

В.В. ПЕРЕГУДОВ, д-р техн. наук, проф., І.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук,  
А.Ю. ГУК, гірничий інженер, ДП «ДПІ «Кривбаспроект»  
Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, Криворізький національний університет

## ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБКИ ОКИСЛЕНИХ РУД КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ НА ПРИКЛАДІ КАР'ЄРУ ПАО «ІнГЗК»

**Мета.** Сучасний стан відкритих гірничих робіт, а також економічна кон'юнктура, що склалася навколо гірничодобувних підприємств, вимагає пошуку і реалізації нових підходів у веденні гірничих робіт. Одним з базових принципів такого підходу є комплексне освоєння надр, що сприяє покращенню техніко-економічних показників роботи гірничодобувних підприємств.

**Методи дослідження.** Для умов залізородних кар'єрів Кривбасу залучення у відпрацювання і подальшу переробку окислених залізістих кварцитів, що вважаються побіжною сировиною, є найбільш логічним і закономірним кроком у напрямку комплексного освоєння родовищ.

**Наукова новизна.** Широкому впровадженню технологій видобутку і переробки окислених кварцитів має передувати організація дослідної ділянки, яка, в свою чергу, має базуватися на ґрунтовних наукових дослідженнях даного питання, що і є науковою задачею даної публікації.

**Практична значимість.** В роботі було використано методи патентного пошуку, аналізу проєктних рішень і наукових джерел для виконання ретроспективного аналізу розвитку питання залучення окислених кварцитів у переробку; техніко-економічного моделювання – для динамічної оцінки проєкту організації дослідно-промислової ділянки.

**Результати.** В результатах науково-дослідних і проєктних робіт, наведених у даній статті, містяться очікувані техніко-економічні показники роботи дослідно-промислової ділянки. Наведені рекомендації щодо впровадження заходів комплексного освоєння родовищ корисних копалин для подальшого покращення техніко-економічних показників діючих гірничодобувних підприємств.

**Ключові слова:** окислені залізісті кварцити, комплексне освоєння родовищ, дослідно-промислова-ділянка, ретроспективний аналіз, техніко-економічне моделювання, запаси корисних копалин.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-9-13

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Розвиток Криворізького залізородного басейну нині характеризується значною мірою освоєності і відпрацювання. Глибина більшості кар'єрів перевищує 300 м, глибина підземних гірничих робіт складає один кілометр і більше, що поступово наближається до риси доцільності відпрацювання запасів рудної сировини. Кар'єри криворізьких ГЗК фактично вже відпрацювали велику частину проєктного терміну експлуатації. Так кар'єр ПАО "ПівдГЗК" зданий в експлуатацію в 1954 р., кар'єр ПАО "ІнГЗК" - в 1961 р., кар'єри Ганнівський і Першотравневий (ПАО "ПівнГЗК") - в 1963 р. і 1964 р., відповідно, кар'єри №2біс і №3(ПАО "АМКР") - в 1970 і 1977 рр., кар'єри Глеюватський, Петрівський і Артемівський (ПАО "ЦГЗК"), - 1957, 1977 і 1985 рр. Запасів руди при проєктній продуктивності кар'єрів досить на 15-30 років залежно від родовищ. Необхідно відмітити, що основний вид сировини, що видобувається на кар'єрах діючих ГЗК, складають магнетитові кварцити.

Попутно вилучені у великих кількостях кондиційні окислені кварцити віднесені до розкритих порід і у нинішній момент складаються у відвали.

Отже, одним з найважливіших напрямів подальшого розвитку промисловості Кривбасу, що у гірничодобувній промисловості, повинно стати залучення до переробки окислених залізістих кварцитів, що дозволить значно збільшити терміни експлуатації Криворізького басейну, зробить раціональним і комплексним використання мінеральної сировини родовищ і позитивно відіб'ється на екологічній складовій процесу здобичі.

**Постановка завдання.** Запаси окислених залізістих кварцитів в Криворізькому басейні значно перевищують запаси магнетитових кварцитів і до глибини 1 км у межах гірничих відвідів діючих підприємств попередньо оцінюється в 50 млрд тонн, що відкриває серйозні перспективи перед гірничодобувною галуззю України. В той же час спроби залучення до переробки окислених залізістих кварцитів робились і раніше.

Так в 1985 р. було почато будівництво Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окислених руд, на якому планувалася переробка слабomagнітних окислених руд на базі Криворізького залізородного басейну. Проєктна потужність комбінату складала 26,4 млн тонн в рік. У

табл. 1 наведено об'єкти сировинної бази КГЗКОР за станом на 01.01.2013 р. у рамках останньої переоцінки і розгляду доцільності добудови комбінату.

Таблиця 1

Сировинна база КГЗКОР

Об'єкти сировинної бази КГЗКОР	Запаси окислених магнетитових кварцитів, млн тонн
ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг»	
- відвали	158
- проєктний контур кар'єру №3	219
ПАО «ПівдГЗК»	
- відвали	243
- проєктний контур кар'єру	23
<b>Всього</b>	<b>643</b>

Було розроблено і протестовано технологію переробки окислених кварцитів з отриманням концентрату 65-66%. Планувалося переробляти окислені залізисті кварцити, як поточний видобуток, так і з раніше створених техногенних родовищ. На жаль, масштабність проекту позначилася на його остаточній вартості і, як наслідок, на браку коштів у держави, що зрештою викликало зупинку будівництва. Робилися ряд спроб оптимізувати проєкт і відновити його реалізацію. Так інститутом ДП "ДП "Кривбаспроєкт" у 2012-2015 рр. у рамках техніко-економічного обґрунтування доцільності завершення будівництва Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окислених руд було розроблено декілька варіантів залучення до комплексної переробки окислених кварцитів. Усі вони показували певну ефективність капітальних інвестицій і дохідність проєкту, проте значна сума майбутніх капітальних інвестицій (за оцінкою на 2013 р. - 21,5 млрд), так і не дозволила завершити будівництво, а подальші перспективи КГЗКОР залишаються невизначеними.

У 2011-2012 роках інститутом "Кривбаспроєкт" виконувалося ТЕО "Визначення перспективних меж і продуктивності кар'єру ПАО "ІнГЗК", де також розглядалась можливість залучення до переробки окислених кварцитів. Запаси окислених кварцитів Інгuleцького родовища у межах ліцензійної площі до горизонту мінус 600 м складають більше 100 млн тонн (відпрацьований контур кар'єру наведено на рис. 1); запаси, розвідані до горизонту мінус 840 м, які можна вилучати і переробити, - 1,19 млрд т. Найбільш оптимальним шляхом подальшого розвитку комбінату було б залучення окислених кварцитів, що попутно видобувалися, в переробку і виробництво з них товарного концентрату.

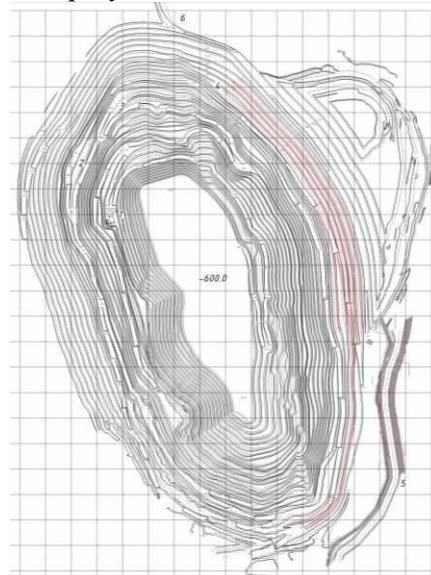


Рис. 1. Відпрацьований вигляд кар'єру ПАО «ІнГЗК» за проєктом «Відпрацювання Інгuleцького родовища кар'єром ПрАТ «ІнГЗК» у межах ліцензійної площі»

Це дозволить:

зменшити навантаження на відвальне господарство комбінату і відстрочити момент заповнення існуючих відвальних місткостей;

збільшити термін відпрацювання Інгулецького родовища за рахунок приросту додаткових об'ємів корисної копалини;

збільшити при необхідності виробничу потужність кар'єру (одночасний видобуток магнетитових і окислених кварцитів) і, як наслідок, збільшити обсяг виробництва товарного концентрату.

Результати ТЕО дали позитивний результат, проте для реалізації проєкту також були потрібні значні капітальні інвестиції. На даний момент на кар'єрі ПАО "ІнГЗК" здійснюється попутний видобуток окислених кварцитів, однак, з урахуванням затверджених кондицій і промислового вмісту, ця сировина віднесена до розкривних порід і складається у відвали пустих порід.

Отже, приклади незавершеного будівництва КГЗКОР і відмова від реалізації інших аналогічних проєктів показові тим, що експлуатація наявних родовищ, використання звичних схем і технологій розглядаються власниками як найбільш раціональні. Велика частина гірничодобувних підприємств Кривбасу, ще має в розпорядженні певні запаси кондиційної залізородної сировини, опрацьовуються проєкти прирізання додаткових ділянок. У ситуації економічної нестабільності і виникненні непередбачених ризиків власники не зацікавлені в значних капітальних інвестиціях у будівництво нових фабрик, перерозподілі сировинних потоків, організації масштабного селективного видобутку та інших заходах, необхідних для включення окислених кварцитів в процес переробки. Найбільш раціональним підходом у вирішенні цієї проблеми буде створення дослідної ділянки переробки окислених кварцитів з поступовим його розширенням у міру освоєння технології.

**Викладення матеріалу і результати.** Інститутом "Кривбаспроєкт" в 2020 р. здійснювалися укрупнені економічні розрахунки доцільності залучення до переробки окислених кварцитів на невеликій ділянці з малою продуктивністю, які показали актуальність і доцільність цього заходу. Організація дослідно-промислової ділянки переробки була розглянута на прикладі умовного кар'єру, де здійснюється попутний видобуток окислених кварцитів. У розрахунках використовувалися матеріали інституту, напрацьовані у рамках виконання техніко-економічного обґрунтування доцільності відновлення КГЗКОР, де була розроблена нова технологічна схема збагачення окислених кварцитів.

Технологічна схема збагачення розроблялась спільно з фінською компанією "Outotec", що спеціалізується на наданні новітніх технологій, обладнання та послуг для гірничодобувної, переробної та металургійної промисловості. У 2020 році дана компанія об'єдналась з фінським машинобудівним концерном «Metso Minerals».

Як вже говорилося вище, залучення до переробки окислених кварцитів доцільно реалізувати поетапно, поступово збільшуючи їх об'єми переробки до встановленої виробничої потужності. Фабрику необхідно побудувати в декілька пускових комплексів, вводячи додаткові секції у міру зростання об'ємів попутної добичі окислених кварцитів або вилучення їх з відвалів. У розглянутому прикладі передбачалося почати з дослідно-промислової ділянки з виробничою потужністю 500 тис. тонн в рік, орієнтовні капітальні інвестиції по якому складуть 430 млн грн. Ця ділянка дозволить щорічно переробляти 500 тис. тонн окислених кварцитів з виробництвом 167 тис. тонн товарного концентрату.

Попередні техніко-економічні розрахунки показують доцільність цього проєкту і повернення первинних капітальних інвестицій впродовж 4 років. Дисконтований потоковий ефект (NPV) проєкту за 7 років експлуатації складе більше 500 млн грн при прийнятій ціні товарного концентрату 2500 грн.

В табл. 2 наведено основні техніко-економічні показники проєкту дослідно-промислової ділянки, отримані в результаті економічних опрацювань.

Також розглядалась можливість видобутку та збагачення окислених кварцитів на базі Інгулецького родовища. Річна продуктивність запропонованої збагачувальної фабрики по переробці окислених кварцитів складає в середньому 12,14 млн т. Технологія збагачення – магнітно-флотаційна. Технологічні показники наступні:

- масова доля заліза в руді - 36,68%;
- масова доля заліза в концентраті - 65%;
- середній вихід концентрату - 41,13%;
- витяг заліза в концентрат - 72,9%.

Техніко-економічні показники проєкту дослідно-промислової ділянки переробки окислених руд продуктивністю 500 тис. тонн/рік (життєвий цикл проєкту за 10 років)

Назва показників	Значення	
Сумарний обсяг переробки руди, тис. т	3 500,0	
Виробництво концентрату за період, тис. т	1 171,3	
Життєвий цикл проєкту, усього	10	
Середньорічні обсяги переробки руди, тис. т	500,0	
Середньорічні обсяги виробництва концентрату, тис. т	167,3	
Собівартість товарного концентрату, млн грн / млн \$	1 130	41
Прийнятна ціна 1 т концентрату, грн / \$	2 480	90
Вартість товарної продукції, млн грн / млн \$	2 296	83
Чистий прбуток, млн грн/ млн \$	956	35
Капітальні інвестиції, млн. грн /млн \$	430	16
Дисконтований потоковий ефект (NPV), млн грн/ млн \$	<b>518</b>	<b>19</b>
Окупність капітальних інвестицій, роки	4	

Орієнтовна вартість наведеної збагачувальної фабрики в цінах 2020 р. складає 19 млрд грн. Як раніше зазначалось, розвідані запаси окислених кварцитів родовища ПАО "ІнГЗК" сягають 1189,5 млн т, що забезпечить роботу фабрики та кар'єру на 98 років. Обсяг виробництва концентрату з якістю 65% складатиме:

при роботі фабрики на повну потужність - 4,1 млн т на рік;

за весь період експлуатації - 398 млн т.

Окупність проєкту порівняно з дослідно-промисловим варіантом знизиться і повернення вкладених коштів відбудеться протягом 6 років, що також є відносно позитивним рішенням по інвестуванню грошових ресурсів. Акумуляований дисконтований потоковий ефект (NPV) за перші десять років становитиме 22,3 млрд грн, за весь період, що складає 98 років, дисконтований потоковий ефект складатиме 459 млрд грн.

**Висновки.** Зважаючи на викладений матеріал, необхідно розуміти, що перспектива залучення окислених залізистих кварцитів в переробку, є вкрай актуальною для Криворізького залізорудного басейну, проте багато питань цієї теми ще не освітлено належним чином, не кажучи вже про їх рішення. Потрібна комплексна оцінка і ревізія наявних балансових запасів гірничорудних підприємств Кривбасу, можливості і перспективи їх подальшого розвитку з використанням традиційної сировини.

Тим самим стануть зрозумілими можливі терміни їх життєвого циклу. Потрібне широке впровадження дослідних технологій збагачення окислених кварцитів в практику, їх подальше здійснення і оцінка можливостей, витрат і термінів можливого переходу на нову технологію. Потрібні зміни в законодавстві, які торкалися б питань селективного видобутку, експлуатації техногенних родовищ, екологічних аспектів проблеми і сприяли переходу гірничодобувних підприємств до комплексного використання.

Проблема збагачення окислених кварцитів родовищ пов'язана з необхідністю повного їх використання завжди буде, є та й залишиться економічно та екологічно актуальною. Зараз вона потребує найскорішого практичного вирішення. Вона притаманна для багатьох родовищ України та інших країн, де маються окислені кварцити. В той же час, ця проблема вирішена на промисловому рівні в Бразилії, США, Китаї. Нема науково-технічних перепон для її вирішення, крім проблем вибору оптимального техніко-економічного варіанту та фінансування будівництва фабрики збагачування окислених залізних кварцитів.

#### Список літератури

1. Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А. Повышение извлечения железа за счёт переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.
2. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал, 1992. – Вып. №1. - С. 12-16.
3. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кривий Ріг: «Мінерал», 2000. – 216 с.

4. Отработка Ингулецкого месторождения карьером ЧАО «ИнГОК» в границах лицензионной площади. Открытые горные работы: проект / ГП «ГПИ «Кривбасспроект»; ГИП Ковалёв К.В. – Кривой Рог, 2016. – 209 с.
5. Технично-економичеcкое обоснование целесообразности завершения строительства Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд: проект / ГП «ГПИ «Кривбасспроект»; ГИП Биленко А.Е. – Кривой Рог, 2015. – 197 с.
6. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. – М.: «Недра», 1993. – 272 с.
7. Григор'єв І.Є. Визначення основних методичних принципів ціленаправленого формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр / Григор'єв І.Є., Григор'єв Ю.І., Усачов В.Е., Євтушенко М.С. // Зб. наук. праць НГУ, 2019. – Вип. 56. - С. 18–28.
8. Трубецкой К.Н., Воробьёв А.Е. Основы ресурсовоспроизводящих технологий складирования и хранения некондиционного минерального сырья // Горный журнал, 1995.– Вип. №5. - С 47-51.
9. Григорьев И.Е., Григорьев Ю.И. Системный подход к процессу проектирования горных объектов // Разраб. рудн. месторожд., 2011. - Вип. №94. - С 40-44.
10. Кармазин В.В., Пак С.Г., Маслов Д.С. Магнитное обогащение окисленных железистых кварцитов Михайловского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, с 212-219.

УДК 658.652.64.622.3

А.А. АЗАРЯН, В.А. АЗАРЯН, В.С. МОРКУН, доктори техн. наук, проф.,  
А.М. ГРИЦЕНКО, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,  
А.А. ТРАЧУК, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ РУД ЧОРНИХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Мета.** Для підвищення точності визначення вмісту корисного компоненту в рудах чорних металів гамма-гамма методом необхідно розробити математичну модель взаємодії гамма-випромінювання з зразками руд чорних металів та геометричних параметрів зони вимірювання (габаритів колімаційного отвору, розміщення джерела низькоенергетичного гамма-випромінювання одне відносно одного а також відстані до поверхні досліджуваного зразка) та вмісту суміжних компонентів, що входять до складу руд.

**Методи досліджень.** Для досягнення сформульованої мети застосовано комплексний метод досліджень, що включає в себе теоретичні й інструментальні методи: аналіз вітчизняних та зарубіжних джерел, планування експериментів, математична обробка результатів, аналіз речовинного складу руд, теоретичні узагальнення з використанням теорії взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами, методи математичного, імітаційного та комп'ютерного моделювання, експериментальні дослідження в лабораторних умовах.

**Наукова новизна.** В результаті досліджень отримав подальшого розвитку метод математичного моделювання теоретичного визначення величини інтенсивності гамма-випромінювання як функції, що залежить від геометричних параметрів зони вимірювання та речовинного складу досліджуваного зразка. Визначено масові коефіцієнти ослаблення для різного вмісту корисного компоненту.

**Практична значимість** Отримані аналітичних вирази доцільно використовувати при проектуванні засобів оперативного визначення вмісту корисних компонентів для визначення оптимальних розмірів зони вимірювання.

**Результати** На основі законів взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами побудовано математичну модель розрахунку величини потоку розсіяного гамма-випромінювання, яка дозволяє врахувати особливості зони вимірювання. Адекватність отриманої моделі доведено задовільним збігом експериментальних даних з розрахунковими.

**Ключові слова:** математична модель, інтенсивність випромінювання, центральна геометрія, взаємодія випромінювання, вміст заліза, коефіцієнти ослаблення, некогерентне випромінювання, хромові руди.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-13-22

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** До руд чорних металів відносяться залізни, хромові, марганцеві та ванадієві.

Для визначення вмісту корисного компонента в руді з використанням гамма-випромінювання застосовується центральна та бічна геометрія взаємного розташування джерела гамма-випромінювання та детектора. Для забезпечення високої точності оперативного контролю якості мінеральної сировини пристроями реєструється інтенсивність інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання, що залежить як від речовинного складу руди так і від параметрів пристрою. Для визначення цих впливів присвячено дану роботу.