології при відкритій розробці родовищ. В ній закладені значні перевагами у порівнянні з буро-вибуховим способом підготовки порід до виймання. Поряд з цим для її ефективного використання слід розв'язати комплекс питань стосовно її наступності та адаптації до гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов, що склалися у сучасних діючих кар'єрах при розробці крутоспадних родовищ.

#### Список літератури

1. **Вусик О.О.** Аналіз теоретичних основ застосування механічного способу розпушення гірських порід, котрий підвищує ефективність розробки залізородних родовищ / **О.О. Вусик, А.М. Пищик** // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: міжн. наук.-техн. інтер.-конф. – Кривий Ріг, 2016 – С. 81.
2. **Мельников Н.В.** Развитие горной науки в области открытой разработки месторождений / **Н.В. Мельников**. – М.: Углетехиздат, 1957. – 92 с.
3. Гірничі справа / **В.Г. Блізнюков, С.О. Луценко, А.М. Пищик** – 3-є вид., перероб. і доп. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О. – 2014. – 424 с., з іл.
4. **Технология, механизации и организация открытых горных работ / П.И. Томатов, И.К. Наумов**. – М.: Недра, 1986. – 312 с.
5. **Ступник Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / **Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В.** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С.3-8.
6. **Колосов В.А.** Методы учета фактических величин показателей извлечения руды / **В.А. Колосов** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С.12-15.
7. **Темченко О.А., Вусик О.О.** Обгрунтування доцільності переходу від відкритого до підземного способу розробки родовищ корисних копалин / **О.А. Темченко, О.О. Вусик** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С. 294-297.
8. **Механика горных пород и устойчивость бортов карьеров Шапарь А.Г.** «Вища школа», К., 1973, с. 120.
9. **Комплексная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий** и др.; Под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – 376 с.
10. **Кумченко Н.Н.** Направления совершенствования технологии разработки вытянутых крутопадающих месторождений / Горный журнал. – М.: Недра, 1991. – Вип. 9. – С. 34-36.
11. **Гайсинский М.С.** Прогрессивные технические решения в проектах института / **М.С. Гайсинский, В.В. Шарин, В.Г. Драчев** // Горный журнал. – М.: Недра, 1991. – Вин. 8. – С. 6-9.

Рукопис подано до редакції 17.03.17