

7. **Khlebnova, V.I.** (2016). Methods and instruments for measuring the rate of liquids and gases: prospects of application of ultrasonic transducers with a wide measuring beam. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 9 (678). 45-52. DOI: 10.18698/0536-1044-2016-9-45-52.
8. **Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A.** The adaptive control for intensity of ultrasonic influence on iron ore pulp. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014. 6(6), с. 8-11.
9. **Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A..** (2015) The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp. *Ultrasonics*, Volume 56, p.p. 340-343.
10. **Splichal, J., & Hlinka, J.** (2018). Modelling of health monitoring signals and detection areas for aerospace structures. *Proceedings of 13th Research and Education in Aircraft Design*. 170-188.
11. **Шупов Л. П.** Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения. М.: Недра, 1980. 288 с.

УДК 658.652.64.622.3

А.А. АЗАРЯН, В.С. МОРКУН, доктори технічних наук, професори, Д. В. ШВЕЦЬ, ст. викл., О. В. ЧЕРКАСОВ, ст. наук. співроб., А.М. ГРИЦЕНКО, О.В. ШВИДКИЙ, наукові співробітники Криворізький національний університет

ПОШУК ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ І РОЗУБОЖЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

Мета. Аналіз існуючих та виявлення оптимальних шляхів зниження втрат і розубоження залізорудної сировини.

Методи дослідження. Пропонується для зниження втрат та розубоження залізорудної сировини застосовувати комплекс організаційно-технічних заходів, що складається з вибору системи відпрацювання родовища, буропідричних робіт, випуску руди з дучок, каротажу вибухових свердловин та інклінометрії.

Наукова новизна. Основним елементом зазначеного комплексу організаційно-технічних заходів є застосування електронного інклінометра з модулем, який являє собою сукупність акселерометра, гіроскопа і магнітометра. Додатково в ньому розміщений мікроконтролер управління модулем, який відповідає за виконання математичних розрахунків для передачі готових даних з датчика. Акселерометр відповідає за вимірювання проекції прискорення та кута нахилу пристрою, гіроскоп застосовується для стабілізації вихідного сигналу нахилу, магнітометр реалізує вимірювання вмісту магнітного заліза в залізорудній сировині. Додатково використовується окремий, незалежний пристрій зі спеціально розробленим програмним забезпеченням, що дозволяє по протоколу обміну і з використанням механізму переривань здійснювати взаємозв'язок з модулем, що містить акселерометр, гіроскоп та магнітометр. Взаємозв'язок цих пристроїв дозволяє проводити налаштування як в цілому модуля, так і окремо акселерометра, гіроскопа та магнітометра, проводити калібрування модуля, а також отримувати результати проведених вимірювань і розрахунків.

Практичне значення. Для оптимізації технологічних параметрів залізорудної сировини в умовах підземного видобутку при використанні похилих свердловин для буровибухових робіт необхідне застосування інклінометрії. Запропонований інклінометр із застосуванням акселерометра, гіроскопа та магнітометра дозволяє збільшити точність вимірювань та підвищити інформативність процесу інклінометрії.

Результати. Розроблено функціональну схему інклінометра із застосуванням акселерометра, гіроскопу та магнітометра. Попередні розрахунки дозволяють прийти до висновків, що застосування інклінометрії при підземному видобутку руд дозволить знизити планові показники засмічення на 3,0%, втрати руд на 5,0%, і забезпечити підвищення вмісту заліза на 2,0%.

Ключові слова: залізорудна сировина, інклінометрія, розубоження, акселерометр, гіроскоп, магнітометр.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-15-19

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Частка України в світовому виробництві залізної руди становить близько 6%. На території України знаходиться 20% світових запасів залізної руди. За запасами залізорудної сировини Україна посідає перше місце в світі, а за обсягами виробництва – сьоме.

Кривбас є центром гірничо-металургійного комплексу України. Економічний потенціал нашої держави в значній мірі залежить від стану гірничо-металургійної промисловості [1, 2].

Річний обсяг відкритого і підземного видобутку залізорудної сировини в Кривбасі сягає понад 60 млн. тонн. Разом з тим, високі темпи розвитку промисловості вимагають збільшення обсягів видобутку руд. Балансові запаси багаті руди Кривбасу із середньою масовою часткою заліза 56,7% складають 1,5 млрд тонн, а залізистих кварцитів із середньою масовою часткою заліза 34,3% - 18 млрд тонн.

Аналіз досліджень і публікацій. Забезпечення металургійного виробництва сировиною з заданими показниками якості є актуальною проблемою [3].

Однією з найважливіших характеристик якості видобутої руди є вміст металу в гірничій масі. Діапазон допустимих значень вмісту металу досить широкий, але чим більше вміст корисного компонента, тим вище економічна ефективність металургійного переділу. Так, наприклад, підвищення вмісту металу в руді тільки на 1% збільшує продуктивність доменного виробництва на 4 ... 5%, знижує витрати коксу на 1 ... 3% і витрати вапняку на 6 ... 8% [1].

В даний час при видобутку залізорудної сировини втрати руд з середнім вмістом заліза до 57% складають сьому частину від загального обсягу, а засмічення вміщуючими породами з вмістом заліза 37,5% становить шосту частину від загального обсягу видобутку руд.

Постановка завдання. Аналіз можливих шляхів зниження втрат і розубоження залізорудної сировини.

Викладення матеріалу та результати. Які ж існують реальні методи і способи для зниження втрати руд?

Для зниження втрат та розубоження залізорудної сировини необхідно застосовувати комплекс організаційно-технічних заходів, що складається з:

- вибору системи відпрацювання родовища;
- буропідливних робіт;
- випуску руди з дучок;
- каротажу вибухових свердловин;
- інклінометрії.

Досвід Запорізького залізорудного комбінату показав, що відпрацювання родовища з закладкою дозволяє значно знизити втрати руд і засмічення підірваної гірничої маси. Крім того, виключаються провали відпрацьованих родовищ, що покращує екологію і дозволяє рекультивувати і відновити родючі землі.

У Кривбасі не використовується система розробки родовищ із закладкою. Змінити встановлену систему розробки родовищ є надзвичайно трудомісткою і витратною процедурою.

Буропідливні роботи потрібно проводити суворо за паспортом буропідливних робіт.

Одним з основних джерел втрат руд і засмічення підірваної гірничої маси є випуск руди з дучок. Існують різні способи боротьби за підвищення ефективності процесу випуску.

На стадії підготовчих робіт для видобутку руд втрати і розубоження складають 3-5% [4]. Досвід роботи показує, що найбільш раціональними та ефективними методами зниження як втрат руд, так і засмічення підірваної гірничої маси порожніми породами, є каротаж свердловин та інклінометрія. Згідно з розрахунковими даними, поєднання цих двох методів дозволить знизити втрати руд на 5%, а засмічення – на 3%.

Інклінометри по праву вважаються основними засобами здійснення вимірів у свердловинах. Електронний інклінометр призначений для контролю стану вибухових свердловин в рудному масиві, що дозволяє визначати зенітний і азимутальні кути і оперативно контролювати стан свердловини в масиві [5-8]. Інклінометрія запобігає переходу свердловин в контактну зону «руда-порода», що в кінцевому підсумку знижує втрати. При цьому фіксується викривлення свердловини, що за даними статистики становить до 15% від її глибини.

Сумарна інформація, що одержується від інклінометрів і каротажного зонду, дозволяє розробляти тривимірні моделі рудного масиву, що дає можливість прогнозувати якісно-кількісні параметри підірваної рудної маси і визначати кількість експлуатаційних свердловин, відхилених за контактну зону в область «порожніх порід». Крім того, при великій відстані між свердловинами, визначається необхідність буріння додаткових свердловин, для виключення втрати руд і наднормативного виходу негабаритів.

Основною перевагою інклінометра в поєднанні з каротажним зондом є отримання каротажних даних відповідно до положення та орієнтації каротажного зонду в кожен момент часу.

В інклінометрі повинні бути передбачені наступні основні функції:

- завдання початкових значень положення інклінометра;
- контроль поточної орієнтації інклінометра;
- контроль пройденого шляху вздовж переміщення інклінометра;
- синхронне накопиченні даних;

канал зв'язку для діагностики та аварійної сигналізації.

Додаткові функції:

магнітометричний контроль;

радіометричний контроль;

відеометричний контроль.

В даний час на дробильно-сортувальних фабриках шахт для підвищення якості товарної руди застосовується технологія переробки сирової руди, яка базується на різних характеристиках міцності руди і вміщуючих порід. В результаті дроблення і розсівання сирової руди на вібраційних грохотах отримують два продукти: підрешітний продукт в якості агломераційної руди реалізується металургійним заводам, а надрешітний продукт складається у вигляді бідної кускової руди. Вихід бідної кускової руди по ПАТ «КЗРК» становить близько 2 млн тонн на рік.

Досвід показує, що застосовувана схема переділу неефективна, так як при цьому збільшуються амортизаційні та енерговитрати на 1 тону товарної руди.

Основні причини втрати руд і засмічення при підземному видобутку наведені нижче:

відхилення вибухових свердловин від проектного напрямку, в середньому на 10-15% від глибини, внаслідок чого відбувається законтурне відбивання некондиційної гірської маси, а також залишаються невідбиті долі рудного покладу;

основні втрати через неповне відбивання рудної маси зосереджені в лежачому боці рудного тіла;

викривлення свердловин в приконтатній зоні призводить до засмічення підірваної гірничої маси.

Однією з основних причин великих втрат і засмічення рудної маси є відсутність оперативного контролю положення і глибини вибухових свердловин в рудному масиві.

З метою зниження втрати руд і засмічення підірваної гірничої маси, необхідно розробити і впровадити у виробництво:

електронний інклінометр для контролю положення вибухових свердловин в рудному масиві;

пристрій для оперативного контролю глибини вибухових свердловин;

програмний комплекс для створення 3D-моделі рудного масиву;

рудничний радіометр для оперативного контролю якості гірської маси при випуску руди з дучок і на концентраційному горизонті.

Функціональна схема електронного інклінометра наведена на рис. 1.

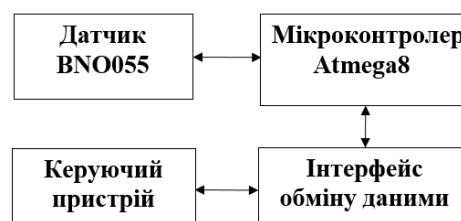
Рис.1. Функціональна схема електронного інклінометра

В електронному інклінометрі в якості датчика просторового положення використовується модуль BNO055, вироблений фірмою BOSCH. Даний датчик є сукупністю 3-х осьових акселерометра, гіроскопа і магнітометра. Крім того, в ньому розміщений мікроконтролер управління модулем, також він виконує математичні розрахунки для передачі готових даних з датчика.

Магнітометр призначений для вимірювання характеристик магнітного поля і магнітних властивостей матеріалів. Для контролю параметрів магнітного поля проводиться вимір повного вектора магнітного поля. Це необхідно для оцінки неоднорідності магнітного поля під час перевірки.

Акселерометр є пристроєм, що вимірює проекцію прискорення (різницю між істинним прискоренням об'єкта та гравітаційним прискоренням) [9-10]. Акселерометри призначені для безперервного вимірювання віброприскорення за трьома взаємноортогональними осями X, Y, Z, кута нахилу по двом осям і передачі результатів вимірювань по інтерфейсу RS-485 в персональний комп'ютер для подальшої обробки, аналізу та зберігання.

Гіроскоп – пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації тіла, на якому він встановлений, щодо інерціальної системи відліку [11-15]. Серед механічних гіроскопів можна виділити роторний гіроскоп – тверде тіло, що швидко обертається, вісь обертання якого може зміню-



вати свій напрям в просторі. Гіроскоп має низку цікавих властивостей, які спостерігаються у небесних тіл, що обертаються, у артилерійських снарядів, у дитячої дзиги, у роторів турбін, встановлених на судах. Властивості гіроскопа проявляються при виконанні двох умов:

вісь обертання гіроскопа повинна мати можливість змінювати свій напрям у просторі;

кутова швидкість обертання гіроскопа навколо своєї осі повинна бути досить великою порівняно з тією кутовою швидкістю, яку буде мати сама вісь при зміні свого напрямку.

Перша властивість урівноваженого гіроскопа з трьома ступенями свободи полягає в тому, що його вісь прагне стійко зберігати в світовому просторі приданий їй початковий напрямок. Якщо ця вісь спочатку направлена на якусь зірку, то при будь-яких переміщеннях основи приладу або випадкових поштовхах вона продовжуватиме вказувати на цю зірку, міняючи своє орієнтування щодо земних осей.

Елемент функціональної схеми, позначений як Host Processor - це окремий, незалежний пристрій зі спеціально розробленим програмним забезпеченням, що дозволяє по протоколу обміну і з використанням механізму переривань здійснювати взаємозв'язок з модулем BNO055. Взаємозв'язок дозволяє проводити налаштування як в цілому модуля, так і окремих його пристроїв, проводити калібрування модуля, а також отримувати результати проведених вимірювань і розрахунків.

Функціональна схема датчика наведена на рис. 2

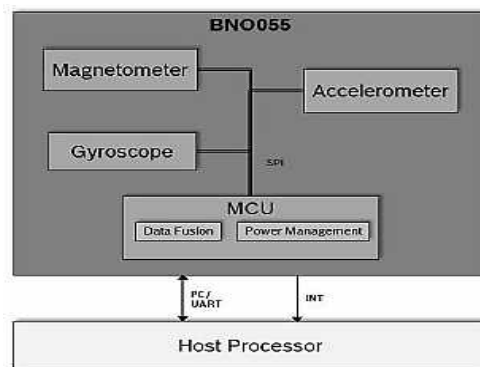


Рис. 2. Функціональна схема датчика

Блок-схема алгоритму нижнього рівня наведена на рис. 3.

Блок-схема алгоритму верхнього рівня наведена на рис. 4.



Рис. 3. Блок-схема алгоритму нижнього рівня



Рис. 4. Блок-схема алгоритму верхнього рівня

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для оптимізації технологічних параметрів залізорудної сировини в умовах підземного видобутку при використанні похилих свердловин для буровибухових робіт, необхідне застосування інклінометрії.

Застосування інклінометрії при підземному видобутку руд, за попередніми оцінками, дозволить знизити планові показники засмічення на 3,0%, втрати руд на 5,0%, і забезпечити підвищення вмісту заліза – на 20%.

Список літератури

1. Качество минерального сырья / А. А. Азарян, В. А. Колосов, Л. А. Ломовцев, А. Д. Учитель ; под общ. ред. В. Ф. Бызова. – Кривой Рог : Минерал, 2001. – 203 с.
2. Ways to Reduce Ore losses and Dilution in Iron Ore Underground Mining in Kryvbass / **A. A. Azaryan, A. S. Batareyev, F. I. Karamanits** [et al.] // Science and Innovation. – 2018. – Vol. 14, is. 4. – P. 17–24.
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. Система управления качеством руд с применением радиометрических методов на действующих горнодобывающих предприятиях / **В. И. Ревнивцев, Е. И. Крапивский, Е. П. Леман** [и др.] // Тезисы докладов Всесоюзного семинара «Электронные методы обогащения». – Москва, 1985. – С. 10–11.
5. **Бранец В. Н.** Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела / **В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский**. – Москва : Наука, 1973. – 320 с.
6. **Челноков Ю. Н.** Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения / **Ю. Н. Челноков**. – Москва : Физматлит, 2006. – 512 с.
7. **Kuipers J. B.** Quaternions and Rotation Sequences / **J. B. Kuipers** : a primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. – Princeton : University Press, 1999. – 400 p.
8. **Журавлев В. Ф.** Основы теоретической механики. – 2-е изд., перераб. – Москва : Физматлит, 2001. – 320 с.
9. **Красовский А. А.** Теоретические основы пилотажно-навигационных комплексов / **А. А. Красовский, А. В. Лебедев, В. В. Невструев**. – Москва : ВВИА им. Жуковского, 1980. – 372 с.
10. **Алешин Б. С.** Ориентация и навигация подвижных объектов / **Б. С. Алешин**. – Москва : Физматлит, 2006. – 422 с.
11. **Бранец В. Н.** Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем / **В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский**. – Москва : Наука, 1992. – 280 с.
12. **Дмитриев С.П.** Инерциальные методы в инженерной геодезии / **С.П. Дмитриев** // С.-Петербург : ГНЦ РФ - ЦНИИ "Электроприбор", 1997. – 208 с.
13. **Липтон Н.** Начальная выставка инерциальной системы на подвижном основании / **Н. Липтон**. – М. : Наука, 1971. – 167 с.
14. **Збруцький О. В.** Розробка структури та алгоритму функціонування інтегрованої навігаційної системи визначення координат і курсу рухомого об'єкта / **О. В. Збруцький, О. І. Нестеренко, О. В. Прохорчук** // Вісник ТАУ, УТУ. – 1999. – № 3. – С. 233–236.
15. **Азарян А. А.** Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды / **А. А. Азарян, В. Ю. Зубкевич, Д. В. Швец** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 47. – С. 68–75. – DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-68-76.

УДК 669.184:628.5-049.5

В.К. ТАРАСОВ, О.С. ВОДЕННИКОВА, кандидати техн. наук, доценти

Запорізький національний університет

Л.В. ВОДЕННИКОВА, асист., Запорізький державний медичний університет

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ

Мета. Метою роботи є пошук шляхів підвищення техногенної безпеки технологічного процесу киснево-конвертерного виробництва сталі.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями:

проаналізувати шкідливі виробничі фактори киснево-конвертерного процесу та засоби підвищення техногенної безпеки конверторного виробництва;

визначення рівня безпеки основного обладнання киснево-конвертерного цеху від тривалості його безаварійної роботи;

встановлення раціональної зони роботи обладнання киснево-конвертерного цеху;