

К. В. Бабій /к. т. н./

Інститут геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова Національної академії наук
України, м. Дніпро, Україна
e-mail: babiyev@i.ua

Теоретичні основи технології передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах

К. V. Babii /Cand. Sci. (Tech.)/

Institute of Geotechnical Mechanics
N. S. Polyakova NAS Ukraine, Dnepr, Ukraine
e-mail: babiyev@i.ua

Theoretical bases of technology of preliminary ore dressing in the deep iron ore quarries

Мета. Узагальнити теоретичні положення щодо технології передзбагачення руди в кар'єрах задля визначення її основних параметрів, технологічних схем та комплексів, а також необхідних робіт для проектування і впровадження цієї технології.

Результати. Наведено процедуру й обсяг необхідних робіт для впровадження технології передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах. Обґрунтовано доцільність застосування комплексу попереднього збагачення з циклічно-потоковою технологією. Розроблено математичну модель впливу продуктивності комплексу попереднього збагачення на виробничу потужність кар'єра.

Наукова новизна. Вперше встановлено закономірності зміни параметрів потоку рудної маси, яка потрапляє із гірського масиву складної геологічної будови, за якістю і шматкуватістю у взаємозв'язку з параметрами обладнання технологічного комплексу кар'єру, який включає збагачувальний процес.

Практична значущість. На підставі встановлених закономірностей обґрунтовано вплив продуктивності комплексу попереднього збагачення на виробничу потужність кар'єру, продуктивність збагачувальної фабрики і розкривних робіт, за яких досягається значне підвищення потужності гірничого підприємства та економічність видобутку залізних руд. (Іл. 2. Бібліогр.: 7 назв.)

Ключові слова: кар'єр, залізна руда, втрати, зубожіння, попереднє збагачення, виробнича потужність кар'єру, продуктивність, собівартість.

Постановка проблеми. Розробка родовищ відкритим способом супроводжується втратою якості сировини: зниження вмісту корисного компонента у видобутій рудній сировині порівняно з вмістом його в масиві. До підвищеного зубожіння призводить використання у видобувному вибої екскаваторної техніки з великою ємністю ковшів і наявність у робочих уступах породних прошарків потужністю до 10 м. Їх, відповідно до галузевої інструкції, приймають як корисну копалину. Окрім того, при проведенні вибухових робіт змішуються рудні породи з породами розкриття, що мають різну шматкуватість, а це ускладнює їх селективне вилучення. Втрати і зубожіння руд підвищують собівартість виробництва концентрату. У першому випадку за рахунок ускладнення технології виїмки при застосуванні селективної виїмки, а в другому – за рахунок збільшення енерговитрат на переробку пустих порід, які сягають близько 45 кВт/год т концентрату [1]. Отже, з рудних вибоїв кар'єру складної геологічної будови на пе-

реробку потрапляє потік рудної маси, який має різну якість і шматкуватість. Якщо шматкуватість рудного потоку зменшується за технологічними процесами для більш повного розкриття мінеральних зерен, то якісні показники рудного потоку не змінюються аж до вилучення мінеральних зерен на збагачувальній фабриці. Зміну якості і шматкуватості рудного потоку за технологічними процесами дослідники вивчали окремо, а не у взаємозв'язку, що є недоліком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науці й практиці існує багато способів боротьби з втратами і зубожінням, які спрямовані на раціональне добування і переробку корисної копалини. Загалом вони передбачають зменшення зубожіння за рахунок збільшення втрат. Основні способи підвищення якості корисної копалини полягають в удосконаленні існуючих технологій добування і переробки корисної копалини, а це підривання зі збереженням геологічного середовища (В. Н. Мосинец), селективна виїмка

(В. В. Ржевський, Ф. Г. Грачов), планування режимів гірничих робіт (А. Ю. Дриженко), оптимізація параметрів кар'єру (В. Г. Близнюков), крім того розробляють критерії оптимізації формування кар'єрних вантажопотоків (В. О. Півень), усе-реднюють рудну сировину перед збагаченням і металургійним переділом у процесі добування, на складі, у бункері або в безперервному потоці (М. Г. Новожилов, Я. Ш. Ройзен, А. М. Ерперт), визначають межі кар'єру і обчислюють економічно обґрунтований бортовий зміст корисного компонента (Б. П. Юматов, Г. В. Секісов, М. І. Буянть), використовують великошматкову рудорозбірку залізорудної сировини в потоці на конвеєрній стрічці за фотограметричним зображенням (М. П. Тиханський, С. Л. Цвіркун), застосовують попереднє збагачення на збагачувальній фабриці (О.О. Абрамов) або в кар'єрі (М. С. Четверик, Р. С. Улубабов).

Формулювання цілей статті. Одним з напрямів підвищення якості рудного потоку є застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі [2]. За цієї технології якість рудного потоку підвищується безпосередньо в кар'єрі. Але відсутність встановлених закономірностей зміни параметрів потоку рудної маси, яка потрапляє із гірського масиву складної геологічної будови, за якістю і шматкуватістю у взаємозв'язку з параметрами обладнання технологічного комплексу кар'єру, який включає збагачувальний процес, що в результаті впливає на виробничу потужність гірничого підприємства і економічну ефективність його роботи, не дозволяє проектувати і застосовувати технологію передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах.

Тому **метою** роботи є узагальнення теоретичних положень щодо технології передзбагачення руди в кар'єрах задля визначення її основних параметрів, технологічних схем та комплексів, а також необхідних робіт для проектування і впровадження цієї технології.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення комплексу завдань, що полягають: у виявленні взаємозв'язків між параметрами, обґрунтуванні виробничої потужності кар'єру і продуктивності збагачувальної фабрики з випуску концентрату під впливом продуктивності комплексу попереднього збагачення, формуванні технологічних комплексів передзбагачення з урахуванням якості мінеральної сировини, розробці схем розкриття горизонтів, обґрунтуванні технологічних схем та багато інших.

Основний матеріал дослідження. Застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі (ТПРК) забезпечує зниження втрат корисної ко-

палини при видобутку та переробці рудної маси за рахунок застосування сухої магнітної сепарації й зменшення енерговитрат на збагачувальній фабриці при одночасному зниженні собівартості кінцевого продукту. Для впровадження цієї технології та її проектування необхідне вирішення поставлених завдань, які тісно взаємопов'язані між собою та мають вирішуватися комплексно. Тому для відображення взаємозв'язку параметрів, узагальнення і обґрунтування етапів впровадження технології накреслено блок-схему дослідження цього питання (рис. 1).

Таким чином, процедура обґрунтування застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі складається з багатьох етапів, основні з них:

- вивчення геологічної інформації про родовище та властивості порід (переміжність руд та порід на певному родовищі, збагачуваність тощо). Виконання кваліметричної оцінки якості, втрат і зубожіння руд залежно від параметрів системи розробки та екскаваторних машин;

- визначення об'ємів передзбагачення за продуктами (зубожілі магнетитові кварцити, некондиційні руди, породи розкриття, які мають магнітні властивості тощо) для всього родовища, на підставі чого обґрунтовується доцільність їх виділення та переробки;

- формування технологічних комплексів переднього збагачення руди за мінімумом енергетичних витрат. Визначення оптимального ступеня дроблення порід вибухом і дробаркою, що дозволить вибрати обладнання для продукту передзбагачення;

- обґрунтування впливу продуктивності комплексу передзбагачення на виробничу потужність кар'єру, продуктивність розкривних робіт та збагачувальної фабрики, які перебувають у взаємозалежності;

- розробка технологічних схем передзбагачення руди в кар'єрах для обраних умов. Визначення місця розташування технологічного комплексу й транспортного забезпечення гірською масою, промпродукту й відходів.

Технологію передзбагачення руди в кар'єрі економічно доцільно застосовувати в комплексі з циклічно-потоковою технологією (ЦПТ), оскільки є дробарка великого механічного дроблення [3]. Так, ЦПТ застосовують на гірничодобувних підприємствах Криворізького басейну – в першу чергу для кар'єрів «Інгuleцький», «Аннівський», «Глєєватський», «2-біс», 3-й «АРСЕЛОРМІТТАЛ Кривий Ріг» [4]. Відповідно, комплекс обладнання попереднього збагачення раціонально розташовувати на робочому майданчику (або на

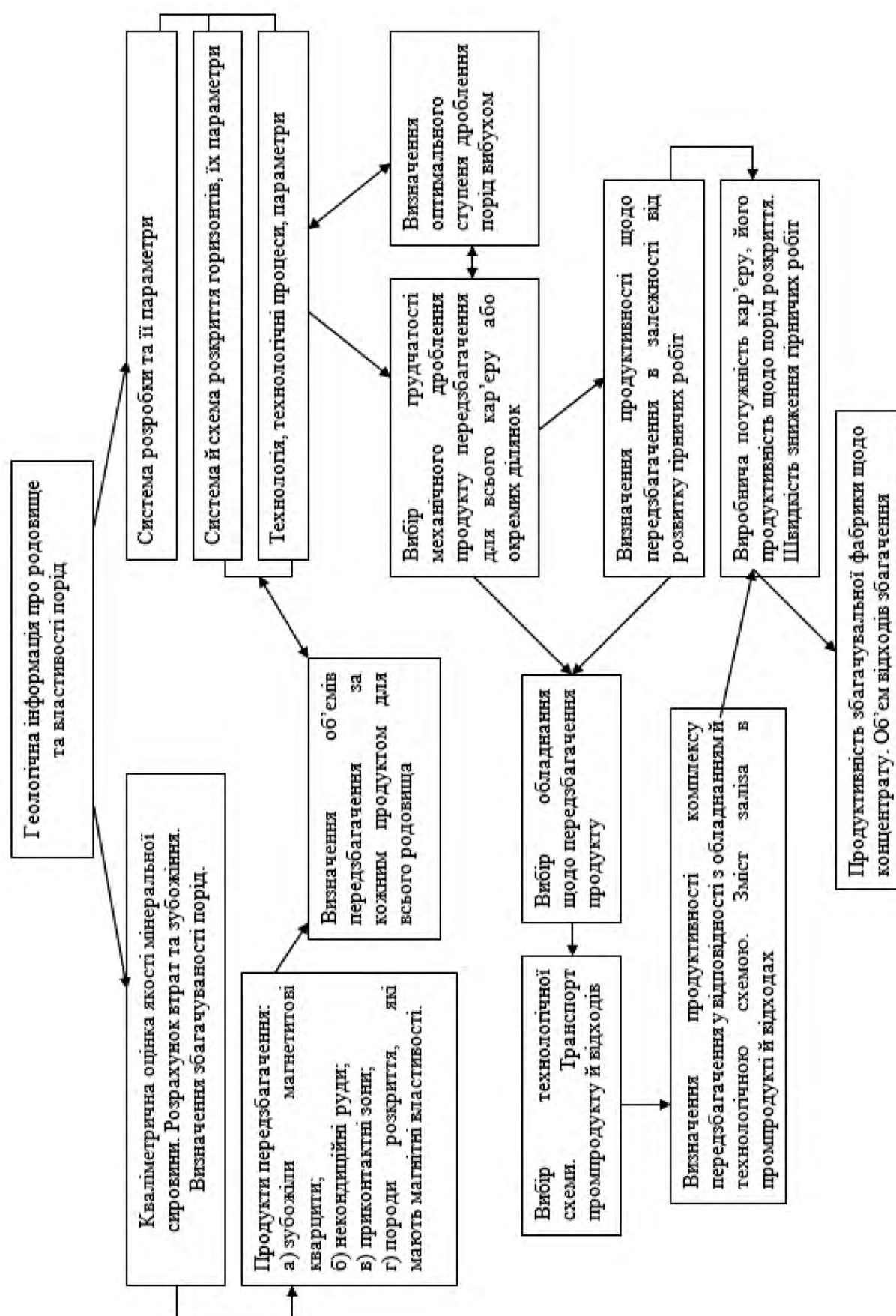


Рис. 1. Блок-схема об'єднання технології передзабагачення руди в кар'єрах

прилеглих уступах) перевантажувального пункту в кар'єрі або на поверхні. За наявності внутрішнього відвалоутворення раціонально розміщувати обладнання в кар'єрі.

Для умов глибоких залізорудних кар'єрів Кривбасу розроблено технологічні схеми, які відрізняються типом застосовуваного обладнання (стаціонарні, напівстаціонарні або мобільні агрегати); місцем розташування обладнання (в забої, на борту кар'єра або в безпосередній близькості від кар'єра); гірничотранспортними системами і передавальними конвеєрами (пологі, похилі і крутопохилі); наявністю потенційного місця для розташування устаткування (на одному уступі, поуступне розташування, на робочому майданчику внутрішньокар'єрного перевантажувального пункту ЦПТ або на земній поверхні); розміщенням відходів (внутрішнє або зовнішнє відвалоутворення) [2].

Впровадження технології передзбагачення руди в кар'єрах на діючих підприємствах приведе до зміни виробничих потужностей. Як показав аналіз результатів лабораторних досліджень, напівпромислових і промислових випробувань, застосування комплексу сухої магнітної сепарації дозволить відібрати від 5,0 до 13,8 % пустих порід з кондиційної гірської маси; 8,2–14,5 % з некондиційної руди; 7,5–15,7 % із зuboжілих руд; 45,0–67,0 % з порід розкриття [2; 5].

Виробнича потужність кар'єру залежить від багатьох гірничих, технічних і технологічних факторів [6], тим самим впровадження цілого комплексу попереднього збагачення в кар'єрі змінить об'єми гірської маси. Тому розроблено математичну модель впливу продуктивності комплексу попереднього збагачення на виробничу потужність кар'єру, продуктивності збагачувальної фабрики і розкривних робіт, яка дозволила обґрунтувати взаємозв'язок між ними та залежності їх параметрів. Встановлений взаємозв'язок продуктивності збагачувальної фабрики і виробничої потужності кар'єру при ТПРК характеризується основними положеннями.

1. Застосування технології передзбагачення руди в кар'єрі при поточній експлуатації приведе до зменшення об'єму гірської маси, що надходить на збагачувальну фабрику, в об'ємі виділених хвостів. Отже, на збагачувальній фабриці будуть дні простою.

2. При постійній продуктивності збагачувальної фабрики та застосуванні технології передзбагачення руди в кар'єрі необхідно або збільшити виробничу потужність кар'єру по руді, або виконувати передзбагачення розкривних порід, щоб компенсувати виділений об'єм хвостів і додати об'єм рудної маси до необхідного на збагачувальній фабриці.

3. При збільшенні продуктивності збагачувальної фабрики можливі два напрями: а) знаходити резерви збагачувальної фабрики або будувати додаткові цехи; б) переробляти попередньо збагачені залізні руди (у т. ч. розкривні породи), які пройшли концентрацію корисного компонента.

На базі встановлених закономірностей зазначених вище параметрів і їх взаємозв'язку розроблена методика коректування виробничої потужності кар'єру. У методиці дається розрахунок виробничої потужності кар'єру при застосуванні технології передзбагачення руди в кар'єрі для різних типів мінеральної сировини. Обґрунтовано зміну продуктивності розкривних робіт; вихід магнітного продукту при передзбагаченні кондиційних, некондиційних, зuboжілих руд і скельних порід розкриття, що містять магнетит; вилучення корисного компонента і зміну об'єму гірської маси, що надходить на збагачувальну фабрику.

Технологія передзбагачення руди в кар'єрах може бути застосована на всіх кар'єрах Кривбасу для зuboжілих руд і для скельних розкривних порід, що містять магнітну складову. Аналітичні розрахунки показали, що при застосуванні технології передзбагачення до порід розкриття Петровського кар'єру вилучення корисного компонента в магнітний продукт становитиме 79–83 % з гірської маси контактних зон з некондиційними кварцитами і 86–89 % з гірської маси контактних зон з безрудними породами. Цей технологічний процес дозволяє знизити втрати корисних копалин у 5,3 раза і збільшити виробничу потужність кар'єру на 2,1–8,3 % за роками залежно від об'єму передзбагачення [7].

При технології передзбагачення руди в кар'єрі:

а) підвищується продуктивність комбінату за концентратом за рахунок переробки більш якісної сировини;

б) знижуються витрати на концентрат у зв'язку із залученням в переробку некондиційних і зuboжілих руд, при цьому зменшується коефіцієнт розкриття;

в) зменшуються об'єми транспортування руди з кар'єру на поверхню і від кар'єру до збагачувальної фабрики;

г) знижується обсяг енергоспоживання, оскільки витрати енергії на дроблення і суху магнітну сепарацію в кар'єрі менші, ніж на подрібнення непередзбагаченої руди на збагачувальній фабриці;

д) при переробці більш якісної мінеральної сировини покращуються якісні показники кінцевої продукції та знижується собівартість.

Собівартість концентрату при ТПРК може бути визначена за виразами:

$$C_K = \left[C_P + \frac{\left(V_B - \frac{q}{\gamma_B} \right) \cdot C_B}{Q + q} \right] \cdot p + C_{ПК}$$

де C_K – собівартість концентрату з урахуванням передзбагаченої руди, умовні одиниці на тонну; C_P – собівартість видобутку руди без врахування погашення витрат щодо розкривних робіт, умовні одиниці на тонну; C_B – собівартість розкривних робіт, умовні одиниці на m^3 ; $C_{ПК}$ – постійні витрати на збагачення однієї тонни концентрату, умовні одиниці на тонну; V_B – продуктивність розкривних робіт, m^3 ; q – маса гірських порід, які підлягають процесу передзбагачення, т; γ_B – об'ємна вага скельних порід розкриття з магнітними включеннями, t/m^3 ; Q – виробнича потужність кар'єру, млн т/год; p – витрати руди на одну тонну концентрату.

Дослідження впливу технології передзбагачення руди в кар'єрі на продуктивність збагачувальної фабрики і собівартість кінцевої продукції виявили прямо пропорційну залежність, де собівартість концентрату суттєво зменшується від об'ємів передзбагачення (рис. 2). Крім того, собівартість залежить від намірів керівництва щодо стабільного виробництва або нарощування вихідної продукції (криві 1 і 2 рис. 2).

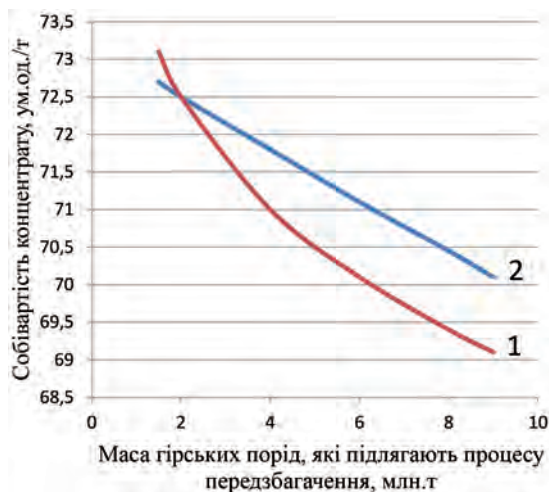


Рис. 2. Залежність собівартості концентрату від об'ємів передзбагачення руди в кар'єрі:

- 1 – при нарощенні виробництва концентрату;
2 – без збільшення виробництва концентрату

Таким чином, втрати і зuboжіння руди, наявність некондиційних руд, експлуатація на кар'єрах обладнання великої одиничної потужності, а також наявність багатьох різновидів сортів руд викликає необхідність застосування технології передзбагачення мінеральної сировини безпосередньо в кар'єрах. Цьому сприяє застосування циклічно-поточної технології, що включає велике механічне дроблення, і створення електро-

$$C_K = \left[C_P + \frac{\left(V_B - \frac{q}{\gamma_B} \right) \cdot C_B}{Q} \right] \cdot p + C_{ПК} \quad (1)$$

магнітних сепараторів для передзбагачення слабомагнітних і магнітних великошматкових руд.

Висновки

1. Підвищення ефективності видобутку залізорудної сировини досягається збільшенням вмісту корисного компонента в рудному вантажопотоці за рахунок впровадження технологічного процесу в кар'єрі (сухої магнітної сепарації), формуванні технологічних схем та комплексів обладнання в очисному вибої, на борту кар'єра, на внутрішньокар'єрних або зовнішніх перевантажувальних пунктах ЦПТ, що дає можливість не витрачати час на селективну виїмку корисної копалини, відбирати безрудні породи з рудного вантажопотоку, отримувати з хвостів попереднього збагачення додатковий продукт – щебінь, покращити якість вихідної сировини з кар'єру та знизити енерговитрати на переробку.

2. При формуванні технологічного комплексу і вибору обладнання – кількість стадій дроблення гірської маси залежить від типу руд та її цінності, тобто попереднє збагачення кондиційних руд раціонально виконувати після дрібного дроблення (крупність шматків 25–0 мм), що супроводжується запиленістю процесів, тому краще на збагачувальній фабриці відбирати сухі хвости до 5,0–13,8 %; некондиційні руди та руди зuboжіння з контактних зон раціонально передзбагачувати після середньої стадії дроблення (крупність шматків 100–0 мм), що дозволяє відбирати до 7,5–15,7 % сухих хвостів; тоді як породи розкриття з вмістом заліза підпадають сухій магнітній сепарації після великого дроблення (крупність шматків 350–0 мм), що дозволяє відбирати до 45,0–67,0 % сухих хвостів.

3. Встановлено та використано взаємозв'язки параметрів рудного потоку щодо якості руди та її шматкуватості з параметрами обладнання при технології передзбагачення руди в глибоких кар'єрах.

Бібліографічний список / References

1. Баранов, В. Ф. Пути снижения расхода электроэнергии на железорудных обогатительных фабриках / В. Ф. Баранов, В. А. Сентимова, А. О. Ядрышников // Обогащение руд. – 2000. – № 2. – С. 14–18.

Baranov V. F., Sentemova V. A. and Yadryshnikov A. O. (2000). *Puti snsazheniya raschoda elektroenergii na zhelezorudnykh obogatitelnykh fabrikach* [Ways of

decline of expense of electric power on iron-ore washeries]. *Ore-dressing*, no. 2, pp. 14-18.

2. Бабий, Е. В. Технология предобогащения железных руд в глубоких карьерах / Е. В. Бабий. – К.: Наукова думка, 2011. – 184 с.

Babiy K. V. (2011). *Tekhnologiya predobogashcheniya zheleznykh rud v glubokikh karyerakh* [The technology of preliminary enrichment of iron ores in the deep quarries], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

3. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М. С. Четверик, В. В. Перегудов, А. В. Романенко и др. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 356 с.

Chetverik M. S., Peregudov V. V., Pomanenko A. V. (2012). *Tsiklichno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh karerakh. Perspektivy razvitiya* [Cyclic-flow technology in deep pits. Prospects of development], Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.

4. Криворізький залізорудний басейн. До 25-річчя з початку промислового видобутку / Ю. Г. Вілкул [та ін]. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2006. – 583 с.

Vilkul Yu. G. (2006). *Kryvoriz'kyi zalizorudnyy baseyn. Do 25-richchya z pochatku promyslovoho vydobutku* [Kryvoriz'kiy iron-ore pool. To 25-richchya from the beginning of industrial booty], Kryvyi Rih, Vydavnychy tsentr KTU.

5. Четверик М. С. Современное использование сухой магнитной сепарации и возможность ее применения в технологии предобогащения руды в карьере / М. С. Четверик, Е. В. Бабий // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Кривий Ріг, 2009. – № 23. – С. 14-18.

Chetverik M. S. and Babiy K. V. (2009). *Sovremennoe ispolzovanie suhoi magnitnoy separatsii i vozmozhnost ee primeneniya v tehnologii predobogashcheniya rudyi v karere* [Modern use of dry magnetic separacii and possibility of its application in technology of pre-enriching of ore in a career]. *Visnyk Kryvoriz'koho tekhnichnoho universytetu. Zbirnyk naukovykh prats'*, no. 23, pp. 14-18.

6. Четверик, М. С. Определение производственной мощности глубоких карьеров, достижимой по горнотехническим возможностям / М. С. Четверик, О.А. Медведева // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 64-67.

Chetverik M. S., Medvedeva O. A. (2006). *Opredeleniye proizvodstvennoy moshchnosti glubokikh karyerov. dostizhimoy po gornotekhnicheskim*

vozmozhnostyam [Determination of production capacity of deep quarries, attainable on gornotekhnicheskimi possibilities]. *Metallurgical and mining industry*, no. 6, pp. 64-67.

7. Повышение производственной мощности карьера с применением комплекса предобогащения / М. С. Четверик, Е. В. Бабий, В. В. Терещенко, К. А. Левченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2013. – № 3. – С. 96-101.

Chetverik M. S., Babiy K. V., Tereshchenko V. V. and Levchenko K. S. (2013). *Povyishenie proizvodstvennoy moschnosti karera s primeneniem kompleksa predobogasheniya dlya perevoda* [The increase in production capacity of the quarry using a complex pre-enrichment], *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 96-101.

Purpose: to summarize the theoretical provisions on pre-enrichment technology in quarries to determine its main parameters, technological schemes and complexes, as well as the necessary work on the design and implementation of this technology.

Findings. The procedure and scope of necessary works for introduction of ore pre-enrichment mining technology in deep iron ore quarries are presented. The expediency of using a pre-enrichment complex with cyclic-flow technology is substantiated. A mathematical model of the influence of the productivity of the pre-enrichment complex on the production capacity of the quarry has been developed.

Originality. The regularities of the change in the parameters of the ore mass flow have been established for the first time, which comes from a mining massif of a complex geological structure, in quality and lumpiness in interrelation with the parameters of the equipment of the quarry technological complex, which includes the enrichment process.

Practical value. Based on the established regularities, the pre-concentration complex productivity substantiate the influence on the production capacity of the quarry, the productivity of the concentrating mill and the overburden operations. Thereby a significant increase in the capacity of the mining enterprise and the economical extraction of iron ore is achieved.

Key words: quarry, iron ore, losses, dilution, preliminary enrichment, quarry production capacity, productivity, cost price.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком**

Поступила 29.01.2018