

13. Kharitonskii P., Bobrov N., Gareev K., Kosterov A., Nikitin A., Ralin A. et al. Magnetic granulometry, frequency-dependent susceptibility and magnetic states of particles of magnetite ore from the Kovdor deposit. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2022;553:169279. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169279>

14. Олійник Т.А., Невзоров В.В. Тонке грохочення як спосіб вирішення технологічних питань при виробництві високоякісних залізрудних концентратів. Науковий вісник КНУ. – Кривий Ріг. – 2023. Вип.57, - С.80

15. Олійник Т.А., Вільгельм М.М. Особливості коагуляції частинок та адсорбція регентів на поверхні пінного продукту флотації. Науковий вісник КНУ. – Кривий Ріг. – 2023. Вип.57, -с.70

Рукопис подано до редакції 26.02.24

УДК 681.5:[622.73:622.69]

Д. В. ШВЕЦЬ, ст. викладач, Криворізький національний університет  
В. В. ШВЕЦЬ, заступник директора енергетичного департаменту,  
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

## АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ЦИКЛОМ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З УРАХУВАННЯМ ЧАСУ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОТОКУ СИРОВИНИ

**Мета.** Розробити спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, який може бути використаний на рудозбагачувальних фабриках чорної металургії при збагаченні магнетитових руд.

**Методи досліджень.** У статті використано поєднання огляду літератури та патентного аналізу, проведено аналіз переваг і недоліків існуючих методів автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди.

**Наукова новизна.** Запропоновано спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення вхідної руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, що може бути використана на рудозбагачувальних фабриках чорної металургії при збагаченні магнетитових руд.

**Практична значимість.** Розроблений спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вхідної руди дозволить стабілізувати вміст заліза на виході першої стадії магнітної сепарації, що, в свою чергу, підвищить якість кінцевого продукту рудозбагачувальної фабрики – залізрудного концентрату.

**Результати.** В ході досліджень розроблено спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення залізної руди в кульовому млині, що забезпечує внесення до блоку керування попередньо встановленого значення часу транспортного переміщення (запізнення) частини потоку вхідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, який формує керуючий сигнал на виконавчий механізм засувки, якою подають воду і коригують задане значення крупності зливу класифікатора з урахуванням зазначеного часу транспортного запізнення вхідної руди.

**Ключові слова:** залізна руда, автоматизація, транспортне запізнення, подрібнення і класифікація, міцність руди.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-101-105

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В Україні чорна металургія є однією з найбільш розвинутих галузей промисловості. В той же час, магнетитові концентрати вітчизняного виробництва за своєю собівартістю є більш вартісними порівняно з зарубіжними аналогами. Це зумовлює зниження їх конкурентоспроможності на світовому ринку [1].

При цьому існує проблема коливання показників вмісту заліза в залізрудній сировині, що надходить на переробку на рудозбагачувальні фабрики. Коливання показників якості вхідної залізної руди призводить до коливання вмісту корисного компонента в промпродукті та в концентраті. У зв'язку з цим, стабілізація вмісту заліза в залізрудній сировині є одним із найважливіших завдань у гірничозбагачувальній промисловості, зумовленим необхідністю підвищення якості концентрату в умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку залізрудних концентратів.

Питання контролю вмісту корисного компоненту в залізній руді на етапі подрібнення знаходило своє відображення в ряді наукових праць [2-7]. В той же час, через нелінійність та скла-

дність процесу переробки залізної руди, а також наявність рециклів, необхідно брати до уваги час транспортних переміщень залізородної сировини через технологічні агрегати кожної зі стадій процесу збагачення [8, 9].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як зазначалося вище, через коливність хіміко-мінералогічних властивостей залізної руди, що надходить на переробку, в процесі збагачення на кожній із стадій збільшується кількість втрат корисного компоненту в хвості збагачення. При цьому найбільші втрати заліза спостерігаються саме на першій стадії збагачення та сягають порядку 50% [10]. З огляду на це, набувала актуальності розробка методів та засобів оперативного контролю вмісту загального та магнітного заліза в руді, що поступає на подрібнення в млин [11-18]. Отримувана інформація про хіміко-мінералогічні властивості залізної руди дає змогу операторові млина керувати обсягами подачі руди в подрібнювальну установку та підвищує інформативність процесу переробки залізородної сировини.

З урахуванням інерційності процесу переробки залізної руди в умовах рудозбагачувальних фабрик доцільно враховувати час транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора.

Один із способів автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення включає в себе стабілізацію витрати вихідної руди у млин на заданому значенні зміною витрати руди, стабілізацію співвідношення "руда - вода" на заданому значенні, а також вимірювання заданого значення крупності і щільності зливу класифікатора. Також в ньому стабілізують на заданому значенні щільність зливу класифікатора і коригують задане співвідношення "руда - вода" у млин таким чином, що при збільшенні крупності зливу класифікатора від заданого значення кількість води в млин зменшують, а при зменшенні - збільшують у прямій пропорції у заданому діапазоні [19]. Недоліком зазначеного способу є те, що задане значення крупності зливу класифікатора встановлюється технологічним персоналом вручну, в залежності від його кваліфікації, без урахування фізико-механічних та хіміко-мінералогічних властивостей вихідної руди.

Відомий також інший спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення, що включає в себе стабілізацію витрати вихідної руди у млин на заданому значенні зміною витрати руди, стабілізацію співвідношення "руда - вода" на заданому значенні, стабілізацію на заданому значенні щільності зливу класифікатора і корекцію заданого співвідношення "руда - вода" у млин таким чином, що при збільшенні крупності зливу класифікатора від заданого значення кількість води в млин зменшують, а при зменшенні - збільшують у прямій пропорції у заданому діапазоні. Також попередньо встановлюють залежність між міцністю вихідної руди та вмістом в ній заліза і вносять отриману залежність до блоку обчислювання міцності, який розраховує поточну міцність вихідної руди і коригує задане значення крупності зливу класифікатора таким чином, що при перевищенні запланованого значення міцності вихідної руди задану крупність зливу класифікатора зменшують, а при зменшенні – збільшують [20]. Недоліком цього способу є те, що задане значення крупності зливу класифікатора коригується по показникам міцності вихідної руди, замірними в момент завантаження вихідної руди крупністю 20мм в кульовий млин, які порівнюються з одночасно замірними показниками крупності зливу класифікатора – частинами потоку руди, завантаженими в млин раніше. Для подрібнення вихідної руди крупності 20мм до крупності -0,1мм (крупність зливу класифікатора) необхідний значний час. Як показали проведені дослідження, час транспортного переміщення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора складає 15-25 хвилин, в залежності від продуктивності секції по вихідній руді та міцності руди. Таким чином, в даному способі, як і в інших відомих системах автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення, задана крупність зливу класифікатора коригується порівнянням параметрів різних частин завантаженого в кульовий млин потоку вихідної руди. В результаті, таке порівняння призводить до розбалансування системи автоматичного управління та погіршує результати роботи секції. Такі системи не знаходять застосування на діючих рудозбагачувальних фабриках. Як показує багаторічний досвід експлуатації систем автоматичного керування процесом мокрого збагачення магнетитових руд, у більшості випадків автоматизація рудозбагачувальних фабрик завершується стабілізацією трьох технологічних параметрів: витрати руди в млин, співвідношення «руда – вода» у млині та щільності зливу класифікатора.

**Постановка завдання.** Розробити спосіб автоматичного керування процесом мокрого подрібнення вхідної руди в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором, з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора, який може бути використаний на рудозбагачувальних фабриках чорної металургії при збагаченні магнетитових руд.

**Викладення матеріалу та результати дослідження.** Завданням досліджень є удосконалення відомого способу автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення за рахунок автоматичного коригування заданого значення крупності зливу класифікатора в залежності від величини міцності вихідної руди з урахуванням часу транспортного запізнення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення магнетитових руд включає:

стабілізацію витрати вихідної руди у кульовий млин на заданому значенні;

стабілізацію співвідношення "руда - вода" на заданому значенні зміною витрати води у млин;

стабілізацію на заданому значенні щільності зливу класифікатора;

корекцію заданого співвідношення "руда - вода" зменшенням кількості води в млин при збільшенні крупності зливу класифікатора від заданого значення і збільшенням кількості води в млин при зменшенні крупності зливу класифікатора від заданого значення;

а також встановлення залежності між міцністю вихідної руди та вмістом в ній заліза і внесення отриманих залежностей до блоку обчислювання поточного значення міцності вихідної руди і розрахунку поточної міцності вихідної руди з коригуванням заданого значення крупності зливу класифікатора зменшенням заданої крупності зливу класифікатора при перевищенні запланованого значення міцності вихідної руди або збільшенням заданої крупності зливу класифікатора при зменшенні міцності вихідної руди.

Додатково встановлюють час транспортного переміщення частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора і вносять його значення до блоку обчислювання міцності вихідної руди, за допомогою якого формують керуючий сигнал на виконавчий механізм засувки, якою регулюють подачу води у кульовий млин і коригують задане значення крупності зливу класифікатора з урахуванням часу транспортного переміщення вихідної руди.

Спосіб реалізується наступним чином. Перед переведенням керування циклу мокрого подрібнення магнетитової руди в автоматичний режим, технологічний персонал рудозбагачувальної фабрики спільно з фахівцями рудовипробувальної лабораторії визначає оптимальні значення регульованих параметрів (співвідношення "руда - вода", щільності і крупності зливу класифікатора) і їх допустимі відхилення від оптимальних значень, а також планове значення вмісту магнітного заліза в вихідній руді. Попередньо встановлюють залежність між вмістом заліза і міцністю вихідної руди та час транспортного переміщення вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу її до зливу класифікатора.

Зазначений спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення магнетитових руд включає в себе:

стабілізацію витрати вихідної руди у кульовий млин на заданому значенні;

стабілізацію співвідношення "руда - вода" на заданому значенні зміною витрати води у млин;

стабілізацію на заданому значенні щільності зливу класифікатора і корекцію заданого співвідношення "руда - вода".

Додатково використовується попередньо встановлена залежність між міцністю вихідної руди та вмістом в ній заліза. Встановлена залежність вноситься до блоку обчислювання поточного значення міцності вихідної руди, який здійснює розрахунки поточної міцності вихідної руди і, шляхом формування керуючого сигналу на виконавчий механізм засувки, керує подачею води та коригує задане значення крупності зливу класифікатора таким чином, що при перевищенні запланованого значення міцності вихідної руди задану крупність зливу класифікатора зменшують, а при зменшенні міцності вихідної руди – збільшують.

Попередньо встановлене значення часу транспортного переміщення (запізнення) частини потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора вноситься до блоку обчислювання міцності вихідної руди, який формує керуючий сигнал на виконавчий механізм засувки, якою подають воду і коригують задане значення крупності зливу класифікатора з урахуванням часу транспортного запізнення вихідної руди.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Запропонований спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення магнетитової руди з урахуванням міцності вихідної руди і урахуванням часу транспортного переміщення частин потоку вихідної руди від моменту її завантаження в кульовий млин до моменту підходу до зливу класифікатора підвищує ефективність керування та дозволяє знизити втрати корисного компонента і його коливання в кінцевому продукті рудозбагачувальних фабрик – концентраті.

### Список літератури

1. **Мацуй, А.М.** Моделювання підходів подрібнення різнотипів руд конкретного родовища у кульових млинах замкнутого циклу / **А.М. Мацуй, В.О. Кондратець** // Математичне моделювання. – 2015. – № 2 (37). – С. 43 – 49.
2. **Morkun, V., Morkun, N., Tron, V., Porkuian, O., Serdiuk, O., Sulyma, T.** Application of magnetic and ultrasonic methods for determining parameters of ferromagnetic components in iron ore slurry flows. *Acta Mechanica et Automatica*, 2021, 15(4), P. 193–200
3. Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 5, issue 5 (95). – P. 13–19. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
4. Model of absorbed gamma radiation in the interaction with rock formation / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets** // *IAES International Journal of Robotics and Automation*. Vol.8, No.4. December 2019. 269-276 ISSN: 2089-4856, DOI: 10.11591/ijra.v8i4.pp269-276
5. **Shvets D.V.** Mathematical model for controlling the classification process of crushed iron raw materials using fuzzy logic // *Вісник Криворізького національного університету* – Вип.55 – 2022. – С. 156-162.
6. **Азарян А.А., Моркун В.С., Швець Д.В., Черкасов О.В., Гриценко А.М., Швидкий О.В.** Пошук шляхів зниження втрат і розубоження залізорудної сировини / *Вісник Криворізького національного університету*. – Вип. 52. – 2021. – С.15-19. doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-15-19
7. Патент № 146595 Азарян А.А., Гриценко А.М., Цибулевський Ю.С., Швець Д.В. Пристрій оперативного контролю крупності магнетиту у пульпі. Опубл. 03.03.21 Бюл. №9.
8. Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 3, issue 5 (99). – P. 29–35. – DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341.
9. **Azaryan A.** Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / **A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets** // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66.
10. Контроль содержания магнетитового железа в пульповых продуктах рудообогатительной фабрики / **[Азарян А.А., Кучер В.Г., Цибулевский Ю.Е., Швець Д.В.]**. – *INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL «Web of Scholar»*, Киев, №1(10), 2017, С.9-12.
11. Патент № 129934 **Швець Д.В.** Спосіб автоматичного керування процесом подрібнювання магнетитових руд у залежності від їх міцності. Опубл. 26.11.18 Бюл. №22.
12. **Shvets D.V.** Analysis of operational control methods of iron ore chemical and mineralogical characteristics / Міжнародна НТК «Розвиток промисловості та суспільства». - Матеріали конференції. 24-26 травня 2023 р. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2023. - С. 250.
13. **Азарян А.А.** Розробка математичної моделі технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини на рудозбагачувальних фабриках / **Азарян А.А., Швець Д.В., Карабут Н.О.** // *Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the fifth International scientific and practical conference. Kharkiv, Ukraine. 2020.* Pp. 21-27.
14. **Швець Д. В.** Формалізація структури математичної моделі першої стадії технологічного процесу переробки залізної руди з урахуванням нечітких параметрів // XVI Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» (KICM). 21-23 березня 2023 р. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2023. - С. 240-241.
15. **Азарян А.А.** Підвищення точності гамма-методу для визначення хіміко-мінералогічних характеристик залізорудної сировини / **Азарян А.А., Швець Д.В., Карабут Н.О., Крапивний Н.С.** // *Modern Science And Practice. Abstracts of XV International Scientific and Practical Conference. Varna, Bulgaria 2020.* Pp. 274-276
16. **Morkun V. S., Morkun N. V., Tron V. V., Sulyma T. S.** Synthesizing models of nonlinear dynamic objects in concentration on the basis of Volterra-Laguerre structures. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. Vol. 2. P. 30–36. DOI: 10.33271/nvngu/2020-2/030.
17. **A. Azaryan, A. Trachuk, D. Shvets, A. Gritsenko.** Research of opportunities for increasing control accuracy of magnetic iron content in blastholes // XIV Міжнародна наукова конференція «Science and Society». Гамільтон, Канада, 2019 р. - С. 4-9.
18. **Швець Д.В.** Розробка математичної моделі взаємодії гамма-випромінювання з залізорудною сировиною для визначення її хіміко-мінералогічних характеристик / **Швець Д.В., Карабут Н.О., Крапивний Н.С., Азарян А.А.** //

ХІІ Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих науковців «Наука, освіта, суспільство очима молодих». 26 травня, 2020 р., м. Рівне: Рівненський державний гуманітарний університет, С. 299-300.

19. Патент № 56304 **Кучер В.Г., Черняков С.М., Кривенко Ю.Ю.** Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення. Опубл. 10.01.11 Бюл. №1.

20. Патент № 118091 **Швець Д.В.** Спосіб автоматичного керування одностадійним циклом мокрого подрібнення. Опубл. 25.07.17 Бюл. №14.

Рукопис подано до редакції 20.03.24

УДК 622.2

О.Л. ШЕПЕЛЬ, канд. техн. наук, доц.

Криворізький національний університет

## **АКТУАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХОДУ З ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ НА ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНОВАНОГО ВІДКРИТО-ПІДЗЕМНОГО ТА ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ**

**Мета.** Метою даної роботи є обґрунтування переходу з техногенно-деструктивних, екологічно небезпечних технологій відкритої на відкрито-підземну та підземну технології розробки родовищ корисних копалин.

**Методи дослідження.** Використані наступні методи: аналіз практичного досвіду роботи ряду закордонних рудників з комбінованим відкрито-підземним способом розробки родовищ; аналіз та узагальнення літературних джерел в області проблем подальшого розвитку техногенно-деструктивних, екологічно небезпечних технологій видобутку магнетитових кварцитів відкритим способом; проведено дослідження проблеми переходу з видобутку корисних копалин відкритим способом на технології комбінованого відкрито-підземного та підземного видобутку залізорудної сировини; методи аналізу.

**Наукова новизна.** Встановлено, що при видобуванні з надр корисних копалин змінюється напружено-деформований стан гірських порід. Це впливає на процеси зрушення гірських масивів, при яких зміщення можуть досягати верхніх горизонтів і проявитися у вигляді деформацій елементів кар'єрного поля. Такі зміщення можуть призводити до руйнування промислових і цивільних об'єктів. Встановлено, що всі підприємства, які розпочали відпрацювання запасів відкритим способом, проводять у життя технічну політику планомірного переходу від відкритих гірничих робіт до підземних гірничих робіт, створюючи на родовищах, що відпрацьовуються, єдині геотехнологічні системи «кар'єр-шахта».

**Практична значимість.** Полягає на обґрунтуванні принципів вирішення проблеми раціонального використання сировинної бази Кривбасу, що базуються на технологіях комбінованого видобутку залізорудної сировини та можливості утилізації відходів гірничого виробництва у виробленому просторі шахт.

**Результати.** В результаті виконаного аналізу літературних джерел встановлено, що у світовій практиці є стійка тенденція переходу з техногенно-деструктивних технологій відкритого видобутку залізорудної сировини на сучасні екологічно безпечні технології відкрито-підземної та підземної розробки корисних копалин, особливо в районах, що характеризуються несприятливими умовами для відкритих гірничих робіт. В роботі зазначено, що відпрацювання родовищ комбінованим способом дозволяє знизити рівень екологічних збитків від відкритих гірничих робіт з одночасним підвищенням ефективності підземних робіт.

**Ключові слова:** технологія, аналіз, відкрито-підземний, відпрацювання, комбінована розробка, руда.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-105-110

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** У Криворізькому залізорудному басейні в результаті тривалого та інтенсивного відпрацювання родовищ відкритим способом утворилися значні площі порушених гірничими виробками територій. Значні площі орних земель зайняті під кар'єри, відвали та хвостосховища. Сотні тисяч гектарів плодючої Української землі вже сьогодні непридатні для сільськогосподарського використання, а іноді і для проживання. Тисячі тон пилу з відвалів та хвостосховищ кожен рік погіршують навколишню природу та забруднюють повітря в гірничодобувних басейнах. Масові вибухи на кар'єрах при відбійці гірської маси призводять до викиду в атмосферу значної кількості шкідливого пилу та канцерогенних речовин. Екологічна обстановка в районах з відкритим способом розробки часто близька до критичної. Крім того, сейсмічний ефект від масових вибухів утворює сейсмічну хвилю, яка, в окремих випадках, призводить до руйнування цивільних будинків та промислових об'єктів.