

Монастирський Ю. А., Борис Д. С.
Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИННОГО ГІДРОМОНІТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВІДБІЙЦІ МАЛОМІЦНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД

При розробці технічного завдання на створення технологічного обладнання для свердловинного гідромоніторного видобутку багатих маломіцних залізних руд в шахтах необхідні знання параметрів устаткування які необхідно забезпечити в процесі роботи. Застосування свердловинного гідромоніторного руйнування у порівнянні з вибуховим знизить викиди шкідливих речовин в атмосферу шахти, дозволить використати шахтну воду для відбійки руди і при певних умовах може бути ефективніше за вибухове руйнування. На засадах енергетичного порівняння у грошовому еквіваленті вибухової та гідромоніторної відбійки встановлені закономірності зміни продуктивності гідромоніторного руйнування при перевищенні яких краще застосовувати гідромоніторне руйнування. Закономірності встановлені для умов масової відбійки руди, при якій витрати вибухових речовин мінімальні. Встановлені закономірності від питомих витрат чотирьох різних вибухових речовин які застосовуються в залізрудних шахтах. Вартість вибухових речовин лінійно впливає на продуктивність гідромоніторного руйнування. При однакових питомих витратах вибухових речовин різного типу різниця в продуктивності гідромоніторного руйнування досягає двох разів. При збільшенні питомих витрат вибухових речовин одного виду з 0,2 кг/т до 0,6 кг/т продуктивність гідромоніторного руйнування зменшується в 2,8 рази. Мінімальна ефективна продуктивність гідромоніторного руйнування у 3 т/год досягається при питимих витратах Акваніту у 0,6 кг/т. В якості енергетичного устаткування запропоновано використання насосів шахтного водовідливу ЦНС-38-220 та ЦНС-60-330 і для даних насосів встановлені ефективні межі продуктивності відбійки. Для мартитових руд з коефіцієнтом міцності 1-2 потрібно забезпечити продуктивність гідромоніторної відбійки на рівні 10 т/год для насосу ЦНС-38-220 та 20 т/год для насосу ЦНС-60-330.

Ключові слова: свердловинний гідромонітор, відбійка, параметри, продуктивність, залізна руда, вибухові речовини.

ВСТУП

Експериментальні дослідження одного з авторів в виконанні в Криворізьких залізрудних шахтах показали можливість ефективного застосування для відбійки багатих залізних руд (Fe_2O_3) свердловинних гідромоніторів [1] та впровадження на цій основі ресурсозберігаючої технології підземного відпрацювання покладів системами підповерхового обвалення [2]. В період проведення тих шахтних експериментів впровадження та розвиток нової технології руйнування рудного масиву були зупинені в наслідок відсутності робочих зразків технологічного обладнання для свердловинного гідромоніторного руйнування, а виділених коштів вистачило тільки на дослідницькі зразки шпурової та свердловинної гідромоніторних установок. Наразі питання впровадження нових технологічних рішень при підземній розробці корисних копалин, які дозволяють знизити вартість видобутку, використати наявну в шахтах воду для виконання технологічних функцій руйнування та транспортування руди, дуже на часі. Цим і обумовлена актуальність питання розробки свердловинного гідромоніторного обладнання для відбійки залізних руд, у тому числі на першому етапі - обґрунтування технічних умов та параметрів експлуатації обладнання для розробки технічного завдання на проектування та виготовлення дослідницьких і промислових зразків, а саме мінімального ефективного значення продуктивності гідромоніторного обладнання.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.

Для відбійки маломіцних залізних руд зараз використовують виключно відбійку за допомогою вибухових речовин [3], методи та методики якої постійно вдосконалюються [4, 5]. Одночасно проводиться все більше досліджень щодо руйнування маломіцних руд та порід струменями води [6, 7], у тому числі й залізних руд [8]. Гідравлічне руйнування гірських порід у порівнянні з вибуховим спричиняє менші викиди шкідливих речовин в атмосферу шахт, що є дуже важливим при визначенні параметрів провітрювання та подачі свіжого повітря в робочі вибої шахт. В роботах висвітлюються різні питання руйнування масиву, у тому числі врахування особливостей руйнування мартитових залізних руд струменями води в залежності від кута зустрічі напряму струменю з нашаруванням гірських порід [9]. Відзначається, що є певні межі основних параметрів свердловинної гідромоніторної відбійки, у тому числі продуктивність відбійки, при яких заміна вибухової відбійки на свердловинну гідромоніторну забезпечить кращі техніко-економічні показники одного з основних виробничих процесів - відбійки.

Продуктивність визначає час гідровідбійки, що впливає на загальний час процесу відбійки і є похідною від міцності порід, питомої витрати води і подачі насоса, потрібна продуктивність насоса визначає його тип та відповідно вартість, як насоса так і витрати, пов'язані з генерацією одного кубічного метра технологічної води з необхідним тиском. Певно існує продуктивність гідровідбійки при якій процес гідромоніторного руйнування буде ефективнішим за процес вибухової відбійки.

При порівнянні різних способів руйнування гірського масиву умовою вибору способу відбійки та подрібнення рекомендують приймати витрати енергії на подрібнення у грошовому еквіваленті [10], що й прийнято в дані роботі.

Вибухову відбійку варто розділити на такі області застосування, що істотно відрізняються одна від одної параметрами вибухових робіт: масова відбійка руд глибокими свердловинами при очисній виїмці, відбійка глибокими свердловинами в стиснутих умовах при утворенні відрізних щілин і підсікання, відбійка шпурами при проходці гірничих виробок. Для кожної області застосування ефективна продуктивність свердловинного гідромоніторної відбійки буде різною. При цьому максимальні величини продуктивності будуть при масовій відбійці, оскільки ці умови є найбільш сприятливими для вибухової відбійки і в яких техніко-економічні показники вибухової відбійки найкращі. Саме для цих умов і виконані дані дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Якщо використати принцип вибору способу відбійки руд із застосуванням вибухових робіт чи свердловинного гідромоніторного відбивання по витратам енергії на подрібнення у грошовому еквіваленті, то у загальному випадку умова ефективності має вид:

$$\Sigma C_1 < \Sigma C_2, \quad (1)$$

де: ΣC_1 - вартість енергії, що витрачається на свердловинну гідромоніторну відбійку руди, грн/т, ΣC_2 - вартість енергії, що витрачається на вибухову відбійку руди, грн/т.

Вартість енергії, що витрачається на свердловинну гідромоніторну відбійку однієї тони руди:

$$\Sigma C_1 = c_1 \cdot E_1 = c_1 \cdot P_1 \cdot N_1, \text{ грн/т}, \quad (2)$$

де: c_1 - ціна електричної енергії, грн/кВт, E_1 - кількість енергії, що витрачається на руйнування однієї тони руди, кВт·год/т, P_1 - продуктивність свердловинного гідроруйнування по руді, т/год., N_1 - потужність електродвигуна насоса, кВт.

Вартість енергії, що витрачається на вибухову відбійку однієї тонни руди:

$$\Sigma C_2 = c_2 \cdot E_2 = 3,6 \cdot c_2 \cdot q_2 \cdot T, \text{ грн/т}, \quad (3)$$

де: 3,6 - перехідний коефіцієнт від МДж до кВт·год, c_2 - ціна одного кілограма вибухової речовини, грн/кг, E_2 - кількість енергії, що витрачається вибуховою речовиною на руйнування однієї тони руди, кВт·год/т, q_2 - питомі витрати вибухових речовин на руйнування однієї тони руди, кг/т, T - енергія (теплота) вибуху одного кілограму вибухової речовини, МДж/кг.

Після підстановки (2) і (3) у (1) отримуються умови при яких свердловинне гідромоніторне руйнування буде ефективніше бурі вибухового руйнування у виді:

$$\frac{c_2}{c_1} > \frac{E_1}{E_2}, \text{ чи } \frac{c_2}{c_1} > \frac{3,6 \cdot N_1}{T \cdot q_2 \cdot P_1}, \quad (4)$$

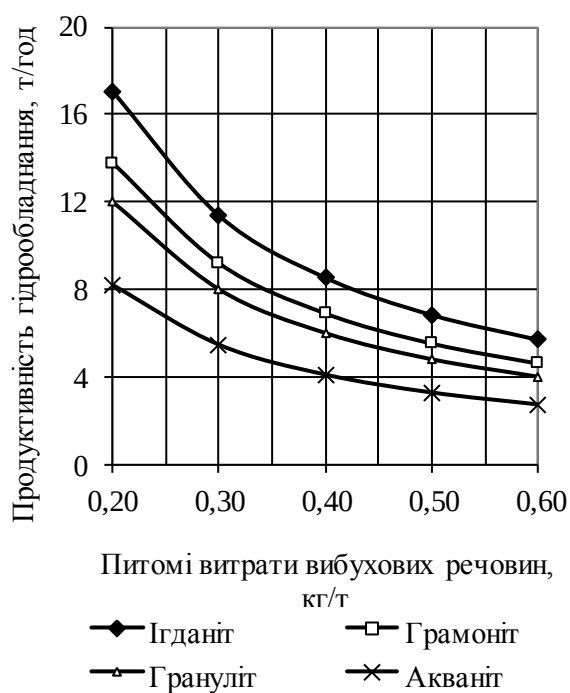
З урахуванням відомої залежності по визначенню потужності насоса від його подачі і напору виходить шукане значення продуктивності відбійки однієї тони свердловинним гідроруйнуванням

$$P_1 > \frac{0,0155 \cdot Q_1 \cdot H \cdot c_1}{T \cdot q_2 \cdot c_2}, \text{ т/год}, \quad (5)$$

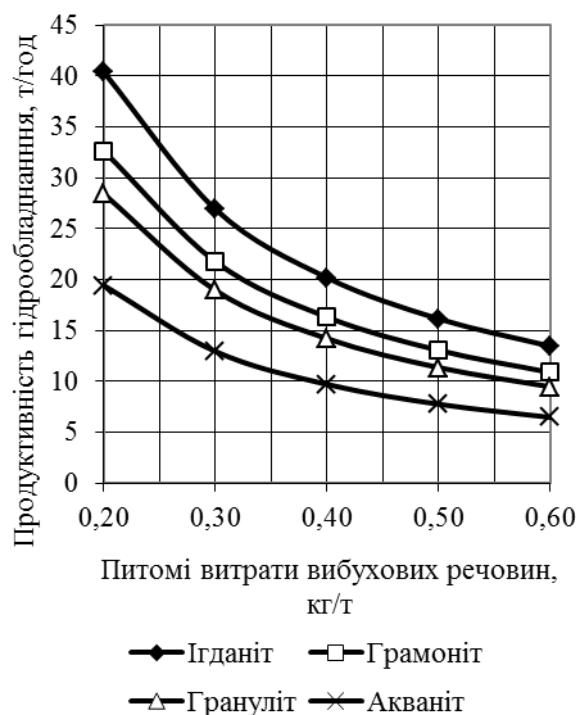
де Q_1 - подача насоса, куб.м/год, H - натиск насоса, м.

Установлені залежності (4 – 5) носять загальний характер і можуть бути трансформовані для конкретних умов.

Питомі витрати вибухових речовин при відбійці руд середньої і нижче середньої міцності на залізорудних шахтах Кривбасу коливається від 0,2 до 0,6 кг/т, у залежності від умов застосування, при цьому використовуються ігданіт ($T=3,8$ МДж/кг), граммоніт 79/21 ($T=4,7$ МДж/кг), грануліти АС-4 і АС-8, граммонал А-8 ($T=5,4$ МДж/кг) і акваніт ЗЛ ($T=7,9$ МДж/кг) [11]. Для свердловинної гідровідбійки в даний час найбільш перспективним є застосування в межах очисного блоку багатоколісних відцентрових насосів дільничного водовідливу ЦНС-38-220 і ЦНС-60-330. Після підстановки у формули (5) параметрів вибухових речовин та насосів, отримані графічні відображення закономірностей зміни продуктивності свердловинної гідромоніторної відбійки від питомих витрат вибухових речовин різного типу для зазначених насосів при відношенні цін на вибухову й електричну енергію, що діє на момент виконання досліджень (рис. 1).



А)



Б)

Рисунок 1 – Залежність мінімальної ефективної продуктивності гідрообладнання при масовій відбійці від питомих витрат вибухових речовин різних типів, при застосуванні насосів ЦНС-38-220 (А) та ЦНС-60-330 (Б)

При однакових умовах насос ЦНС-60-330 потребує практично двократного збільшення продуктивності гідромоніторного руйнування у порівнянні з насосом ЦНС-38-220 при тому що параметри цього насосу на напорі та подачі більше параметрів насоса ЦНС-38-220 в 1,5 рази.

При масовій відбійці багатих залізних руд свого часу була встановлена [11] залежність питомих витрат амоніта від міцності порід, яка описується формулою:

$$q_2 = 0.075 \cdot f + 0.125, \text{ кг/т}, \quad (5)$$

де f - коефіцієнт міцності руди (від 1 до 5).

З урахуванням взаємозв'язку між різними вибуховими речовинами формула (5) має вид:

$$q_2 = \frac{T_i}{T_a} \cdot (0.075 \cdot f + 0.125), \text{ кг/т}, \quad (6)$$

де T_i - теплота вибуху i -тої вибухової речовини яка використовується, МДж/кг, T_a – теплота вибуху амоніту, МДж/кг.

Після підстановки формула для визначення продуктивності свердловинної гідромоніторної відбійки прийме вид:

$$P_1 > \frac{0,04 \cdot Q_1 \cdot H \cdot c_1}{(f + 1,67) \cdot c_2}, \text{ т/год,} \quad (7)$$

Таким чином вперше встановлена закономірність мінімальної продуктивності свердловинного гідромоніторного руйнування від міцності руди та параметрів свердловинного гідромоніторного агрегату, яка дозволяє визначати необхідні параметри роботи свердловинного гідромоніторного агрегату. Продуктивність свердловинного гідромоніторного руйнування гірничих порід (руд) означеної міцності повинна бути не менше встановлених значень величин продуктивності для забезпечення ефективного використання у порівнянні з вибуховим руйнуванням.

При виборі способу масового відбивання масиву гірничих порід з міцністю від 1 до 5 експериментально встановлюється фактично досяжна продуктивність свердловинного гідромоніторного руйнування і порівнюється з визначеною за формулою (7), у випадку перевищення фактичної продуктивності теоретичної для відбійки ефективніше використовувати свердловинне гідромоніторне руйнування.

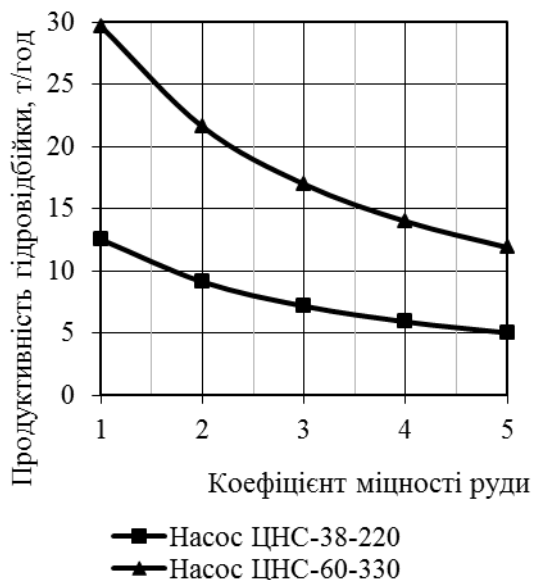
Закономірності зміни мінімальних значень продуктивності гідровідбійки при використанні шахтних насосних агрегатів дільничного водовідливу ЦНС-38-220, ЦНС-60-330 для середніх робочих параметрів роботи насосів мають вигляд рівномірно спадаючих кривих (рис. 2). Отримані значення продуктивності гідровідбійки є верхньою межею даної величини.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Підвищення ефективності та безпеки виробничого процесу відбійки залізних руд може бути досягнуто за рахунок впровадження свердловинного гідромоніторного руйнування. Встановлені умови при яких гідромоніторне руйнування буде ефективніше за вибухове руйнування гірничого масиву при відпрацюванні покладів багатих залізних руд нижче середньої міцності.

При виконанні операції масової відбійки руд мінімальна продуктивність гідроруйнування повинна бути не менше 6 т/год для насоса ЦНС-38-220 і 12 т/год для насоса ЦНС-60-330. В залежності від типу застосованих вибухових речовин продуктивність гідроруйнування змінюється, при збільшенні питомих витрат вибухових речовин продуктивність гідровідбійки зменшується. Так при використанні для відбійки грануліту та при застосуванні насосу ЦНС-60-330 при питомих витратах вибухової речовини у 0,2 кг/т продуктивність гідро відбійки повинна бути не менше 28 т/год, при збільшенні витрат вибухівки до 0,6 кг/т продуктивність зменшується до 6 т/год.

Рисунок 2 – Закономірності зміни мінімальних значень продуктивності гідровідбійки від коефіцієнта міцності руди при масовій відбійці.



Встановлені значення межевої продуктивності гідромоніторного руйнування дозволяють застосовувати їх при розробці технічного завдання на створення зразка свердловинного гідромоніторного агрегату.

ВИСНОВКИ

При відпрацюванні покладів маломіцних руд можливо зменшення витрат та підвищення безпеки відбійки залізних руд за рахунок використання відбійки без вибухових речовин. Впровадження в глибоких залізничних шахтах України свердловинного гідромоніторного руйнування дозволить використати воду природного водопритоку з рудного масиву в якості технологічного інструменту для виконання одного з основних процесів підземних гірничих робіт – відбійки. При цьому необхідно що б свердловинний гідромоніторний агрегат забезпечив мінімально ефективну продуктивність руйнування на встановленому в даних дослідженнях рівні. Для найбільш

розповсюджених маритових залізних руд які мають коефіцієнт міцності 1-2 потрібно забезпечити продуктивність гідровідбійки на рівні 10-20 т/год в залежності від насосного обладнання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Тарасютин В. М., Гирин В. С., Монастырский Ю. А. Экспериментальные исследования процессов скважинной гидротехнологии в шахтных условиях. // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: КТУ. Вып. 63.- 1998. С. 16–20.
2. Монастирський Ю. А. Технологія підповерхового обвалення при відпрацюванні багатих пухких залізних руд складних покладів. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ. Вип. 12.- 2008, С. 78–82.
3. Kosenko A. V. Improvement of sub-level caving mining methods during high-grade iron ore mining. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. № 1. Pp. 19–25. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/019>.
4. Kononenko M., Khomenko O. New theory for the rock mass destruction by blasting. Mining of Mineral Deposits. 2021. №15(2). Pp. 111–123. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.111>.
5. Кононенко М. М., Хоменко О. Є., Косенко А. В. Чисельне моделювання лінії найменшого опору при підриванні зарядів. Збірник наукових праць НГУ. 2022. № 69. С. 43–57. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.043>
6. Liu S., Liu X., Chen J., Lin M. (2015). Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes. Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 28. № 3. Pp. 607–617. <https://doi.org/10.3901/CJME.2015.0305.023>.
7. Rochev V. (2018). Hydraulic borehole mining method possible application at Middle Larba alluvial gold field. E3S Web of Conferences: VII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources». 2018. № 56. P. 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185601025>.
8. Тарасютін В. М. Результати вивчення руйнування високоякісних маритових руд свердловинними гідромоніторами // Відомості Академії гірничих наук України.-1997.- № 2. С. 42-43.
9. Ковбик М. К. Визначення виходу фракційного матеріалу при руйнуванні маритових руд струменями води в залежності від напрямку їх зрізання. Збірник наукових праць НГУ. 2022. № 69-03 С. 35–42. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.035>.
10. Goncharov S. A. Destruction of rocks, ways to improve its efficiency // Mining Journal. - 1996. - № 5. - С. 9-12.
11. Ткачук К. Н. Вибухові роботи у гірничорудній промисловості / К. Н. Ткачук, П. Й. Федоренко. - К.: Вища школа, 1990. - 296 с.

REFERENCES

1. Tarasiutyn V. M., Hyryn V. S., Monastyrskiy Yu. A. Eksperymentalnye yssledovaniya protsessov skvazhynnoi hydrotekhnolohyy v shakhtnykh uslovyiakh. // Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. - Kryvoi Roh: KТУ. Vyp. 63.- 1998. S.16–20.
2. Monastyrskiy Yu. A. Tekhnolohiia pidpoverkhovoho obvalennia pry vidpratsiuvanni bahatykh pukhkykh zaliznykh rud skladnykh pokladiv. // Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – Dnipropetrovsk: NHU. Vyp. 12.- 2008, S.78–82.
3. Kosenko A.V. Improvement of sub-level caving mining methods during high-grade iron ore mining. Nauovy Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. № 1. Rr. 19–25. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/019>.
4. Kononenko M., Khomenko O. New theory for the rock mass destruction by blasting. Mining of Mineral Deposits. 2021. №15(2). Rr. 111–123. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.111>.
5. Kononenko M.M., Khomenko O.Ie., Kosenko A.V. Chyselne modeliuвання linii naimenshoho oporu pry pidryvanni zariadiv. Zbirnyk naukovykh prats NHU. 2022. № 69. S. 43–57. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.043>
6. Liu S., Liu X., Chen J., Lin M. (2015). Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes. Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 28. № 3. Pr. 607–617. <https://doi.org/10.3901/CJME.2015.0305.023>.
7. Rochev V. (2018). Hydraulic borehole mining method possible application at Middle Larba alluvial gold field. E3S Web of Conferences: VII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources». 2018. № 56. R. 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185601025>.

8. Tarasiutin V.M. Rezultaty vyvchennia ruinuвання vysokoiakisnykh martytovykh rud sverdlovynnykh hidromonitoramy//Vidomosti Akademii hirnychokh nauk Ukrainy.-1997.- № 2.-С. 42-43.
9. Kovbyk M.K. Vyznachennia vykhodu fraktsiinoho materialu pry ruinuванні martytovykh rud strumeniamy vody v zalezhnosti vid napriamu yikh zrizannia. Zbirnyk naukovykh prats NHU. 2022. № 69-03 S. 35–42. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.035>.
10. Goncharov S. A. Destruction of rocks, ways to improve its efficiency // Mining Journal. - 1996. - № 5. - S. 9-12.
11. Tkachuk K. N. Vybukhovi roboty u hirnychorudnii promyslovosti / K. N. Tkachuk, P. Y. Fedorenko. - K.: Vyshcha shkola, 1990. - 296 s.

Y. Monastyrskiy, D. Borys. Determination of the minimum effective productivity of borehole hydraulic monitoring equipment for the extraction of low-strength iron ores.

When developing technical specifications for technological equipment designed for borehole hydraulic monitoring extraction of high-grade, low-strength iron ores in mines, it is essential to understand the equipment parameters that must be maintained during operation. Using borehole hydraulic fragmentation compared to explosive methods will reduce harmful atmospheric emissions within mines, allow for the reuse of mine water for ore fragmentation, and, under certain conditions, could be more effective than explosive techniques. Based on an energetic cost comparison of explosive and hydraulic fragmentation methods, the study identifies productivity thresholds above which hydraulic monitoring fragmentation is preferable. The patterns have been established under conditions of large-scale ore blasting, where the consumption of explosives is minimized. These patterns relate to the specific consumption rates of four different types of explosives used in iron ore mines. The cost of explosives has a linear impact on the efficiency of hydraulic monitor ore breakage. Even at equal specific consumption levels of different explosive types, the difference in hydraulic monitor productivity can reach up to a factor of two. When the specific consumption of a single explosive type increases from 0,2 kg/ton to 0,6 kg/ton, the productivity of hydraulic monitor breakage decreases by a factor of 2,8. The minimum effective hydraulic monitor productivity of 3 tons per hour is achieved at a specific consumption of Aquanite of 0,6 kg/ton. Mine drainage pumps CNS-38-220 and CNS-60-330 are proposed as energy equipment, and their effective operational productivity limits for ore fragmentation have been established. For martite ores with a strength coefficient between 1 and 2, the required productivity levels for hydraulic fragmentation are 10 tons per hour when using pump CNS-38-220, and 20 tons per hour when using pump CNS-60-330. The introduction of downhole hydraulic monitoring fracturing in deep iron ore mines in Ukraine will allow the use of natural water inflow from the ore massif as a technological tool for performing one of the main processes of underground mining operations - breaking.

Keywords: borehole hydraulic monitor, ore fragmentation, parameters, productivity, iron ore, explosives.

МОНАСТИРСЬКИЙ Юрій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

БОРИС Даниїл Сергійович, аспірант, Криворізький національний університет, e-mail: borys.kr@ukr.net. <https://orcid.org/0009-0008-8239-1821>

Yurii MONASTYRSKYI, Doctor of Technical Sciences , Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

Daniil BORYS, Graduate Student of Kryvyi Rih National University, e-mail: borys.kr@ukr.net. <https://orcid.org/0009-0008-8239-1821>

DOI 10.36910/automash.v1i24.1737