

А.М. МАЦУЙ, к.т.н., доцент, matsuyan@mail.ru

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д.т.н., професор, matsuyan@mail.ru

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Моделювання підходів подрібнення різнотипів руд конкретного родовища у кульових млинах замкненого циклу

Аналіз технологічних характеристик руд одного з родовищ показав, що вони достатньо різноманітні. Виокремлено сім типів руд, серед яких є легкозбагачувальні, середньозбагачувальні, важкозбагачувальні та дуже важкозбагачувальні. Серед руд є типи, у яких співпадають середні розміри вкрапленостей магнетиту, середній розмір вкрапленості магнетиту та коефіцієнти подрібнюваності, однак їх спільна переробка недопустима за різними причинами. Тому доведено, що в даному родовищі всі типи руд слід подрібнювати окремо. Показана можливість і доцільність такого подрібнення руд.

Analysis of the technological characteristics of the ores of one of the deposits showed that they are quite diverse. Seven types of ores are distinguished, among them easily enriched, medium enriched, difficult to enrich and very difficult to enrich. Among the ores there are types that have the average sizes of magnetite impregnation, average size of magnetite impregnation and grindability factors, but their general processing is unacceptable for various reasons. Therefore, it is proved that in this deposit all types of ores should be crushed separately. The possibility and expediency of such grinding of ores is shown.

Постановка проблеми

Відомо, що вітчизняні залізородні концентрати мають дещо вищу собівартість порівняно з зарубіжними аналогами, що знижує їх конкурентоспроможність на світовому ринку. Для зменшення собівартості залізородних концентратів необхідно збагачувальну галузь вивести на якісно вищий рівень. При цьому поліпшення процесу рудопідготовки та збагачення слід здійснювати в ряді напрямків. Одним з найбільш важливих є пошук оптимального підходу подрібнення руд конкретного родовища. Враховуючи, що неоптимальний варіант подрібнення руд конкретного родовища приводить до зменшення продуктивності як по руді, так і по готовому продукту, втрат корисного компоненту та зростання перевитрати електричної енергії, куль і футеровки, тема даної публікації є актуальною. Вона зв'язана з виконанням досліджень за темою «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942) і входить до плану наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вибором найкращого варіанта подрібнення руд в умовах конкретного родовища займаються достатньо давно. Це, зокрема, зв'язано зі складністю стабілізації властивостей руди на вході млинів. В кінці 20^{то} століття вихід з цього положення більшість фахівців вбачали в осередненні руд певного родовища. Однак через деякий час ведучі вчені в даній галузі стверджують зворотне. Це відбувається і в США [1], і в СРСР [2]. Робота Л.Ф. Біленка [3] практично поклала кінець цьому напрямку стабілізації режиму подрібнення, оскільки він довів, що кожна руда в суміші подрібнюється за своїм індивідуальним законом, який визначається для роздільного подрібнення. Згодом, вже на початку 21^{то} століття, автори роботи [4] фактично приєднуються до цих поглядів і свідчень. Нині не існує чітких рекомендацій щодо особливостей подрібнення руд конкретного родовища і галузь несе великі збитки в наслідок недоотримання гото-

вого продукту, перевитрачання електроенергії, куль і футеровки, зменшення продуктивності.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є моделювання підходів подрібнення руд на збагачувальній фабриці з певними характеристиками родовища, спрямоване на пошук варіанта більш оптимального подрібнення сировини. Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних задач:

- розглянути і проаналізувати основні технологічні характеристики руд в конкретному родовищі;
- промодельовати підходи щодо перероблення конкретних різновидів руд даного родовища і дати рекомендації щодо їх раціонального подрібнення;
- обґрунтувати доцільність і можливість забезпечення подрібнення руд в умовах конкретного родовища у відповідності з виробленими рекомендаціями.

Основні технологічні характеристики руд родовища, що розглядається

В Україні вихідна руда на залізородних збагачувальних фабриках в основному подрібнюється кульовими млинами, що працюють у замкненому циклі з спіральним класифікатором. Моделювання підходів подрібнення руд доцільно виконати на прикладі одного з родовищ, сировину якого переробляє конкретна збагачувальна фабрика, з використанням замкненого циклу.

У даному родовищі виділяють сім типів руд, які, в свою чергу, поділяють на чотири гатунки – 1 – легкозбагачувальні, 2 – середньозбагачувальні, 3 – важкозбагачувальні та 4 – дуже важкозбагачувальні руди. З загальних запасів балансових руд залізисті кварцити першого гатунку складають 45%, другого гатунку – 30%, третього – 15% і четвертого гатунку – 10%. Тип I – це білосмугасті магнетитові кварцити, тип II – червоносмугасті магнетитові кварцити, тип III – залізо-слюдові магнетитові кварцити, тип IV – сидерито-магнетитові та марти-то-магнетитові кварцити зон окислення і сидеритезації усіх різновидів, тип V – магнетитові кварцити, тип VI – силікато-магнетитові кварцити-1, тип VII – силікато-магнетитові кварцити-2. Їх технологічна характеристика приведена в табл. 1.

Таблиця 1. Технологічні характеристики руд

Тип руди	Вміст заліза, % Fe/Fe _{mag}	Гатунок руди за збагачуваністю	Показники збагачення, %				
			Тонина подрібнення 88...92% кл – 50 мкм				
			Ступінь розкриття зерен магнетиту	Масова частка Fe в концентраті	Вихід концентрату	Масова частка Fe в хвостах	Витягнення
I	37,3 / 32,0	Легко-збагачувальні	92...95	66...68	43...48	8...10	82...88
II	35,0 / 29,7	Легко-збагачувальні					
III	37,4 / 26,0	Легко-збагачувальні	93...96	66...68,5	39...40	12...15	72...75
IV	(31...37) / (21...25)	Легко- та середньо-збагачувальні	89...92	64,5...66,5	34...36	13...18	60...70
V	(31...34) / (22...26)	Важко-збагачувальні	87...89	63...65	39...41	10...12	75...78
VI	(35...36) / (26,5...28)	Дуже важко-збагачувальні	83...85	62...63,5	42...44	15...17	74...76
VII	(24...29) / (14...21)	Дуже важко-збагачувальні	70...75	50...63,5	32...37	14...18	65...69

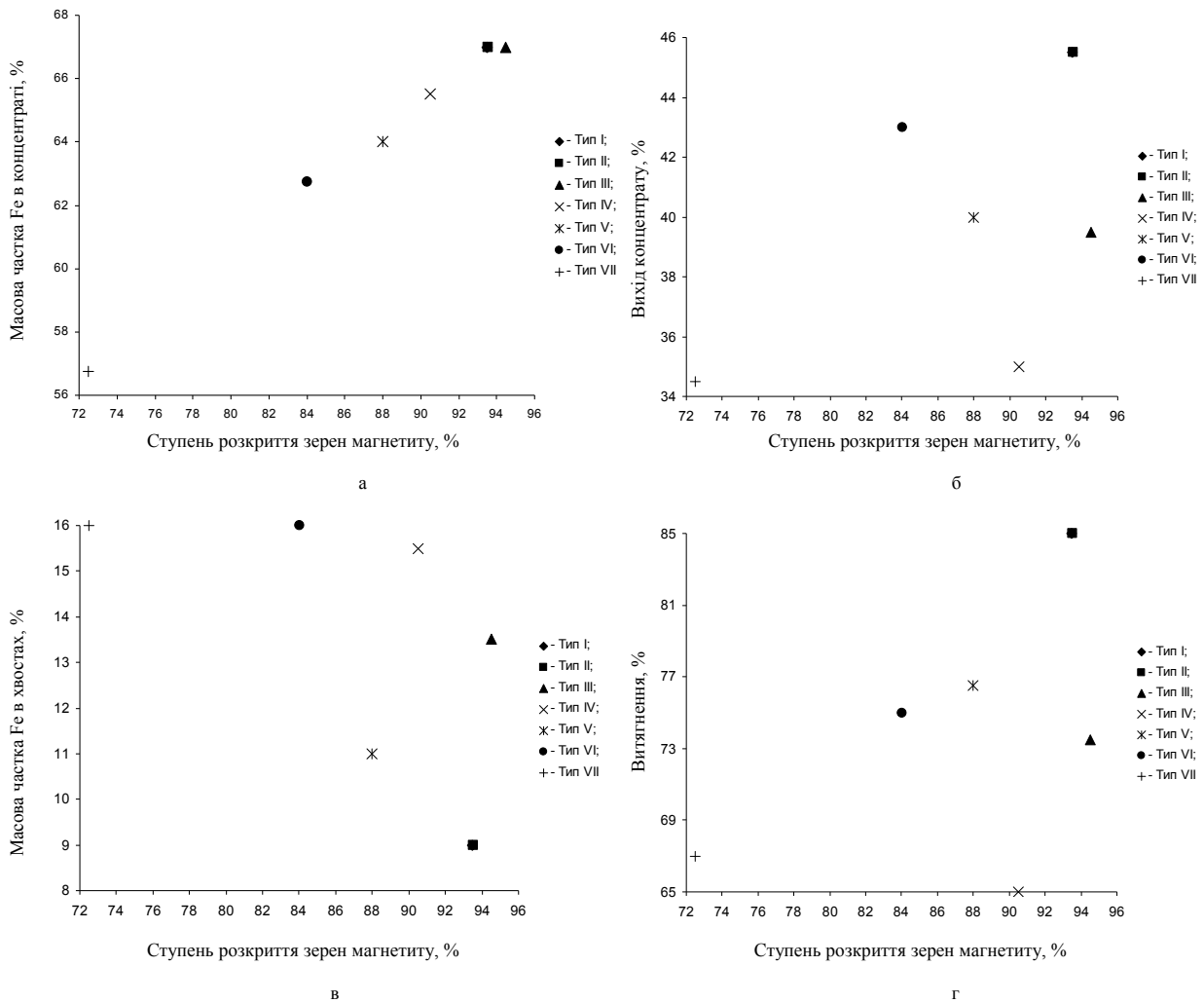
З даних табл.1 видно, що руди родовища відрізняються великою різноманітністю як за вмістом загального і магнітного заліза, так і за здатністю збагачуватися. Виходячи з цього, показники збагачення руд змінюються в широких межах. При подрібненні руд до 88...92% класу – 50 мкм ступінь розкриття зерен магнетиту в них змінюється від 93...96% до 70...75 відсотків. При цьому показник розкриття зерен магнетиту, маючи верхню і нижню межу, в одного типу руди складає середину діапазону, а в двох рудах – половину верхнього піддіапазону – 87...89% і 89...92%. Найбільша масова частка заліза в концентраті у руд першого-третього типу. Вона складає 66...68,5%. Далі вона поступово зменшується, досягаючи верхньої межею зміни нижньої межі показника попереднього типу руди. Сьомий тип руди має порівняно низьке значення цього показника – 50...63,5%. Найбільше значення виходу концентрату мають руди першого і другого типів – 43...48%, найменше – 32...37% має руда сьомого типу. Даний показник в інших типах руд змінюється в усьому названому діапазоні. Масова частка заліза в хвостах найбільша у руд сьомого та шостого типів і відповідно складає 14...18% і 15...17%. Руда четвертого типу має майже такий показник – 13...16%, далі втрати заліза в хвостах поступово зменшуються, приймаючи значення 12...15% (третій тип) і 10...12% (п'ятий тип). Самий високий витяг заліза з руд першого і другого типів – 82...88%, найменший – з руди четвертого типу – 60...70%. Цей показник рівномірно розподіляється у всьому даному діапазоні.

Звертає на себе увагу значний розкид значень виходу концентрату і витягнення в рудах першого і другого типів. Така ж ситуація з втратами заліза і витягненням для руди четвертого типу. Значно менші, але суттєві коливання цих же показників отримані для руди сьомого типу. Зрозуміло, що на такі зміни впливають

певні фактори.

Серед показників збагачення основним є ступінь розкриття зерен магнетиту, оскільки він сильно впливає на процес збагачення руди, інші показники практично є залежними від нього. Тому розглянемо зв'язок середніх значень ступеня розкриття зерен магнетиту з середніми значеннями інших показників збагачення, використавши дані табл.1. Залежності показників збагачення від середніх значень ступеня розкриття зерен магнетиту подано на рис.1. З рис.1,а видно, що існує тісний лінійний кореляційний зв'язок між масовою часткою заліза в концентраті і ступенем розкриття зерен магнетиту. Зрозуміло, що чим краще розкриті зерна магнетиту, тим їх більше вийде в концентрат. Найменше розкриті зерна магнетиту в руді сьомого типу в концентрат не попадають, а навпаки, виявляються у хвостах (рис.1,в). За тією ж причиною руда сьомого типу дає найменший вихід концентрату (рис.1,б), хоч існує тенденція збільшення виходу концентрату для руд з добре розкритими зернами магнетиту, наприклад, характерними прикладами є руди першого і другого типів. Проміжне значення в залежності займають руди п'ятого і шостого типів. Випадають з цієї залежності руди третього і четвертого типів в наслідок великих втрат заліза у хвостах (рис.1,в). Витягнення заліза також має тенденцію до зростання при покращенні ступеня розкриття зерен магнетиту (рис.1,г), однак в наслідок великих втрат заліза у хвостах в рудах третього і четвертого типів вони з даної залежності випадають.

Показники збагачення розглянуті при одному діапазоні тонини подрібнення різних типів руд 88...92% класу – 50 мкм. Тому розглянуті залежності показують, що даний діапазон для всіх типів руд не є оптимальним. При збагаченні цих типів руд для досягнення найкращих результатів необхідно здійснювати індивідуальний підхід, починаючи з першої стадії подрібнення.



а – масова частка Fe в концентраті; б – вихід концентрату; в – масова частка Fe в хвостах; г – витягнення корисного компоненту

Рис. 1. Залежність показників збагачення руд від ступеня розкриття зерен магнетиту

Моделювання підходів подрібнення виокремлених типів руд конкретного родовища в першій стадії

Перша стадія подрібнення руди на збагачувальних фабриках звичайно здійснюється у кульових млинах, які працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором. У таких циклах циркулююче навантаження (піски) збільшується при зростанні крупності матеріалу при переробці руди з певними незмінними властивостями. Якщо в дану руду додати певну частку більш міцної, то вона буде вести себе при подрібненні аналогічно збільшенню крупності. Тобто, циркулююче навантаження буде збільшуватись за рахунок більш міцної руди. Процес подрібнення першої руди буде здійснюватися за своїми закономірностями, а другої – за своїми. За таких умов не можливо оптимізувати процес подрібнення у кульовому млині, а також забезпечувати необхідну крупність готового продукту у зливні класифікатора, що представлений двома рудами. Тому руди, які одночасно знаходяться у техно-

логічному процесі повинні мати ряд загальних властивостей. Основними тут є дві – однаковий розмір вкрапленостей корисного мінералу (у даному випадку – магнетиту) і однакова подрібнюваність руд. Розглянемо з цих позицій варіанти можливого подрібнення руд у даному родовищі, аналізуючи їх технологічні особливості. Основні технологічні особливості розглянутих типів руд подані в табл.2. З даних табл.2 видно, що руди родовища достатньо складні, подані рудними, кварцовими, силікатними і магнетито-силікатними прошарками. Крім того, вони відрізняються значенням середнього розміру вкрапленості магнетиту та міцністю.

Міцність руд здебільшого оцінюють коефіцієнтом міцності за М.М. Протод'яконовим і коефіцієнтом подрібнюваності (табл.2). Ці показники відрізняються між собою перш за все поняттям міцності. Тому, використовуючи дані табл.2, встановимо зв'язок між цими параметрами. Залежність між коефіцієнтом подрібнюваності руд і середнім значенням їх коефіцієнта міцності за М.М Протод'яконовим показана на рис.2. З рис.2

видно, що конкретний зв'язок між цими параметрами відсутній, але це лише на перший погляд. Чітко прослідковується зв'язок між параметрами для першого, другого і третього типів руд. Він близький до лінійного. З ростом середнього значення коефіцієнта міцності за М.М.Протод'яконовим збільшується і коефіцієнт подрібнюваності цих типів руд. Однак тут же спостерігається парадокс – самі міцні руди за коефіцієнтом міцності за М. М. Протод'яконовим мають найменші значення коефіцієнтів подрібнюваності. Це стосується п'ятого, шостого і сьомого типів руд. Тобто, виходить, що ці

міцні руди в кульових млинах більш легко роздавлюються або розтираються. У четвертому типі руди, навпаки, найменша міцність за М.М.Протод'яконовим відповідає вагомому значенню коефіцієнта подрібнюваності. Тобто, ця руда не володіє високою міцністю, але, мабуть, чинить суттєвий опір розтиранню і роздавлуванню. Оскільки між розглянутими параметрами для руд родовища не існує тісного кореляційного зв'язку, в подальшому їх міцність будемо оцінювати за коефіцієнтом подрібнюваності.

Таблиця 2. Технологічні особливості руд

Показники	Типи руд						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Середній розмір вкрапленості магнетиту, мм	0,06	0,09	0,09	0,07	0,03	0,03	0,04
Коефіцієнт подрібнюваності	1,0	1,35	1,65	1,1	0,8	0,8	1,0
Коефіцієнт міцності за М.М.Протод'яконовим	13...15	14...15	14,5...15,5	13...14	16...16,5	16...17	16...17
Середнє значення коефіцієнта міцності за М.М.Протод'яконовим	14,0	14,50	14,75	13,50	16,25	16,50	16,50
Співвідношення прошарків у кварцитах, %							
рудних	45...50	60...90	65	38...40	5...10	10...15	15...20
кварцових	35...40	30	20...25	48...50	15...20	20...25	20...30
силікатних	5...10	–	–	10...14	–	–	–
магнетито-силікатних	–	–	–	–	65...80	55...65	55...60

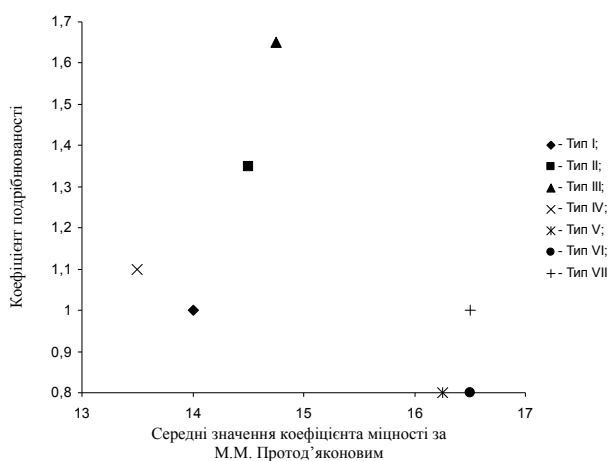


Рис. 2. Залежність між коефіцієнтом подрібнюваності руд і середнім значенням коефіцієнта міцності за М.М. Протод'яконовим

Як видно з табл.1 технологічних характеристик руд, їх перший і другий тип об'єднані в одну технологічну групу, тобто, можуть спільно перероблятися. Дійсно ці два типи руд забезпечують практично однакові і високі масові частки заліза в концентраті, виходу концентрату, витягнення (рис.1). Вони мають однакові і найменші втрати заліза в хвостах. З точки зору показни-

ків збагачення тут все виглядає ідеально, однак з даних табл.2 видно, що середній розмір вкрапленості магнетиту в них відрізняється на 50%, а коефіцієнт подрібнюваності – на 35%. Не дивлячись на це, суміш цих руд може спільно подрібнюватися, оскільки руда другого типу має більший розмір вкрапленості магнетиту – 0,09 мм і гірше подрібнюється. Тобто, можуть скластися умови, коли зерна більшого розміру 0,09 мм будуть розкриті при гіршій подрібнюваності, а більш податлива руда при цьому буде більше подрібнена і в неї розкриються зерна розміром 0,06 мм. Якщо це так, то даний варіант перероблення сировини може мати місце. Однак при цьому ще потрібно мати гарантії виведення у злив класифікатора крупних і важких зерен магнетиту руди другого типу поряд з на 50% дрібнішими зернами руди першого типу. Такий варіант подрібнення і класифікації малоімовірний, тому, здебільшого тут буде ще додаткове подрібнення крупних зерен магнетиту, що веде до втрат електроенергії, куль і футеровки та втрат самого корисного компоненту. В подальших стадіях подрібнення-збагачення також можуть виникати умови необхідності здійснення різних підходів до оброблення окремих типів руди. Тому в таких ситуаціях найкращий результат можливо отримати при роздільній обробці першого і другого типів руди даного родовища.

Аналізуючи дані табл.2, помічаємо, що в одну технологічну групу можливо об'єднати руди другого і третього типу, оскільки вони мають однаковий середній розмір вкрапленості магнетиту 0,09 мм. З іншого боку,

руда третього типу має більший коефіцієнт подрібнюваності. В наслідок чого її зерна магнетиту будуть за однакових умов розкриватись гірше, буде зростати циркуляційне навантаження, що приводить до спотворення необхідного режиму подрібнення і класифікації, а отже до невикористаних витрат. Тому подрібнювати руди другого і третього типу доцільніше окремо.

Ще один варіант об'єднання окремих руд в технологічну групу за даними табл.2 може бути створений з п'ятого і шостого типів. В них однаковий 0,03 мм середній розмір вкрапленості магнетиту і однакові значення 0,8 коефіцієнта подрібнюваності. Це найбільш ідеальний випадок, коли самі важливі параметри повністю співпадають, однак необхідно розглянути, чому ці руди віднесені до окремих типів. Руда п'ятого типу є важкозбагачувальною. В ній вкрапленість кварцу в магнетиті частіше дисперсійна розміром 0,001...0,002 мм, нерідко у кварці спостерігається тонка вкрапленість магнетиту. Магнетит створює суцільні і гільчасті агрегати розміром 0,06...0,2 мм з зерен магнетиту 0,02...0,07 мм і кварцу 0,03...0,06 мм. У напіврудних шарах вміст магнетиту складає 10...20%. Він створює у кварцових прошарках агрегати розміром 0,05...0,1 мм або представлений окремими дрібними зернами 0,02...0,04 мм. Руда шостого типу є дуже важкозбагачувальною. В ній, на відміну від інших, присутні прошарки (до 20%) змішаного складу – магнетит-кварц-силікати. Вони створюють зростки, де магнетит спостерігається у вигляді пиловидних включень в зернах кварцу. Як видно, руди п'ятого і шостого типів мають велику відмінність і їх спільно переробляти не має можливості.

Отже, проаналізувавши технологічні характеристики і особливості типів руд даного родовища, приходимо до висновку, що найбільш ефективно їх подрібнювати окремо, налаштувавши технологічний процес на окремий з них.

Доцільність і забезпечення роздільного подрібнення технологічних типів руд в умовах конкретного родовища

При роздільному подрібненні дробленого матеріалу на збагачувальних фабриках для забезпечення найбільш високої продуктивності кульового млина і якості отриманого продукту необхідно підбирати певну характеристику кульового навантаження для конкретного технологічного типу руди і не змінювати їх в процесі експлуатації. До такого ж висновку в 2005 р. прийшов і В.В. Морозов, розглядаючи процес з точки зору технології збагачення [5]. Це частково підтверджує і В.Г. Масленников [6], стверджуючи, що кожний млин і кожна руда потребують індивідуального підходу і з точки зору вибору футеровки. У роботі [7] відмічається, що переробка руд в суміші закономірно приводить до пониження показників. У праці «Удосконалення технології збагачення залізних руд різних типів і речового складу» відмічається наступне: «Результати дослідження підтверджують необхідність індивідуальних підходів і спеціальних технологій для ефективного збагачення складних за речовим і мінеральним складом залізних руд, забезпечуючи підвищення якості товарного продукту, максимально можливе витягнення заліза, мінімізацію енергетичних та інших витрат» [8]. Отже, доцільно на збагачувальній фабриці переробляти окремо кожний

технологічний тип руди в родовищі, що значно покращить її експлуатаційні показники.

При організації такої технології переробки сировини окремі технологічні типи руд необхідно буде накопичувати в конкретних бункерах і подавати їх у відповідні кульові млини. Аналіз показує, що дану технологію здійснювати значно простіше порівняно з осередненням руд, оскільки для осереднення руди спочатку необхідно відібрати відповідні типам, потім їх необхідно дозувати в установленій пропорції і старанно перемішувати. При роздільному подрібненні руди сортується лише за технологічними типами і направляються у окремі бункери. Інші операції при цьому не виконуються. Такий підхід вписується і в нову парадигму переробки мінеральної сировини, яка викладена в [9], де передбачається формування технологічних гатунків руд в процесі їх видобування.

Однією з найбільш відповідальних операцій при цьому є розпізнавання технологічних типів руд, де необхідно враховувати їх властивості. При розпізнаванні руд необхідно опиратись на їх основні властивості, які враховує технологія подрібнення – це середній розмір вкрапленості магнетиту і коефіцієнт подрібнюваності. Дану задачу доцільно розв'язувати в межах конкретного родовища, враховуючи те, що певні типи руд характеризуються конкретними ознаками лише в даному масиві. Наприклад, з даних табл.2 видно, що руди п'ятого і шостого типів мають однакові значення двох названих ознак – 0,03 мм і 0,8. Для їх розпізнавання необхідна ще якась додаткова ознака. Перш за все слід вивчати інші властивості руд конкретного родовища. Деякі з них приведено в табл.3. Особливо цінними є ті, які можливо автоматично визначати і які зв'язані з основними ознаками – середнім розміром вкрапленості магнетиту і коефіцієнтом подрібнюваності. Як видно з даних табл.3, з усіх властивостей руд автоматично можливо вимірювати лише одну – питому магнітну сприйнятливість. Розглянемо залежність коефіцієнта подрібнюваності руд від їх магнітної сприйнятливості у даному родовищі, яка показана на рис.3. З рис.3 видно, що існує достатньо тісний зв'язок коефіцієнта подрібнюваності з питомою магнітною сприйнятливістю для типів руд даного родовища, не враховуючи руду третього типу. У даному випадку такий зв'язок і не є обов'язковим, для розпізнавання типів руд важливим є віддаленість окремих точок на рис.3 одна від одної. З рис.3 слідує, що використовуючи достатньо точну вимірювальну апаратуру, можливо встановити коефіцієнт подрібнюваності руд, а відповідно і тип руди. Однак в умовах видобування руд відкритим способом абсолютно точно здійснити вимірювання практично не можливо, тому розпізнати між собою руди п'ятого і шостого, першого і сьомого, другого і третього типу достатньо складно. З даних табл.3 видно, що для розпізнавання між собою руд п'ятого і шостого типів додатково можливо використати пористість, яка відповідно складає 3,5 і 2,9, якщо її можливо визначити. Руди першого і сьомого типів між собою можливо розпізнати, використовуючи додаткову інформацію про пористість (3,5 і 2,4). З приведених в табл.3 даних видно, що за їх значеннями не можливо виділити додаткову інформацію для розпізнавання між собою руд другого і третього типів. Оскільки пористість оперативним практично виміряти не можливо, для усіх

типів руд, крім четвертого, необхідно підібрати додаткові інформаційні параметри для впевненого розпізнавання між собою вказаних рудних пар. Нині існує порівняно багато наробок для розпізнавання окремих типів руд в потоках, а також запропоновані мобільні дробильно-сортувальні радіометричні комплекси, пристосовані для вирішення цих задач. В перспективі їх можливо

легко «вписати» в роботизовану систему автоматизації відкритих гірничих робіт [10]. Попереднє сухе збагачення руд перед подрібненням практично нічого не змінює, оскільки вони більш дрібніші і багатші за вмістом корисного компонента будуть повністю зберігати властивості конкретного типу корисної копалини.

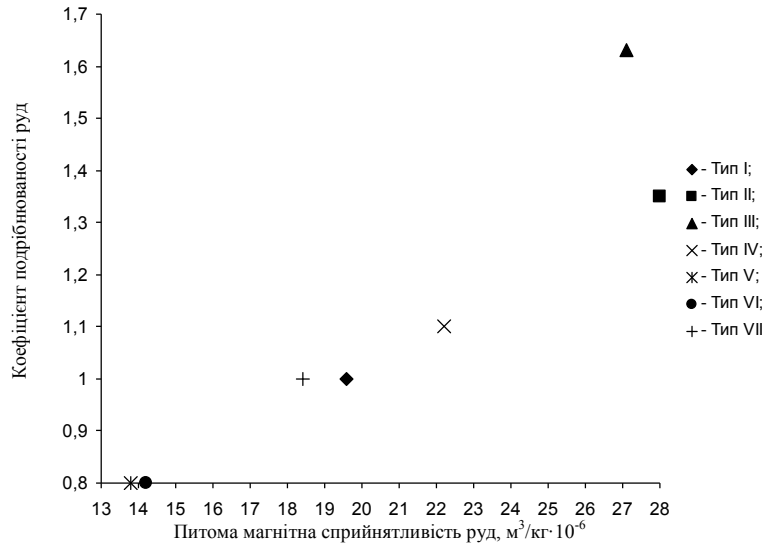


Рис. 3. Залежність коефіцієнта подрібнюваності руд від їх питомої магнітної сприйнятливості

Таблиця 3. Фізичні властивості руд в родовищі

Показники	Типи руд						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Коефіцієнт подрібнюваності	1,0	1,35	1,63	1,1	0,8	0,8	1,0
Питома магнітна сприйнятливість, $\text{м}^3/\text{кг} \cdot 10^{-6}$	19,6	28,0	27,1	22,2	13,8	14,2	18,4
Коефіцієнт міцності за М.М. Протод'яконовим (середнє значення)	14,0	14,5	14,75	13,50	16,25	16,50	16,50
Пористість, %	3,5	7,5	7,0	2,4	3,5	2,9	2,4
Середнє значення густини з врахуванням природних пор, $\text{г}/\text{см}^3$	3,55	3,50	3,55	3,25	3,45	3,50	3,30
Середнє значення густини цільного матеріалу, $\text{г}/\text{см}^3$	3,70	3,675	3,65	3,45	3,55	3,60	3,35

Висновки та перспективи подальших досліджень

Аналіз технологічних характеристик руд родовища показав, що вони достатньо різноманітні, охоплюючи весь діапазон від легкозбагачувальних до дуже важкозбагачувальних. Технологічно представлені сьома типами. Моделювання підходів подрібнення руд родовища показало, що не дивлячись на співпадіння середніх розмірів вкрапленостей магнетиту, середніх розмірів вкрапленостей магнетиту і коефіцієнтів подрібнюваності, їх доцільно подрібнювати окремо для отримання

найкращих технологічних показників процесу і неперевитрачання електроенергії, куль, футеровки та недопущення втрат корисного компоненту. Доведена доцільність роздільного перероблення окремих типів руд і можливість його здійснення та розпізнавання руд в процесі їх видобування.

Перспективою подальших досліджень є моделювання кульового млина і односпіралного класифікатора як керованих об'єктів при роздільній переробці окремих типів руд та створення ефективних автоматизованих систем керування такими процесами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения / Линч А. Дж.: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981. – 342 с.
2. Марюта А. Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / Марюта А. Н. – М.: Недра, 1987. – 230 с.
3. Биленко Л. Ф. Закономерности совместного измельчения разнопрочных минеральных компонентов / Биленко Л. Ф. // Обогащение руд. – 2000. – №1. – С.7–10.
4. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г. Г., Вайсберг Л. А., Кириченко В. И. и др.]. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007. – 296 с.
5. Морозов В. В. Управление процессами обогащения на основе измерения параметров и оценки сортности руд / Морозов В. В. // ГИАБ.– 2005. – №7. – С.316–319.
6. Масленников В. Г. Резиновая футеровка ООО «УРАЛЬСКИЙ ЗАВОД ФУТЕРОВОЧНЫХ РТИ» // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Том II. – М.: МИСиС, 2013. – С.375–380.
7. Даваасамбуу Д. Повышение эффективности обогащения медно-молибденовых руд на основе оптимизации процессов дробления и измельчения / Д. Даваасамбуу, Д. Эрдэнэцогт // Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения 2015): Материалы Международного совещания. Иркутск (21-25 сентября 2015 года). – С.110–113.
8. Кусков В. Б. Совершенствование технологий обогащения железных руд различных типов и вещественного состава / В. Б. Кусков, Ю. М. Сицук // Горный журнал, 2016. – №2. – С. 70–74.
9. Хопунов Э. А. Новый взгляд на процессы переработки минерального сырья / Хопунов Э. А. // Современная техника и технология. – 2015. – №3 [электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/03/5944> (дата обращения: 18.04.2015).
10. Аброськин А. С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах / Аброськин А. С. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2015. – Т.326. – №12. – С.122–130.

пост. 14.12.2017