

органу у площі, яка утворює з останнім кут  $50^\circ$ . Завдяки цьому гранули під час поступального пересування від завантажувального кінця робочого органу здійснюють зигзагоподібні рухи у кожному з шести його лотків і знаходяться на них протягом часу, не-обхідного для зміцнення їх поверхневого шару.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Отримані результати дають змогу зупинитися на найбільш досконалій конструкції установки для вібраційного поверхневого зміцнення сирих окатишів, провести повномасштабні промислові випробування і на основі їх результатів зробити висновок про доцільність її практичного використання на вітчизняних огрудкувальних виробництвах у технологічному процесі виготовлення залізородних окатишів.

#### Список літератури

1. **Громадський А.С.** Машини допоміжних процесів переробки руд / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.С. Ліфенцов.** – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2012. – 276 с.
2. **Громадський А. С.** Проектування гірничих машин і комплексів для видобутку та переробки руд: Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, О.С. Ліфенцов.** – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. – 528 с.
3. **Бережний М.М.** Збагачення та окускування сировини / **М.М. Бережний, В.П. Мовчан.** – Кривий Ріг: 2000. – 365 с.
4. **Маерчак М.** Производство окатышей. Пер. со словацкого / **М. Маерчак.** – М.: Metallurgiya, 1982. – 232 с.
5. **Кожевников И.Ю.** Окускование и основы металлургии / **И.Ю. Кожевников, Б.М. Равич.** – М.: Metallurgiya, 1991. – 304 с.
6. **Іскович-Лотоцький Р.Д.** Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій / **Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов** // – Вінниця: Універсум, 2006, - 291 с.
7. **Blechman I.I.** Revisiting the models of vibration screening process / **I.I. Blechman, L.I. Blechman, L.A. Vaisberg, K.S. Ivanov.** – Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
8. **Гончаревич И.Ф.** Вибротехника в горном производстве / **И.Ф. Гончаревич.** – М.: Недра, 1992. – 319 с.
9. Вибрации в технике: Справочник. Вибрационные процессы и машины, т. 4 / Под ред. **Э.Э. Лавендела.** - М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
10. Разработка способов и средств повышения качества окатышей на Центральном ГОКе ГПО «Южруда». Проведение экспериментальных исследований и разработка по их результатам экспериментального образца машины для повышения качества окатышей/Отчет о НИР № 11-191-88/рук. **А.М. Кальницкий.** – Кривой Рог: КГРИ, 1988. – 47 с.
11. Разработка технологии и техники для повышения технического уровня окатышей ЦГОКа / Отчет о НИР № 11-279-89 / рук. **А.М. Кальницкий.** – Кривой Рог: КГРИ, 1990. – 45 с.
12. **Каварма И.И.** Повышение качества сырых окатышей виброупрочнением / В кн.: Разработка рудных месторождений, вып. 74 / **И.И. Каварма, И.В. Кулик.** – Кривой Рог: 2001. – С. 128-131.
13. А.с. СССР № 1678063 «Способ получения сырых окатышей», С22В 1/24, 1992 / **И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, В.Ф. Кондратенко, Ю.Г. Горбачев.**
14. А.с. СССР № 1617962 «Линия для производства железородных окатышей», С22В 1/24, 1992 / **И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, В.Ф. Кондратенко, Ю.Г. Горбачев, А.Л. Мондрус, В.Н. Кумченко.**
15. **Сорочинська А.Р.** Аналіз вібраційних технологій і техніки підвищення якості окатишів в умовах ЦГЗК / **А.Р. Сорочинська** / Кваліфікаційна робота магістра. Рукопис. – Кривий Ріг: КНУ, 2020. – 86 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.24

УДК 658.562.64:622.3

**А.А. АЗАРЯН**, д-р техн.наук, проф., Криворізький національний університет  
**О.В. ШВИДКИЙ**, інженер-програміст, ТОВ «Рудпромгеофізика»

## ПОШУК ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ТА ЗУБОЖІННЯ ПІДРВАНОЇ ГІРСЬКОЇ МАСИ

**Мета.** Підвищення точності оперативного контролю якості залізородної сировини та зниження втрати руд при видобутку.

**Методи дослідження.** Безперервний контроль за становищем експлуатаційної свердловини в масиві гірських порід з урахуванням Ейлерового, зенітного та азимутального кутів електронного інклінометра.

**Наукова новизна** Використання електронного інклінометра у поєднанні з результатами ядерно-фізичного каротажу вибухових свердловин дозволяє оптимізувати просторове положення зонда в гірському масиві із зазначенням точних зенітних та азимутальних кутів, що запобігає переходу датчика в контактну зону.

**Практична значимість.** Відомо, що вміст корисного компонента гірських порід є важливим параметром при видобутку та переробці мінеральної сировини. Встановлено, що підвищення вмісту корисного компонента на один

відсоток збільшує продуктивність доменної печі, при цьому витрата коксу знижується до трьох відсотків. Використання електронного інклінометра дозволить знизити втрати руд і підвищити вміст підірваної гірської маси.

Запобігання переходу як каротажного зонда, так і електронного інклінометра в контактну зону «руда-порода», дає можливість виключити змішування рудного та породного масиву гірських порід, що дозволяє зберегти середній вміст корисного компонента в масиві.

**Результати.** При видобутку залізорудної сировини втрати руд із середнім вмістом заліза до 57% складають сьому частину від загального обсягу. Одним з ефективних методів вирішення проблеми втрат та зубожіння підірваної гірничої маси є використання електронного інклінометра. Інклінометрія з використанням електронного інклінометра дозволяє: визначити поточне положення забою свердловини; графічно, в режимі реального часу відобразити траєкторію свердловини; планувати напрямок свердловини; забезпечити інформацією про орієнтацію інших свердловинних інструментів, більш точно розрахувати залягання різних формацій для побудови геологічних карт. Інформація отримана від інклінометра та каротажного зонда, дозволяє розробляти трьохвимірні моделі рудного масиву, що дає змогу прогнозувати якісно-кількісні параметри підірваної рудної маси та визначати кількість відхилених експлуатаційних свердловин.

**Ключові слова:** оперативний контроль, каротаж, зенітний кут, Ейлерові кути, початкові установки, вихідні дані, електронний інклінометр, азимутальний кут.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-157-162

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблема підвищення якості гірничої маси при видобутку і переробці була і залишається центральним питанням. Існують різні способи реалізації цього завдання. Ціна питання – ефективність. Використання інклінометрів при дослідженні та розробці родовища корисних копалин суттєво знижує виробничі витрати та підвищує сумарну ефективність процесу розробки родовища корисних копалин.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У технічній літературі є багато праць присвячених використанню інклінометрів переважно у нафтогазовій промисловості, де є вертикальні свердловини. Істотно мало наукових праць присвячені інклінометрам при похилих свердловинах, що застосовуються в залізорудній галузі.

**Постановка задачі.** Для зменшення втрат і засмічення підірваної норної маси, а також підвищення точності оперативного контролю при видобутку та переробки залізорудної сировини доцільно використовувати поєднання електронного інклінометра з ядерно-фізичним каротажним зондом

**Викладення матеріалу та результати.** Доля України в світовому виробництві залізної руди складає приблизно 6%. На території України розміщено 20% світових запасів залізної руди. По запасам залізорудної сировини Україна займає перше місце в світі, а по об'ємах виробництва – сьоме.

Кривбас являється центром гірничо-металургійного комплексу України. Економічний потенціал нашої країни в значній мірі залежить від стану гірничо-металургійної промисловості.

Річний об'єм відкритого та підземного видобутку залізорудної сировини в Кривбасі складає більше 60 млн тонн. Разом з тим, високі темпи розвитку промисловості вимагають збільшення кількості видобутку руди. Балансні запаси багаті руди Кривбасу зі середньовмісткою масовою часткою заліза 56,7% складають 1,5 млрд тонн, а залістих кварцитів із середньовмісткою масовою часткою заліза 34,3% -18 млрд тонн.

Забезпечення металургійного виробництва сировиною із заданими показниками якості являється актуальною проблемою.

Однією із найважливіших характеристик якості видобутої руди являється вміст заліза в гірничій масі. Діапазон допустимих значень вмісту заліза доволі широкий, але чим більший вміст корисного компоненту, тим вище економічна ефективність металургійного переділу. Так, наприклад, підвищення вмісту заліза в руді тільки на 1% збільшує продуктивність доменного виробництва на 4...5%, знижує витрату коксу на 1...3% та витрату вапна на 6...8% [1].

На сьогодні при видобутку залізорудної сировини втрати руди із середнім вмістом заліза до 57% складає сьому частину від загального об'єму, а засмічення іншими породами із вмістом залізу 37,5% складає шосту частину від загального об'єму видобутої руди.

Які ж існують реальні методи та способи для зниження втрат руди?

Це повинен бути комплекс організаційно-технічних заходів, що складаються з: вибору системи відпрацювання родовища; бурильно-вибухових робіт; випуску руди з дучок; каротажу вибухових свердловин; інклінометрія.

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

В Кривбасі не використовується система розробки родовища із закладкою, тому, змінити встановлену систему розробки родовища являється надзвичайно трудомісткою та затратною процедурою.

Бурозривні роботи потрібно проводити відповідно паспорту БЗР.

Одним із основних джерел втрат руди та засмічення підірваної гірничої маси, являється випуск руди із дучок. Існують різні способи боротьби для підвищення ефективності процесу випуску.

На стадії підготовчих робіт по видобутку руди втрати та зубожіння складають 3-5% [2]. Однак, після бурозривних робіт ці показники збільшуються в рази та складають 13-25%. Досвід роботи показує, що найбільш раціональними і ефективними методами зменшення як втрат руди, так і засмічення підірваної гірничої маси пустими породами, являються каротаж свердловин та інклінометрія.

Інклінометри вважаються основними засобами проведення вимірювань в свердловинах. Електронний інклінометр призначений для контролю розміщення взривних свердловин в рудному масиві, тобто дозволяє визначити зенітний та азимутальний кути та оперативно контролювати розміщення скважини в масиві. Інклінометрія запобігає переходу свердловин в контактну зону «руда-порода», що в свою чергу знижує втрати. При цьому фіксується викривлення свердловини, що за даними статистики складає до 15% від глибини свердловини.

Сумарна інформація, отримана від інклінометра та каротажного зонда, дозволяє розробляти трьохмірні моделі рудного масиву, що дає змогу прогнозувати якісно-кількісні параметри підірваної рудної маси та визначити кількість експлуатаційних свердловин відхилених в контактну зону в область «пустих порід». Крім того, при великій відстані між свердловинами, визначається необхідність вибурити додаткові свердловини, для виключення втрат руди та поверх нормативного виходу негабаритів.

Нижче наведено функціональну схему, алгоритм та принцип роботи інклінометра в парі з каротажним зондом.

Основною перевагою такого об'єднання є отримання каротажних даних в відповідності із розміщенням та орієнтацією каротажного зонда в кожен момент проведення вимірювань.

В даному інклінометрі передбачено наступні основні функції: введення початкових значень положення інклінометра; контроль поточної орієнтації інклінометра; контроль пройденого шляху вздовж переміщення інклінометра; синхронне накопичення даних; канал зв'язку для діагностики і аварійної сигналізації.

Додаткові функції: магнітометричний контроль; радіометричний контроль; відеометричний контроль.

Додаткові функції можна використовувати в залежності від цілей каротажу похилих свердловин.

Інклінометри по праву вважаються основними засобами проведення вимірювань в свердловинах. На даний час, за думкою деяких спеціалістів, доля інклінометричних досліджень в процесі буріння свердловин може складати близько 70% від загального об'єму промислово-геофізичних робіт.

Інклінометри пройшли достатньо довгий та складний еволюційний шлях, починаючи від вперше згаданого в 1865 р. пристрою в вигляді пляшки, що опускалась на вірьовці в свердловину з фтористоводневою (плавицевою) кислотою до сучасних фотографічних, магнітомеханічних, феррозондових, гіроскопічних та інших пристроїв, що працюють в свердловині як автономно, так і ті, що передають інформацію на земну поверхню по спеціально організованому каналу зв'язку.

Сучасний етап розвитку інклінометрів характеризується незупинним пошуком нових конструкцій, направлених на більш повне задоволення потреб промисловості.

Однак, попри активне проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт в галузі інклінометричної апаратури, створення пристроїв, які б відповідали сучасним вимогам надглибокого буріння, стикаються з надзвичайно серйозними складнощами. Це пов'язано, як з

чисто технічною складністю вирішення виникаючих задач, так і з відсутністю концепції, яка б була спроможна об'єднати зусилля розробників в одному стратегічному напрямку.

Постійно зростаючий об'єм суперечливої, недостатньо повної і несистематизованої інформації по удосконаленню нових та традиційних схем і елементів інклінометрів спонукає спеціалістів ведучих вітчизняних та зарубіжних фірм віддавати перевагу тому напрямку проектування, на якому вони досягли найбільших результатів. При цьому на захист корисності багатьох напрацьованих ідей і технічних розв'язків наводяться аргументи, які залежать від наступних основних факторів: призначення конструкції і проектної траєкторії стовбура бурової свердловини; способу буріння; рівня автоматизації процесу буріння; вибраного місця буріння та доступність до місця проведення бурових робіт; наявність аномалій магнітного поля Землі в районі будівництва бурової свердловини; складності розбурювання геологічних структур; термодинамічних умов залягання прохідних порід при бурінні; рівня використаного каналу зв'язку забою із устям свердловини; вимог до якості отриманої із свердловини інформації; вимог до затрат часу та засобів на отримання та обробку інформації зі свердловини; вимог до експлуатаційної надійності і ремонтпридатності свердловинної апаратури; рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу; рівня технології виробництва геофізичних приборів і розвитку суміжних областей науки и техніки; досягнутого світового технічного рівня свердловинної апаратури.

Безсумнівно, можливості вибору напрямків розробки інклінометрів достатньо широкий. Однак, навіть поверхневий аналіз багатьох поколінь випуску пристроїв, що претендують як на етапі проектування, так і з плином часу на задоволення потреб надглибокого буріння показує, що закладені в основу їх конструкції технічні тенденції або помилкові, або малоефективні.

Інклінометрія дозволяє: визначити поточне положення забою свердловини; графічно відобразити траєкторію свердловини до поточного моменту; планувати напрямок свердловини; забезпечити інформацією про орієнтацію для спуску інших свердловинних інструментів.

Найбільш важливі вимірювання, які проводяться під час інклінометрії, наступні.

*Зенітний кут:* кут, під яким стовбур свердловини чи вісь дослідницького пристрою відхиляється від лінії істинної вертикалі, визначається в градусах; зенітний кут в  $0^\circ$  це напрямок по істинній вертикалі, а зенітний кут в  $90^\circ$  - горизонтальний напрямок.

*Азимутальний напрямок свердловини:* кут горизонтальної складової траєкторії свердловини чи вісі дослідницького пристрою відносно напрямку на північ, прийнятого за початок відліку; вимірювання можуть проводитися відносно напрямку істинної півночі, магнітний північ або на північ координатної сітки, як загальноприйнятого, за годинниковою стрілкою. Азимутальний напрямок свердловини вимірюється в градусах и виражається через азимут (от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ) або в квадрантній формі (північний схід, південний схід, північний захід, південний захід).

*Глибина по стволу:* вимірювана глибина відповідає фактичній глибині свердловини при вимірюванні вздовж напрямку стовбура свердловини від поверхні до будь-якої точки свердловини чи до її кінця.

Інклінометрія свердловин передбачає наступні цілі: визначення точного місцезнаходження забою свердловини. Здійснення контролю за траєкторією свердловини в процесі буріння, щоб бути впевненим в досягненні поставленої цілі; правильна орієнтація інструментів (таких як компоновки направлено буріння), що забезпечують зміну напрямку буріння свердловини в потрібному напрямку під час корекції; недопущення перетину свердловини, що пробурюється з уже існуючими свердловинами; розрахунок глибини по вертикалі залягання різних формацій для точної побудови геологічних карт; попередження буровика, який веде направлене буріння про потенціальні проблеми під час буріння свердловин (різке викривлення стовбура свердловини); виконання приписів контролюючих органів; з появою направлено буріння інклінометрів стала відігравати більш важливу роль, ніж це було при бурінні традиційно вертикальних свердловин; шляхом вимірювань зенітного кута і азимута ствола свердловини на різних глибинах дозволяє досягти напрямку буріння свердловини в потрібну точку.

На рис.1 наведено алгоритм роботи нижнього рівня інклінометра.



Рис. 1. Алгоритм роботи нижнього рівня інклінометра

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** При видобутку залізорудної сировини втрати руд із середнім вмістом заліза до 57% складають сьому частину від загального обсягу, а засмічення породами, що вміщують, із вмістом заліза 37,5% становить шосту частину від загального обсягу видобутку руд.

Відомо, що підвищення вмісту металу в руді лише на 1% збільшує продуктивність доменного виробництва на 4...5%, знижує витрату коксу на 1...3% та витрату вапняку на 6...8%.

Найефективнішим методом вирішення проблеми втрати та розубоювання підірваної гірничої маси є використання електронного інклінометра.

#### Список літератури

1. Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. Якість мінеральної сировини. - Кривий Ріг: Мінерал, 2001 - 201 с
2. Бранець В.М., Шмиглевський І.П. Застосування кватерніонів у задачах орієнтації твердого тіла. - М.: Наука. 1973. - 320 с.
3. Човноков Ю.М. Кватерніонні та бікватерніонні моделі та методи механіки твердого тіла та їх застосування. - М.: Фізматліт, 2006. - 512 с.
4. J. V. Kuipers. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. Princeton University Press, 1999.
5. J. V. Kuipers. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. Princeton University Press, 1999.
6. Красовський А.А Теоретичні основи пілотажно-навігаційних комплексів/ А.А Красовський, А.В. Лебедев, В.В. Невструєв // М.: ВВІА ім. Жуковського, 1980. - 372 с.
7. Альошин Б.С. Орієнтація та навігація рухомих об'єктів. - М.: Фізматліт, 2006. - 422 с.
8. Бранець В.Н. Введення в теорію безплатформних інерційних навігаційних систем / В.М. Бранець, І.П. Шмиглевський // М.: Наука, 1992. - 280 с.
9. Ліптон Н. Початкова виставка інерційної системи на рухомому підставі / Н. Ліптон // М.: Наука, 1971. - 167 с.
10. Збруцький О.В. Розробка структури та алгоритму функціонування інтегрованої навігаційної системи визначення координат та курсу рухомого об'єкта / О.В. Збруцький, О.І. Нестеренко, О.В. Прохорчук // Вісник ТАУ, УТУ. - 1999. - №3. - С. 233-236.

Рукопис подано до редакції 21.03.24