

© А.Ю. Череп¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

УЗАГАЛЬНЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

© A. Cherep¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

GENERALIZATION OF THE METHODOLOGICAL APPROACH TO EVALUATION OF EFFICIENCY OF MINING AND PROCESSING PRODUCTION

Мета – узагальнення вихідних даних та науково-прикладне визначення технологічних факторів, які обумовлюють концептуальний підхід до поліпшення економічних результатів процесів видобування корисної копалини та її збагачення, а в підсумку ефективність виробничої діяльності гірничо-збагачувального підприємства.

Методика полягає в обґрунтуванні факторів технологічного й економічного підходів до оцінювання виробничих процесів видобування й збагачення марганцеворудної сировини, що визначають собівартість концентрату, втрати запасів рудної сировини та металу у відходах збагачення, а також обсяг розкривних порід, які треба розробити для виготовлення заданого обсягу концентрату.

Результати дослідження. Визначена невідповідність технологічної схеми гірничих робіт на марганцевих кар'єрах ПГЗК вимогам виробництва конкурентного концентрату у разі зниженого попиту, а також напрям її реконструкції. Обґрунтований вплив якості рудопотоку на економічні результати гірничо-збагачувального виробництва й визначено раціональні умови усереднення якості рудної сировини різних кар'єрів. Розроблений науково-прикладний підхід до визначення раціонального обсягу розкривних порід, який забезпечує розкриття рудного пласта в обсязі, що дозволяє мінімізувати витрати кар'єру на розкривні роботи.

Наукова новизна. Визначений принцип удосконалення технологічної схеми видобування горизонтального рудного пласта при зниженому попиті на продукцію. Узагальнений методичний підхід до оцінювання ефективності виробничої діяльності гірничо-збагачувального підприємства, ураховуючи собівартість концентрату, втрати запасів рудної сировини та металу у відходах збагачення, а також обсяг розкривних порід, що задовольняє ринковий попит на концентрат. Встановлена певна непрямолінійна залежність між якістю марганцевої руди та ступенем вилучення металу в концентрат, яку слід оцінювати при формуванні рудопотоку, що збагачується.

Практичне значення. Оцінена технологія гірничих робіт на кар'єрах ПГЗК за собівартістю концентрату, що відображає їх адаптацію до ринкових умов господарювання. Визначений статистичний взаємозв'язок між технологічно-економічними умовами видобування рудної сировини та якістю рудопотоку (за вмістом металу). Запропонований методичний підхід до усереднення марганцевої руди по двох групах кар'єрів, що забезпечує найбільший обсяг вилученого металу та мінімізує витрати підприємства на розкривні роботи.

Ключові слова: кар'єр, виробничі процеси, марганцева руда, якість рудопотоку, технологічно-економічна ефективність, вилучення металу, собівартість концентрату, реконструкція.

Вступ. У проектах відкритої розробки родовищ певні обмеження використання природних ресурсів зазвичай не враховуються в повному обсязі або не розглядаються. На сучасному етапі у процесі наукових досліджень еколого-економічних способів розкриття та систем розробки родовищ корисних копалин не враховують технологічну ефективність. Розробка родовищ ґрунтується головним чином на традиційних, добре апробованих технологіях ведення гірничих робіт. Ці технології передбачають насамперед видобуток найбільшого обсягу корисних копалин. Водночас останнім часом вчені демонструють підвищену науково-прикладну зацікавленість в економіко-математичному обґрунтуванні технологічних рішень стосовно різних етапів відпрацювання родовища – від будівництва до ліквідації гірничого підприємства.

Підвищення ефективності гірничо-збагачувального виробництва не тільки визначає раціональне використання природних ресурсів, а й істотно впливає на економічні результати діяльності підприємства. Названі особливості визначають вимоги та обмежують вихідні умови виробництва, саме вони формують фактори впливу на технологічну ефективність виробництва металургійної сировини.

Актуальність досліджень. Урахування еколого-економічної оцінки виробничих процесів розвитку технології гірничого підприємства з формується як узагальнена модель дій, спрямованих на підвищення прибутку підприємства, рівня вилучення запасів із надр, зниження витрат на видобуток та збагачення руди, скорочення обсягів відходів та викидів шкідливих речовин. Слід зазначити наукові роботи, пов'язані з вирішенням вищезазначеної проблеми.

Насамперед слід згадати результати досліджень А.Г. Шапаря та М.С. Четверика, які багато в чому вирішують питання зниження технологічного впливу відкритих гірничих робіт на обсяги порушення природного середовища. У публікації [1] пропонується оперативне планування обсягів видобувних та розкривних робіт у кар'єрі з мінімізацією площі земельного відведення. При цьому виключається зовнішнє відвалоутворення, суттєво скорочуються обсяги рекультиваційних робіт. У науковій роботі [2] описані дослідження актуальної проблеми охорони природних ресурсів. Розроблено технологію попереднього збагачення руди в кар'єрі, що дає змогу зменшити її втрати, вилучити позабалансові запаси та підвищити потужність гірничого підприємства.

З метою адаптації гірничо-збагачувального виробництва до реалізації продукції в ринкових умовах необхідно здійснити його принципове вдосконалення у напрямі відповідності обсягів [3, 4, 5], якості та собівартості виробленої продукції ринковому попиту (реконструкція підприємства, його технічне переозброєння, консервація окремих підрозділів тощо). У статті [6] запропоновано структуру двовимірної гіпотетичної моделі геологічного блоку для планування параметрів гірничих робіт, що дозволяє змодельювати робочу зону кар'єру та визначити ймовірні терміни та витрати на його закриття. Показники життєзабезпечення при цьому оцінюють та порівнюють за критеріями стабільності місцевих мешканців та керівних осіб, які приймають рішення [7]. Тому критерії слід розглядати для запобігання необґрунтованим діям у контексті сприяння сталому розвитку на місцевому рівні.

Запропоновано реальну модель для оцінки вартості видобутку рудної сировини відкритим способом в умовах невизначеності її ринкової ціни [8]. Модель дозволяє максимізувати чисту наведену вартість видобувного комплексу, виходячи з послідовності та швидкості вилучення рудних запасів. На роботі [9] оцінка економічної ефективності розробки родовищ враховується, виходячи з визначенні норми дисконту.

Показано глобальну оптимізацію гірничодобувних та гірничопереробних комплексів, спрямовану на створення графіка гірничих робіт для різних кар'єрів та технологічних схем рудопідготовки за максимальної економічної цінності підприємства в цілому [10]. Викладений методичний підхід до планування гірничих робіт на основі точніших прогнозів відхилень параметрів виробничих процесів у кар'єрі від початкових забезпечує краще прогнозування з мінімальними втратами [11].

Для проектування кар'єру важливе значення мають кількісні оцінки екологічних витрат при видобутку корисних копалин. У цьому аспекті представлений метод планування графіка гірничих робіт з безпосереднім урахуванням прямих екологічних витрат [12].

У розглянутих публікаціях недостатньо висвітлені методичні аспекти економічного обґрунтування факторів, що впливають на технологічну ефективність гірничо-збагачувальних підприємств. Через слабку адаптацію до змін на ринку, невідповідність технології розробки та видобутку на кар'єрах економічним вимогам експлуатації родовища деякі гірничо-збагачувальні комбінати суттєво знизили обсяги видобутку. Сьогодні впровадження гнучкіших технологій, що відповідають вимогам ринку металургійної сировини, є однією з головних складових успішної роботи гірничих підприємств.

Викладення основного матеріалу дослідження. У загальному вигляді технологічна ефективність розробки горизонтальних родовищ, на думку авторів, визначається такими умовами:

- роботи з видобутку на кар'єрі здійснюються відокремленим уступом, для транспортування руди використовують навантажувачі або автосамоскиди;
- технологічна схема гірничих робіт забезпечує поперечне переміщення розкривних порід у відвал (без використання конвеєрної доставки);
- комплекс устаткування передбачає видобуток рудної сировини в обсязі, що відповідає ринковому попиту.

Питання, пов'язані з визначенням факторів впливу на обсяги використаних кар'єром природних ресурсів, є важливими для розробки загальної концепції вибору методів ресурсозбереження та, через брак достатньої інформації в наукових публікаціях у цьому напрямі, вимагають подальшого методичного обґрунтування.

Суперечності технологічних та економічних інтересів підприємств гірничодобувної галузі зумовлені об'єктивними факторами: обмеженістю природних ресурсів та недосконалістю сучасних виробничих процесів видобутку та переробки корисних копалин. Тому метою статті є узагальнення вихідних

даних та методичне визначення технологічних факторів, які формують основу підвищення ефективності гірничодобувного процесу в кар'єрі, а також подальшого процесу збагачення рудної сировини, що в результаті впливає на загальну ефективність гірничо-збагачувального виробництва. Дослідження виконано на прикладі кар'єрів та збагачувальних фабрик Покровського ГЗК (ПГЗК).

Для марганцевих кар'єрів ПГЗК, що відпрацьовують горизонтальні родовища, раціональною є технологічна схема розробки розкривних порід трьома уступами за безтранспортною (надрудний уступ) та транспортно-відвальною системами (передовий та проміжний уступи). Передовий (верхній) уступ розробляють роторним комплексом SRs-2400+VR, розкривні породи переміщують і складують у відвал конвеєром КЛ-2000 та відвалоутворювачем ЗШР. Для відпрацювання проміжного (основного) уступу застосовують роторний екскаватор ЕРШР-5250, перевантажувач ПГ та відвалотвір ОШР. Нижній (надрудний) уступ переміщують у відвал крокуючими екскаваторами ЕШ-15/90 або ЕШ-20/90.

Дана технологічна схема відпрацювання розкривних порід достатньо відповідає сучасним вимогам експлуатації горизонтального местородження, проте щодо забезпечення конкурентних переваг виробленого концентрату має певні недоліки:

- високу вартість транспортування розкривних порід;
- значні простої великої кількості технологічного обладнання;
- підвищені втрати обсягів та якості рудної сировини, що добується.

Названі чинники відбивають технологічну ефективність видобутку і переробки (збагачення) марганцевої руди, а кінцевому підсумку зумовлюють конкурентоспроможність металургійної сировини над ринком. Розглянемо докладніше ці чинники, що дозволить визначити напрями забезпечення конкурентних переваг продукції.

Витрати видобутку і збагачення руди оцінюються собівартістю виробництва концентрату [5]. Ця собівартість включає витрати на видобуток марганцевої руди в кар'єрі та транспортування її на збагачувальну фабрику.

Оцінимо технологію видобутку горизонтального пласта марганцевої руди на кар'єрах ПГЗК протягом 10 років. З ринкового попиту концентрат – 12500 т на місяць – визначено продуктивність кар'єру по руді – 600 тис. т/рік. Витрати безпосередньо на збагачення руди з будь-якого кар'єру для виробництва 1 т концентрату прийнято рівними 5,57 грн, обсяг інвестицій на розвиток технічних засобів – 3300 тис. грн/рік.

На підставі розрахунків з початку періоду, що розглядається, найменші, майже однакові (з різницею 4%) витрати на гірничо-збагачувальне виробництво досягаються при використанні рудної сировини, здобутої на кар'єрах «Шевченківський» та «Північний» (табл. 1). Це відбувається завдяки ефективнішим комплексам обладнання та сприятливим гірничо-геологічним умовам відпрацювання рудного пласта на цих кар'єрах. Складні умови видобутку, а також експлуатація сильно зношеного технологічного обладнання

зумовлюють на кар'єрі «Чкаловський-1» найбільші витрати на виробництво концентрату (дорожчання порівняно із середнім рівнем витрат 25 %). Крім зазначених вище причин, це можна пояснити невідповідністю на кар'єрі потужного обладнання, що потребує значних витрат на його обслуговування, фактичного попиту на рудну сировину, що сильно скоротився останнім часом. Таким чином, впроваджені на перших із зазначених вище кар'єрів комплекси обладнання, які краще адаптовані до технологічних схем видобутку, за витратами на виробництво концентрату є більш ефективними, ніж на кар'єрах «Чкаловський-1» та «Чкаловський-2».

Таблиця 1

Основні складові витрат на гірничо-збагачувальне виробництво

Кар'єр	Витрати на 1 т рудної сировини, грн.			Витрати на 1 т концентрату, грн.	
	Розробка розкривних порід	Видобуток руди	Транспортування руди	Охорона довкілля	Всього
«Шевченківський»	3,55	26,46	3,55	14,34	129,17
«Північний»	6,35	39,31	6,35	18,04	134,47
«Чкаловський-2»	11,30	34,64	11,3	21,31	142,39
«Чкаловський-1»	9,60	35,85	9,6	21,03	167,38
«Чкаловський-1» (80 %) + «Шевченківський» (20 %)	8,39	33,97	8,39	19,69	159,84
«Чкаловський-1» (60 %) + «Шевченківський» (40 %)	7,18	32,09	7,18	18,35	152,1

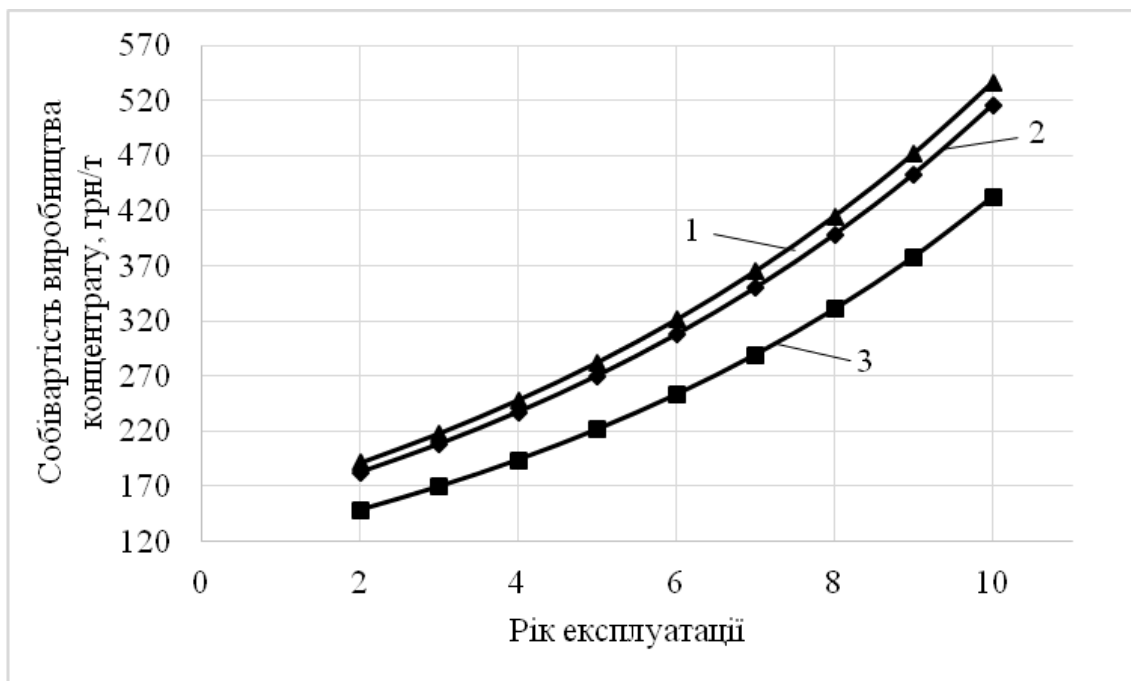


Рис.1. Собівартість виробництва концентрату при використанні рудної сировини різних кар'єрів: 1 – «Чкаловський-1», 2 – «Чкаловський-1» (60 %) та «Шевченківський» (40 %); 3 – «Шевченківський»

Для повнішого використання наявних запасів марганцево-рудної сировини з кар'єрів на збагачення направляється рудопотік усередненої якості (за змістом Mn_p), отриманий в результаті змішування багатой і бідної руди з різних кар'єрів. Крім того, це дозволяє контролювати витрати на виробництво концентрату шляхом усереднення собівартості видобутої сировини. Залежно від співвідношення показників якості руди та її собівартості на кар'єрах, об'єднаних одним рудопотоком, витрати на виробництво концентрату або знижуються або підвищуються. Так, домішуванням 20-40% бідної, але дешевої руди кар'єру «Шевченківський» до багатой руди з кар'єру «Чкаловський-1» витрати на концентрат можуть бути знижені на 5-10 % (див. рис. 1).

При обґрунтуванні доцільного рівня усереднення якості руди за критерієм собівартості виробленого концентрату слід враховувати, що вміст металу Mn_p у руді впливає на коефіцієнт вилучення цього металу в концентрат, а значить, на втрати експлуатаційних запасів рудної сировини родовища (рис. 2).

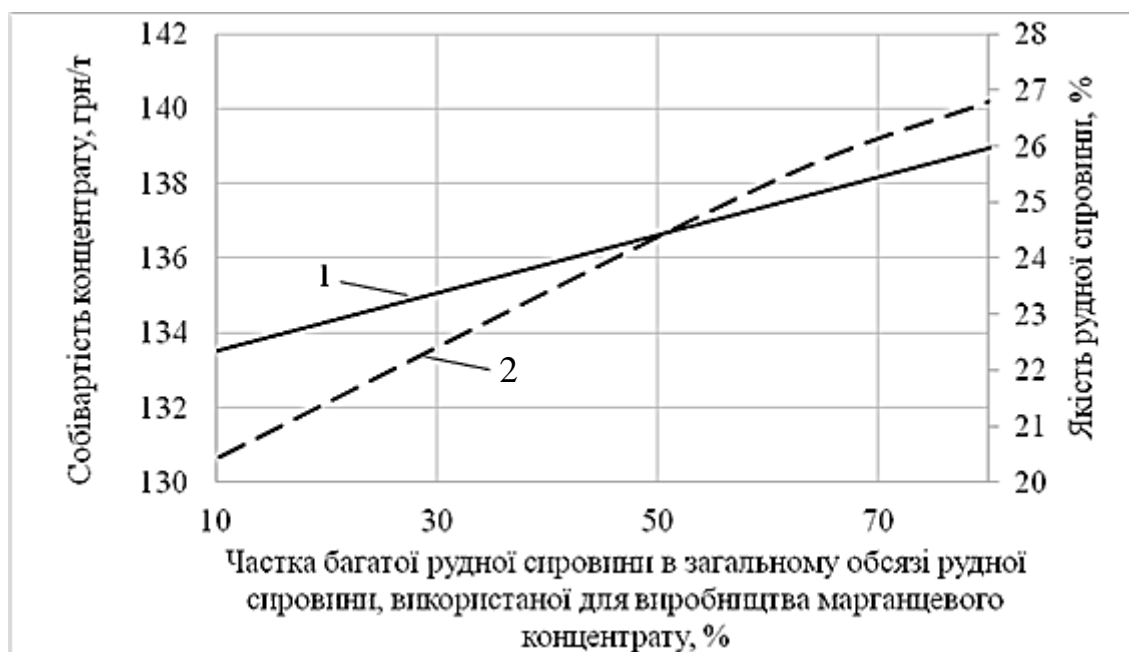


Рис. 2. Графіки, що демонструють вплив якості рудної сировини (1) на собівартість виробництва концентрату (2)

За статистичними даними збагачувальних ПГЗК, між коефіцієнтом ε , %, і вмістом металу Mn_p існує статистична залежність:

$$\varepsilon = -0,0168Mn_p^2 + 2,4025Mn_p + 15,583; R^2 = 0,941$$

На підставі зазначеної залежності можна констатувати, що підвищення вмісту марганцю в руді при його незначному вмісті (21-25%) не призводить до суттєвого підвищення рівня вилучення металу в концентрат (від 61 до 64%), водночас за високого вмісту металу (28-32%) підвищення вмісту марганцю дозволяє значно підвищити рівень його вилучення (від 68 до 76%), завдяки чому досягаються найменші втрати металу. Отже, найменші втрати металу Mn_p відбуватимуться при розподілі видобутку руди та її збагаченні окремими рудопотоками. Усереднення руди за групами кар'єрів за вказаним критерієм ефективності слід здійснювати

таким чином, щоб в одній групі було складовано концентрат з низьким вмістом марганцю в рудній сировині, а в іншій – з високим.

У відходах збагачення, що прямують до хвостосховища, втрачається певний обсяг металу (марганцю). Встановимо обсяг металу, витягнутого з рудної сировини у його збагачення, оскільки він характеризує рівень втрат рудних запасів на родовищі. Втрати металу, т/рік, у відходах збагачення рудопотоку i -го кар'єру можуть бути визначені за виразом: $Me_i = O_{pi}Mn_{pi}(1 - \varepsilon_i)$

Використовуючи цей вираз щодо показників видобутку руди та виробництва концентрату на Покровському ГЗК (табл. 2), отримуємо, що той чи інший кар'єр повинен забезпечувати виробництво заданого обсягу концентрату (12500 т на місяць) згідно з ринковим попитом на нього.

Сьогодні збагачувальні фабрики виробляють концентрат із рудної сировини, що періодично поставляється тим чи іншим кар'єром. Якщо концентрат виробляють із багаті руди, то обсяг її видобутку знижується, а отже, скорочується об'єм розкривних порід, які необхідно видалити з кар'єрів під час видобутку руди середньої якості. У той же час при виробництві заданого об'єму концентрату з бідної руди потрібно видобувати її більший об'єм, що призведе до збільшення об'єму розкривних порід. Встановимо обсяг цих порід, який може бути скорочений, якщо обсяг річного видобутку буде усереднюватися за якістю руди, що збагачується, шляхом змішування декількох кар'єрних потоків.

Таблиця 2

Показники гірничо-збагачувального процесу на Покровському ГЗК

Кар'єр	Видобуток руди, тис. т/міс	Зміст марганцю в руді, %	Коефіцієнт вилучення металу	Втрати металу, тис. т/міс
«Чкаловський-1»	36,31	23,69	0,63	3,17
«Чкаловський-2»	29,42	27,03	0,68	2,53
«Північний»	33,36	24,99	0,65	2,91
«Шевченківський»	41,36	21,85	0,60	3,60

За результатами розрахунку автора, нижча якість марганцевої руди (21,85% Mn) призводить до нижчого коефіцієнта вилучення металу (0,601) та найбільшим обсягом збагачення руди (41,36 тис. т/міс), хвостів збагачення (28,86 тис. т/міс) та переміщення розкривних порід (570,8 тис. м³/міс). Підвищення якості рудної сировини дозволяє покращити показники виробництва концентрату за рахунок меншого об'єму покриваючих порід. Змішування рудної сировини в рівних обсягах для випуску 600 тис. т концентрату показує можливість їх скорочення з 4,71 до 10,05%.

Якщо необхідно відповідно до попиту зробити концентрат обсягом O_{kn} , то цього слід витягти руду обсягом O_{pn} . При поділі всього обсягу руди, що видобувається кількома кар'єрами, кожен із них має забезпечити рудну сировину в обсязі O_{pi} . Виходячи з цього обсягу руди, i -й кар'єр повинен відпрацювати відповідний обсяг розкривних порід V_{ni} , м³/міс(рік). У такому разі виконуватиметься умова: $V_{ni} = O_{pi}K_{pi} = O_{ki}\beta_iK_{pi}$,

де K_{ri} – коефіцієнт розтину при видобутку руди на i -му кар'єрі, $\text{м}^3/\text{т}$; β_i – витрати руди i -го кар'єру на випуск 1 т концентрату, т.

Цей вираз дозволяє планувати коефіцієнт розкриття рудного пласта згідно з якістю рудної сировини. Як випливає з даного виразу, об'єм розкритих порід можна регулювати зміною виходу концентрату β_i із сирової руди i -го кар'єру за рахунок її якості – від бідної руди до багатой, відносно усередненої. Зниження або перевищення сумарного обсягу розкриття, який треба видалити з кар'єру для видобутку заданого обсягу руди та виробництва концентрату, встановлюють виходячи із суми обсягів розкритих порід, що забезпечують обсяги всіх кар'єрних рудопотоків.

Розглянуто ефективність запропонованого рішення щодо збагачення заданого об'єму руди за окремими рудопотоками виходячи з об'ємів розкритих порід та відходів. Досліджено два рудопотоки, які суттєво відрізняються за вмістом марганцю в руді (бідний – 20% та багатий – 32%, у середньому – 26%). Якщо вміст підвищується з 20 до 26 %, то необхідний об'єм розтину зменшується на 185 тис. $\text{м}^3/\text{міс}$, а при зниженні вмісту з 32 до 26% збільшується на 140 тис. $\text{м}^3/\text{міс}$ (див. рис. 3, а). Аналогічно змінюються місячні обсяги відходів збагачення: 19 та 10 тис. т. Ці результати розрахунків свідчать про доцільність роздільного збагачення сировини багатого та бідного рудопотоків. Іншими словами, слід акумулювати необхідні обсяги руди заданої якості на збагачувальній фабриці для виробництва концентрату з подальшим перенастроюванням процесів збагачення на руду з іншим вмістом металу (інший рудопотік/кар'єр) для отримання концентрату вищого/нижчого сорту з мінімальними витратами.

Висновки.

1. Впроваджена на марганцевих кар'єрах ПГЗК технологічна схема розробки рудного пласта базується на відпрацюванні трьох високих розкритих уступів (заввишки близько 20 або 30 м) потужними гірничотранспортними комплексами (продуктивністю понад 10 млн м^3 на рік). Через свою конструкцію така схема не може бути переналаштована на видобуток рудної сировини для виробництва конкурентного концентрату в малому обсязі у разі зниженого попиту.

2. Обґрунтовано, що в ринкових умовах господарювання технологія відпрацювання горизонтального рудного пласта відкритим способом має базуватися на застосуванні великої кількості одиниць кар'єрного обладнання з невеликими робочими параметрами, розташованого на значному за довжиною фронті видобуткових, розкритих та відвальних робіт (за принципом розподілу робочих вибоїв у глибоких кар'єрах).

3. Доведено, що технологічні та економічні умови видобутку та переробки рудної сировини в цілому характеризуються якістю рудопотоку (містом металу), що формується відповідно до цих умов. Узагальнено методичний підхід до оцінки ефективності діяльності гірничо-збагачувального підприємства, що враховує собівартість концентрату, втрати запасів рудної сировини та металу у відходах збагачення, а також обсяг розкритих порід, які потрібно видалити з кар'єру для задоволення ринкового попиту на концентрат. Якість рудопотоку

впливає величину названих критеріїв оцінки і цим визначає оптимальні умови формування.

4. Вплив названих у п. 3 критеріїв оцінки в цілому відображає ступінь вилучення металу із рудної сировини в концентрат. За даними ПГЗК, між нею та якістю марганцевої руди існує певна непрямолінійна залежність, згідно з якою підвищення вмісту марганцю в руді при незначному початковому його вмісті не призводить до суттєвого підвищення ступеня вилучення металу, а при високому його вмісті вдається значно підвищити ступінь вилучення металу. Звідси зрозуміло, що якість марганцевої руди слід розподіляти і усереднювати за двома групами кар'єрів в такий спосіб, щоб у одній групі отримано низьке, тоді як у другий – високий вміст марганцю в рудному сировині. Це забезпечує найбільший сумарний обсяг вилучення металу для двох рудопотоків.

5. Розроблено науково-прикладний підхід до визначення раціонального обсягу розкривних порід, що забезпечує розкриття рудного пласта в обсязі, що визначається достатнім ступенем вилучення металу з рудної сировини при його збагаченні з використанням кількох рудопотоків. Такий підхід дає змогу мінімізувати витрати кар'єру на розкривні роботи. Якщо марганцеву руду збагачувати роздільними (бідна та багата) потоками, то необхідний обсяг розтину в умовах ПГЗК зменшується на 45 тис. м³/міс (10 %).

6. Ринкова економіка істотно впливає результати виробничої діяльності гірничо-збагачувальних підприємств, передусім обсяг реалізації виробленої продукції. У наукових публікаціях цьому фактору у взаємозв'язку з технологією видобутку та переробки корисних копалин приділяється недостатньо уваги, що зумовлює необхідність більш детальних подальших досліджень.

Перелік посилань

1. Шапарь, А.Г., & Якубенко, Л.В. (2012). Разработка эколого-ресурсосберегающей технологии освоения крутопадающих месторождений. *Экология и природопользование*, 15, 96-106.
2. Четверик, М.С., Бабий, Е.В., Бубнова, Е.А., & Терещенко, В.В. (2013). Основные направления рационального природопользования при открытой добыче полезных ископаемых. *Горный вестник*, 1(96), 58-62.
3. Прокопенко, В.И., Череп, А.Ю., & Пілова, Д.П. (2018). Визначення потенціалу марганцеворудного комплексу України відносно нинішньої кон'юнктури ринку. *Збірник наукових праць НГУ*, 55, 62-78.
4. Prokopenko, V. I., Pilov, P. I., Cherep, A. Y., & Pilova, D. P. (2020). Managing mining enterprise productivity by open pit reconstruction. *Eurasian Mining*, 42–46. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.08>
5. Prokopenko, V. I., Cherep, A. Y., & Pilova, D. P. (2021). Justification of methodical approach to mining and processing efficiency evaluation. *Gornyi Zhurnal*, 8, 39–44. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.08.07>
6. Paricheh, M., & Osanloo, M. (2017). A simulation-based framework for estimating probable open-pit mine closure time and cost. *Journal of Cleaner Production*, 167, 337–345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.202>
7. Yaylacı, E. D., & Düzgün, H. Ş. (2017). Evaluating the mine plan alternatives with respect to bottom-up and top-down sustainability criteria. *Journal of Cleaner Production*, 167, 837–849.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.248>
8. Siña, M., & Guzmán, J. I. (2019). Real option valuation of open pit mines with two processing methods. *Journal of Commodity Markets*, 13, 30–39.
<https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2018.05.003>
 9. Matyukha, V. V. (2016). Methodological approach to evaluation of economic efficiency of mineral mining based on rate of discounting. *Gornyi Zhurnal*, 1, 58–61.
<https://doi.org/10.17580/gzh.2016.01.12>
 10. Goodfellow, R. C., & Dimitrakopoulos, R. (2016). Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. *Applied Soft Computing*, 40, 292–304.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.11.038>
 11. Upadhyay, S. P., & Askari-Nasab, H. (2018). Simulation and optimization approach for uncertainty-based short-term planning in open pit mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(2), 153–166.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.003>
 12. Xu, X., Gu, X., Wang, Q., Liu, J., & Wang, J. (2014). Ultimate pit optimization with ecological cost for open pit metal mines. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(5), 1531–1537.
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(14\)63222-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63222-2)

АННОТАЦИЯ

Цель – обобщение исходных данных и научно-прикладное определение технологических факторов, обуславливающих концептуальный подход к улучшению экономических результатов процессов добычи полезного ископаемого и его обогащения и, в результате повышение эффективности производственной деятельности горно-обогатительного предприятия.

Методика заключается в обосновании факторов технологического и экономического подходов оценки производственных процессов добычи и обогащения марганцеворудного сырья, определении себестоимости концентрата, потери запасов рудного сырья и металла в отходах обогащения, а также объема вскрышных пород, которые нужно разработать для изготовления заданного объема концентрата.

Результаты. Определено несоответствие технологической схемы горных работ на марганцевых карьерах ПГОКа требованиям производства конкурентного концентрата при пониженном спросе, а также направление ее реконструкции. Обосновано влияние качества рудопотока на экономические результаты горно-обогатительного производства и определены рациональные условия усреднения качества рудного сырья различных карьеров. Разработан научно-прикладной подход к определению рационального объема вскрышных пород, который обеспечивает вскрытие рудного пласта в объеме, позволяющем минимизировать расходы карьера на вскрышные работы.

Научная новизна. Определен принцип совершенствования технологической схемы добычи горизонтального рудного пласта при пониженном спросе на продукцию. Обоснован методический подход оценки эффективности производственной деятельности горно-обогатительного предприятия, учитывающий себестоимость концентрата, потери запасов рудного сырья и металла в отходах обогащения, а также объем вскрышных пород, который удовлетворяет рыночный спрос на концентрат. Установлена непрямолинейная зависимость между качеством марганцевой руды и степенью извлечения металла в концентрат. Данную зависимость следует оценивать при формировании обогащаемого рудопотока.

Практическая значимость. Оценена технология горных работ на карьерах ПГОКа по себестоимости концентрата, которая отражает их адаптацию к рыночным условиям хозяйствования. Определена статистическая взаимосвязь между технологическими условиями добычи рудного сырья и качеством рудопотока (по содержанию металла). Предложен методический подход к усреднению марганцевой руды по двум группам карьеров, обеспечивающий наибольший объем изъятых металлов и минимизирующий затраты предприятия на вскрышные работы.

Ключевые слова: карьер, производственные процессы, марганцевая руда, качество рудопотока, технологическая эффективность, извлечение металла, себестоимость концентрата, реконструкция.

ABSTRACT

The **purpose** is generalizing of output data and scientific and applied determining of technological factors that condition on the conceptual approach to improving the economic results of mining and processing of minerals and, as the result the efficiency of the production activities of a mining and processing enterprise.

The **methodology** is the substantiation of the factors of technological and economic approaches to the evaluation of production processes of mining and processing of manganese ore raw materials that determine a cost of a concentrate, losses of reserves of ore raw materials and metal in the waste of processing, as well as a volume of overburden, that should be developed for the production of a adjusted volume of concentrate.

Findings. The discrepancy of the technological scheme of mining operations on manganese open pits of the Pokrovsky ore mining and processing enterprise with the requirements for the production of competitive concentrate in the event of reduced demand, as well as the direction of its reconstruction, is determined. The influence of the quality of the ore stream on the economic results of the mining and processing production is substantiated and rational conditions for averaging of a quality of ore raw materials of different open pits are determined. Scientific and applied approach for determining of the rational volume of overburden, which provides an overburden of ore stream in a volume that allows minimizing an open pit's costs for overburden works, is developed.

Originality. The approach of improving of the technological scheme of mining of horizontal ore stream under the condition of reduced demand for products is determined. Methodical approach to the evaluation of the efficiency of mining activity of mining and processing enterprise is generalized taking into account concentrate cost, losses of reserves of ore raw materials and metal in the waste of processing, as well as the volume of overburden, which meets market demand for concentrate. The certain indirect correlation between a quality of manganese ore and a degree of metal extraction into a concentrate, which should be evaluated while processed ore-stream is forming, is determined.

Practical value. The technology of mining operations at the open pits of the Pokrovsky ore mining and processing enterprise according to concentrate cost that reflects their adaptation to market conditions is estimated. Statistical tie between technological and economic conditions for mining of ore raw materials and the quality of the ore stream (by the content of metal) is determined. The methodical approach is proposed for averaging of manganese ore in two groups of open pits, which provides the largest amount of extracted metal and minimizes the cost of the enterprise for overburden works.

Keywords: open pit, production processes, manganese ore, quality of ore stream, technological and economic efficiency, metal extraction, concentrate costs, reconstruction.