

Ю.Г. ВІЛКУЛ, д-р техн. наук, проф., Академія гірничих наук України
 А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет
 В.О. КОЛОСОВ, д-р техн. наук, ДАК «Укррудпром»

СУЧАСНИЙ СТАН ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Метою даної роботи є аналіз та оцінка стану гірничодобувної промисловості України. Для забезпечення якості та обсягу видобутку залізорудної сировини пропонується комплекс геофізичних методів оперативного контролю та управління якістю мінеральної сировини на всіх стадіях видобутку та переробки залізних руд.

Метод. Використання широкого спектру геофізичних методів для мінімізації втрати руд та зменшення засмічення гірської маси порожніми породами.

Наукова новизна полягає у застосуванні апаратно-програмного комплексу на базі ядерно-фізичних та магнітометричних методів для оперативного контролю та управління якістю на всіх етапах видобутку та переробки залізних руд.

Практичну значимість. Повномасштабна реалізація запропонованого методу дозволить забезпечити розширення сировинної бази держави й підвищити конкурентоспроможність на світовому ринку.

Результати. У проблемно-галузевій науково-дослідній лабораторії Криворізького національного університету розроблено апаратно-програмний комплекс оперативного контролю та управління якістю руди під час видобутку та переробки. Який частково впроваджено у виробництво (на шахтах та ГЗК Криворізького басейну, Запорізького залізорудного комбінату та Донського ГЗК (Казахстан) апаратно-програмний комплекс оперативного контролю та управління якістю руди під час видобування та переробки.

Ключові слова. Якість, втрати руд, засмічення, запаси руди, синхронний, каротаж, свердловина, вибухові, оперативний контроль, управління якістю товарної руди, гамма-випромінювання, інтенсивність, магнітна запальність.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-3-9

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Гірничорудна промисловість України займає одне з провідних місць у світі за обсягом виробництва ззалізної руди. Балансові запаси країни становлять понад 30 млрд тонн залізної руди, що за статистикою, забезпечить безперебійну роботу підприємств приблизно 95-100 років. Однак, для цього необхідно знизити втрати, засмічення та підвищити якість товарної руди.

У даний час на світовому ринку видобутку залізорудної сировини є 7 основних гравців. На рис. 1 наведено розподіл запасів залізної руди по країнах.

На першому місці Україна з 18%, далі Росія 16%, Китай, Бразилія по 13%, Австралія 11%, Індія, США по 4% та решта 20% - ін. [1].

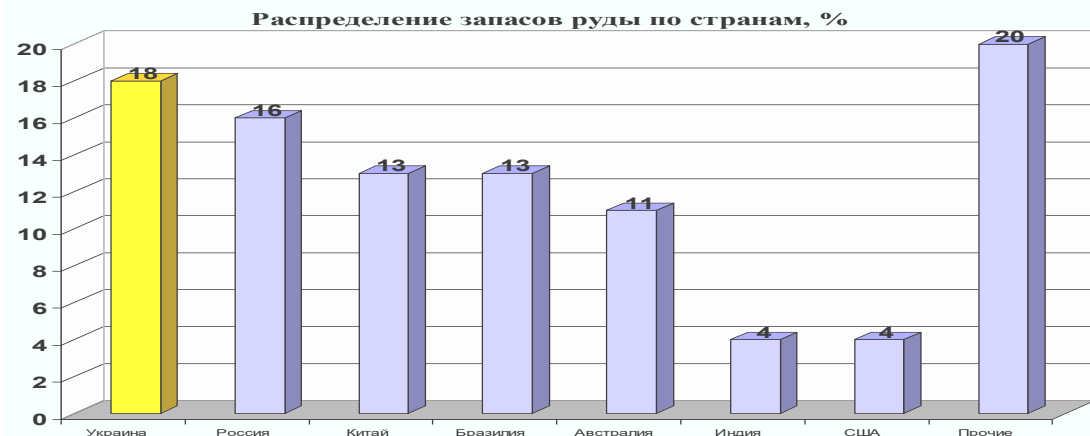


Рис. 1. Запаси у перерахунку на вміст заліза по країнах від загальносвітового обсягу

На рис. 2 наведено запаси у перерахунку на вміст заліза країнами від загальносвітового обсягу. На першому місці Росія, далі Бразилія, Австралія та на четвертому місці Україна.



Рис. 2. Запасы в перерахунку на вміст заліза по країнах від загальносвітового об'єму

Частка України у світовому виробництві залізняку становить близько 6 %.

Підприємства галузі випускають весь спектр залізорудної сировини: залізну руду грудкову та дрібну, залізорудний концентрат, котуни та агломерат. У 2020 р. на внутрішньому ринку реалізовано 42,5% української залізорудної сировини. На експорт відправляється близько 45 млн тонн. Основними країнами-імпортерами української залізняку є Китай, Польща, Чехія, Австрія, Словаччина, Німеччина, Румунія та Сербія.

Аналіз публікацій. В Україні розвідано понад 80 родовищ залізорудної сировини. Основні запаси - 70% та видобуток - понад 80% припадають на Криворізький залізорудний басейн. Його продовженням північ є Кременчуцький залізорудний район. Разом з рудними районами Запорізької, Кіровоградської та Полтавської областей Криворізький басейн складає велику залізорудну провінцію - Великий Кривий Ріг [2].

У Криворізькому басейні розташовано близько 90 підприємств різних галузей чорної металургії. З десятка великих виробництв країни загалом, що належать до видобувної та переробної залізорудної сировини, сім розташовано у Криворізькому регіоні, які забезпечують понад 90% потреб металургійних підприємств України.

Постановка задачі. Пошук шляхів підвищення конкурентоспроможності залізорудної сировини України на світовому ринку

Викладення матеріалу та результати. Даній задачі присвячено достатню кількість публікацій [1,3-7].

На рис. 3 наведено основні постачальники залізорудної сировини підземного видобутку в Україні на внутрішній ринок у 2020 році [2,3]. Це ЗАТ "Запорізький залізорудний комбінат" - 32%, ПрАТ "Суша Балка" - 31,3%, ПАТ "Кривбасзалізрудком" - 27,5%, ШУ гірничого департаменту ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" - 9,2%.

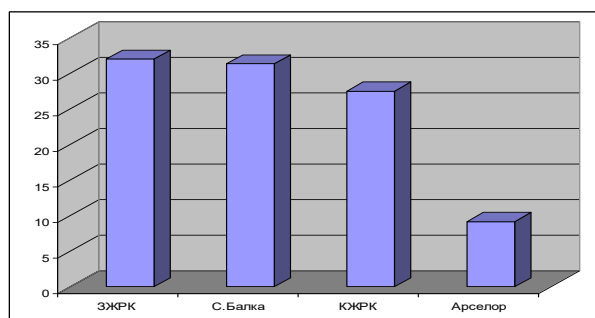


Рис. 3 Основні постачальники залізорудної сировини підземного видобутку в Україні

На рис. 4 наведено загальний обсяг підземного видобутку залізняку за 11 років, що становить майже 180 млн тонн. У цьому втрати руд становлять 13% і засмічення 18%.

Криза 2009 р. найбільше вплинула на виробництво товарної руди ПАТ «КЗРК» і, порівняно з 2007 р., виробництво знизилося на 47%, ПАТ «Суша Балка» - на 40%, ШУ ГД

ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на - 39%. ВАТ "Запорізький залізорудний комбінат" не знизив обсяги виробництва товарної руди.

Виснаження запасів багатих руд і залучення у розробку бідних і розубожених руд приводить до зниження середнього вмісту заліза у вихідній руді, що зумовлює збільшення обсягів збагачення сировини. Всі ці обставини збільшують собівартість видобутку та переробки, що, зрештою, приводить до зниження конкурентоспроможності залізорудних підприємств України.

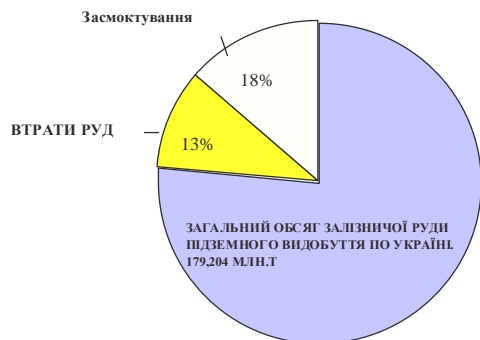
На гірничо-збагачувальних комбінатах України інформацію про якість сировини у процесі її видобутку та переробки отримують, здебільшого, традиційним геологічним методом. Уна-

слідок великої кількості підготовчих операцій традиційний метод контролю якості є малопродуктивним та вкрай неоперативним.

Дані про якість сировини на стадіях буріння, екскавації, дроблення, збагачення, агломерації отримують також хімічним способом, причому час аналізу для кожного етапу з урахуванням відбору та підготовки проб - не менше 2-х годин. Унаслідок запізнення інформації про якісну характеристику залізорудної сировини на кілька годин виключається можливість своєчасного коригування технологічних процесів. Ця обставина призводить до втрат руди, погіршення техніко-економічних показників збагачення та металургійного переділу.

Якість залізорудної сировини залежить від трьох основних факторів: вмісту заліза в руді, кількості та вмісту шкідливих домішок та гранулометричний склад товарної руди [3,4].

Рис. 4. Загальний обсяг підземного видобутку залізняку в Україні за 11 років



У табл. 1 наведено основні вимоги до вмісту шкідливих домішок в рудах.

Таблиця 1
Основні вимоги до вмісту шкідливих домішок у рудах

Домішки	Граничний вміст, %
Фосфор	0.03-0.17
Миш'як	0.1
Цинк	0.1
Свинець	0.015
Двоокис кремнію	10
Сірка	0.5-0.8

Вміст шкідливих домішок у руді може виключити можливість її навіть при високому вмісті заліза. Шкідливі домішки мають вкрай несприятливий вплив на якість кінцевої металургійної продукції, порушуючи структуру металу та погіршуючи його фізико-механічні властивості.

Тому припустиме утримання шкідливих домішок є жорстко нормованою величиною.

У табл. 2 наведено відомості про хімічний склад залізняку основних світових постачальників [4].

Характеристики складу залізняку основних світових експортерів

Таблиця 2

Країна	Fe, %	SiO ₂ , %	P, %	S, %
Австралія	62.6-64.9	3.1-4.3	0.05-0.07	0.01-0.02
Швеція	66.5	3.9	0.01	0.001
Венесуела	63.8	2.2	0.06	0.001
Бразилія	68.0	1.3-1.5	0.025	3.90
ПАР	64.2	5.0	0.04	0.006
Україна	57.4-62.0	8.9-14.0	0.01-0.073	0.007-0.02

За даними табл. 2 видно, що практично за усіма характеристиками Україна поступається основним світовим експортерам.

Підвищений вміст домішок призводить до того, що в умовах жорсткої конкуренції ціни на вітчизняні руди значно нижчі від середньосвітових. Унаслідок цього, на кожному мільйоні тонн реалізованої товарної руди втрати України становлять близько 11 млн доларів.

Для вирішення цієї проблеми науковому колективу України необхідно розробити нові засоби та методи оперативного контролю та управління якістю мінеральної сировини.

Наразі розроблено та впроваджено технічні засоби контролю та управління якістю мінеральної сировини на окремих ділянках гірничого виробництва. Відсутність єдиної системи контролю якості руд перешкоджає ефективному управлінню видобутком та переробкою мінеральної сировини [5-8].

Система контролю та управління якістю мінеральної сировини - важлива інформаційна підсистема, що включає сукупність технічних, технологічних, організаційних та методичних засобів. Чіткий взаємозв'язок цих засобів забезпечує стабілізацію якості на всіх етапах переробки мінеральної сировини. При цьому контроль якості руд повинен здійснюватися в розвідувальних, буро-вибухових свердловинах, масиві, підірваній гірничій масі, вагонетках, усередню-

вальних складах, технологічних потоках збагачувальної фабрики, дробленої і подрібненої гірничої маси.

Для якісно-кількісної оцінки мінеральної сировини застосовуються оперативні інструментальні методи. Вибір методу контролю залежить від фізико-хімічних, технічних та технологічних факторів. При цьому особливе місце надається показникам якості: точності, відтворюваності, межі вимірювань, часу вимірювання, способу обробки та індикації результатів контролю.

Колективом проблемно-галузевої науково-дослідної лабораторії Криворізького національного університету розроблено теоретичну базу, на основі якої створено засоби та методи оперативного контролю та управління якістю руд чорних металів. Зокрема, для визначення вмісту загального та магнітного заліза в масиві та у вибої в умовах кар'єрів було розроблено мобільну станцію «Кар'єр-Кривбас». На відміну від традиційних методів, у ній встановлено двоканальний свердловинний зонд, який забезпечує синхронну реєстрацію в пам'яті бортового персонального комп'ютера реального вмісту заліза загального та пов'язаного з магнетитом з подальшим відображенням на екрані Notebook як у графічному, так і цифровому вигляді. Це досягається тим, що вимірювальний блок снаряда містить дві з'єднані вимірювальні системи - магнітний зонд та зонд гамма-гамма каротажу свердловин (ГГКС).

Загальний вид каротажної станції наведено на рис. 5.



Рис. 5. Загальний вид каротажної станції «Кар'єр-Кривбас» в умовах кар'єру

Крім того, для визначення вмісту загального та магнітного заліза, в умовах збагачувальної та дробильно-сортувальної фабрики ГЗК та шахт використовуються системи безперервного контролю якості заліза загального на конвеєрі НАКС-ПК та заліза магнітного - ДЖМ-К.

Контроль вмісту магнітного заліза в потоці на конвеєрних стрічках здійснюється на вході збагачувальної фабрик перед подрібненням, за допомогою системи безперервного контролю ДЖМ-К.

Система ДЖМ-К складається з датчиків магнітної сприйнятливості, перетворювачів, електронних табло, датчика висоти шару руди та центрального сервера.

Система ДЖМ-К забезпечує визначення змісту магнетиту як реального часу, надає можливість тривалого зберігання отриманих результатів у базі даних та його обробку (визначення середніх значень вмісту корисного компонента, графічне відображення розподілу вмісту у часі та інших операцій із даними). Принцип дії побудовано на реєстрації зміни сигналу з вимірювальної котушки щодо штучно створеного індукційною котушкою магнітного поля в зоні вимірювання.

Зовнішній вигляд оперпункту, де розташовані табло індикації системи ДЖМ-К, представлено на рис. 6.



Рис. 6. Табло з графічною індикацією результатів безперервного контролю вмісту заліза магнітного та ваги гірничої маси на конвеєрі

Для безперервного контролю вмісту загального заліза підземного видобутку в умовах ДСФ розроблено мікропроцесорну систему НАКС-ПК

Мікропроцесорну систему впроваджено на шахті "Гвардійська" ПАТ "КЗРК", ДСФ шахти "Ювілейна" ПрАТ "Суха Балка" та ДСФ ШУ підземного видобутку руди ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" для оперативного контролю утримання загального заліза на конвеєрі, рис. 7.

Рис. 7. Система НАКС-ПК в умовах ШУ "АрселорМіттал Кривий Ріг"

Для оперативного контролю якості залісистих кварцитів в умовах кар'єру, а також для управління технологічними процесами збагачувальної фабрики необхідна оперативна інформація про вміст заліза магнітного в свердловинах, у вихідній руді, на зливні класифікатора, в хвостах і в концентраті. Традиційне випробування з наступним хімічним методом аналізу не забезпечує необхідного експресного визначення масової частки заліза магнітного.



З метою отримання інформації про вміст заліза магнітного в умовах кар'єру (у свердловинах), у вихідній руді, на зливні класифікатора, у хвостах та концентраті було розроблену модифікацію пристрою ДЖМ-4, наведено на рис. 8.

Рис. 8. Датчик заліза магнітного ДЖМ-4

Як пристрій для прийому, обробки та відображення інформації використовується ноутбук зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

ДЖМ-4 складається з датчика магнітної сприйнятливості, датчика ваги проби, електронної схеми, конструктивно скомпонованих як моноблок, та вимірювального пульта.



Експлуатується на ЗАТ «Інгулецький ГЗК», ВАТ «Південний ГЗК» та кар'єрах Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Порівняння точності вимірювань приладів та систем з оперативного контролю якості, розроблених у проблемно-галузевій науково-дослідній лабораторії Криворізького національного університету, проводилося за допомогою даних стандартного методу хімічного аналізу проб руди, який виконувався Державною інспекцією з якості «Південруда», а також хімічними лабораторіями. департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ЗАТ «Інгулецький ГЗК» та ВАТ «Південний ГЗК». Похибка вимірів - <1,0%.

ДЖМ-4 складається з датчика магнітної сприйнятливості, датчика ваги проби, електронної схеми, конструктивно скомпонованих як моноблок, та вимірювального пульта. Експлуатується на ЗАТ «Інгулецький ГЗК», ВАТ «Південний ГЗК» та кар'єрах гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Порівняння точності вимірювань приладів та систем з оперативного контролю якості, розроблених у проблемно-галузевій науково-дослідній лабораторії Криворізького національного університету, проводилося за допомогою даних стандартного методу хімічного аналізу проб руди, який виконувався Державною інспекцією з якості «Південруда», а також хімічними лабораторіями. департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ЗАТ «Інгулецький ГЗК» та ВАТ «Південний ГЗК». Похибка вимірів - <1,0%.

Для оперативного контролю вмісту загального заліза на рудному складі та при відвантаженні споживачам розроблено порошковий аналізатор проб, який забезпечує точність вимірювань на рівні хімічного аналізу. Загальний вид аналізатора наведено на рис. 9.

Рис. 9. Порошковий аналізатор проб ПАП-1

Принцип роботи ґрунтується на вимірі інтенсивності гамма-випромінювання, розсіяного матеріалом проби. Як джерело збудливого гамма-випромінювання використовується ізотоп Am-241 з енергією квантів 60 кеВ.

Розсіяне випромінювання реєструється за допомогою сцинтиляційного монокристалу та фотоелектронного помножувача (ФЕУ). Імпульси



напруги з ФЕУ посилюються, формуються по амплітуді і у вигляді частотного сигналу подаються на вхід ПК, який за спеціально розробленою програмою виробляє перерахунок частоти імпульсів вміст корисного компонента, відображає на дисплеї інформацію про зміст і зберігає отримані дані в пам'яті.

Конструктивно ПАП-1 складається з трьох функціональних блоків: пульта управління, блока датчика БД-4, блоку узгодження.

Апаратна та статистична складові похибки обмежують точність вимірювання інтенсивності на рівні 0.34%, причому середній внесок статистичної складової дорівнює 0.16%.

Від 2018 р. на РОФ гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» застосовується нова модифікація порошкових аналізаторів проб - ПАП-2.

Слід зазначити, що тривалість аналізу однієї проби ПАП становить 60 с, а тривалості хімічного аналізу однієї проби 7200 с. Крім оперативності порошковий аналізатор забезпечує зниження (на кілька порядків) вартості аналізу однієї проби. В даний час вартість аналізу однієї проби за хіманалізом становить понад 300 грн., а за ПАП - від 2 до 3 грн., залежно від кількості аналізованих проб за зміну.

Отже, нині розроблено як теоретична база, а і повний спектр засобів і методів оперативного контролю та управління якістю руд чорних металів.

Настала потреба у створенні комплексної системи оперативного контролю та управління якістю залізорудної сировини на усіх гірничодобувних підприємствах України, що дозволить підвищити рівень конкурентоспроможності на світовому ринку.

Висновки.

1. Традиційне випробування з таким хімічним методом аналізу не забезпечує необхідного експресного визначення масової частки заліза загального та магнітного.

2. Для оперативного контролю якості залізорудної сировини в умовах відкритого та підземного видобутку, а також для управління технологічними процесами збагачувальної фабрики необхідна оперативна інформація про вміст заліза у свердловинах, у вихідній руді, на зливні класифікатора, у хвостах та концентраті.

3. Впровадження комплексної системи оперативного контролю та управління якістю залізорудної сировини на усіх гірничодобувних підприємствах України дасть змогу підвищити рівень конкурентоспроможності на світовому ринку.

Список літератури

1. Якість залізорудної сировини підземного та відкритого видобутку як основа конкурентоспроможності гірничодобувної промисловості України / Вілкул Ю.Г., Азарян О.О., Азарян В.О., Колосов В.О. Металург. та гірничодобувн. пром-сть, №5, 2012 – С.1-4.

2. Гірничорудна промисловість України, Інтернет-сайт «Укррудпром» <http://www.ukrrudprom.ua/reference/industry/gmk.html>

3. Монографія «Комплекс ресурсо- та енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системною управлінням та оптимізації гірничорудних виробництв/ Азарян О.О., Вілкул Ю. Г., Колосов В. О., Моркун та ін. - Кривий Ріг, Мінерал, 2006. - 261 с.

4. Шляхи підвищення точності оперативного контролю якості залізорудної сировини/ Азарян А.А, Азарян В.А., Трачук А.А. – Доповідь на міжнародній науково-практичній конференції. Кривий ріг, Видавничий дім, 2010. - С.106-107.

5. Вибір параметрів мікропроцесорної системи оперативного контролю якості та ваги гірничої маси залізорудної сировини на конвєсєрі / Азарян А.А, Азарян В.А., Трачук А.А. / Горний журнал №7, Москва, 2011.

6. Контроль якості мінеральної сировини під час видобутку та переробки / Азарян А.А., Вілкул Ю.Г., Колосов В.А., Сидоренко В.Д. «ТИЖДЕНЬ ГІРНЯКА», Москва, 28-30 січня 2004 р.

7. Монографія. Якість мінеральної сировини/А.А.Азарян, В.А.Колосов, Л.А.Ломовцев, А.Д.Учитель. - Кривий Ріг. Мінерал, 2001. - 203 с.

8. Монографія під загальною редакцією професора Альберта Азаряна, Оперативний контроль та управління якістю при видобуванні та переробці мінеральної сировини: / [А.А Азарян. В.А Азарян. В.В. Дріга та ін.] OKTAN PRINT s.r.o. 5. mája 1323/9, Praha 4, 140 00 www.oktanprint.cz tel.: +420 770 626 166 як свою 31. Publikaci Перше, 2020.

9. Azarian, A.A., Azarian, V.A. (2020). Geophysical methods for controlling the useful component content as the basis for the quality management system at mining and processing enterprises. Journal of Geology, Geography and Geocology, 29(1), p. 3-15.

10. Kozhevnikov, D.A., Khatmullin, I.Ph. (1990). A Method of Geometrical Factors in the Theory and Interpretation of Formation Density Logging Data. Nucl. Geophys. (4), 413-424.