

А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
С.О. ФЕДОРЕНКО, Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, старші викладачі, К.І. КОВТУН, студентка
Криворізький національний університет

АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ МЕТОДИКИ МАРКШЕЙДЕРСЬКО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗОРУДНОГО РОДОВИЩА

Мета. Метою роботи є створення ефективної методики маркшейдерсько-геодезичного забезпечення розробки залізорудного родовища. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи направлені на створення ефективного методу визначення планово-висотних координат маркшейдерського обґрунтування з найменшим використанням трудовитрат і часу, а також з найбільшою точністю. Такий підхід пояснюється тим, що точність позиціонування в цьому випадку буде найбільш ефективним та актуальним підходом до вирішення проблеми у теперішній час. По мірі будівництва і експлуатації гірничого підприємства, пункти обґрунтування втрачаються як через їх пряме фізичне знищення в результаті розносу бортів кар'єрів, будівельних і дорожніх робіт, так і через порушення видимості між суміжними знаками при забудові території, відсіпки відвалів та інших робіт. Тому відновлення втрачених та створення нових пунктів опорного маркшейдерського обґрунтування є гострою необхідністю.

Методи дослідження. Для маркшейдерсько-геодезичного забезпечення відкритих гірничих робіт на території гірничого відводу підприємства створюється розгалужена мережа пунктів опорного обґрунтування, яка з розвитком гірничих робіт періодично поповнюється. У зв'язку з необхідністю поповнення мережі, виконуються роботи зі створення опорного маркшейдерського обґрунтування на кар'єрі і його відвалах. Ці спостереження проводяться з метою вставки нових та перевірки раніше закладених точок в опорній мережі.

Наукова новизна. Застосовано комплекс сучасного маркшейдерсько-геодезичного забезпечення гірничого виробництва, що полягає у використанні новітніх методів і приладів, зокрема, супутникового методу створення опорних мереж. Проведено дослідження зі створення ефективної методики маркшейдерсько-геодезичного забезпечення залізорудного кар'єру.

Практичне значення. Створено ефективну методику маркшейдерсько-геодезичного забезпечення гірничого виробництва, що дозволяє виконувати роботи з найменшим використанням трудовитрат і часу, а також з найбільшою точністю.

Результати. Отримано результати, які дали змогу створити опорну маркшейдерську мережу на території гірничого відводу залізорудного кар'єру. Показано переваги комплексу методів, що базуються на використанні новітніх методів і приладів, зокрема, супутникового методу створення опорних мереж.

Ключові слова: маркшейдерсько-геодезичне забезпечення, опорна маркшейдерська мережа, GPS-спостереження, вставка маркшейдерських пунктів, мережі згущення, відкриті гірничі роботи.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-92-98

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При проведенні відкритих гірничих робіт з видобутку залізних руд у Криворізькому басейні завжди було актуальним питання моніторингу і дослідження території гірничих робіт та відпрацьованих ділянок земної поверхні. Тому у гірничих виробництвах виникла необхідність межування їх територій, знаходження місця планового розташування і висот точок з подальшим перенесенням отриманих даних на плани і карти рудників, кар'єрів, визначення характеру розташування властивостей покладів копалин, що мають промислове значення.

Однією із невід'ємних умов для виконання необхідного супроводу та контролю гірничих робіт маркшейдерською службою гірничого підприємства є створення опорної мережі, яка є геометричною основою для всіх видів маркшейдерсько-геодезичної зйомки.

Аналіз досліджень і публікацій. Маркшейдерське опорне обґрунтування є комплексом лінійних і кутових вимірювань, що реалізуються на земній поверхні та під землею з метою знаходження місця планового розташування і висот точок з подальшим перенесенням отриманих даних на плани і карти рудників, кар'єрів з метою визначення розташування і властивостей покладів копалин, що мають промислове значення. Це дозволяє проводити контроль та моніторинг видобутку корисних копалин. Більш коротко можна сказати, що цей вид робіт є вимірюванням гірничих об'єктів для визначення їх положення щодо земної поверхні. Дані, отримані в процесі маркшейдерської зйомки також використовуються для вирішення інженерних завдань в процесі будівництва та експлуатації підприємств гірничодобувного комплексу. Всі маркшейдерські зйомки проводяться в суворій відповідності до затвердженого проекту із ретельним дотриманням вимог інструкції з виконання маркшейдерських робіт і основ-

них положень з топографо-геодезичного забезпечення маркшейдерських робіт.

Тенденція сучасного маркшейдерського забезпечення гірничого виробництва полягає у використанні новітніх методів і приладів, зокрема, супутникового методу створення опорних мереж. У науково-технічній літературі, присвяченій цьому питанню, фахівці наводять низку позитивних аргументів на користь цього методу.

З вітчизняних прикладів можна виділити приклад створення мережі базових станцій. Фахівці вказують, що відстань між станціями не повинна перевищувати 70 км. Виконаний аналіз фактичних відстаней між сусідніми станціями мережі показав, що ці відстані знаходяться в діапазоні від 33 до 83 км, а середнє значення дорівнює близько 62 км.

Слід відзначити, що щільність базових станцій на території нашої області найвища з усіх областей України та, згідно досліджень, становить 1 пункт на 3,1 тис.км².

Якщо розглядати зарубіжні джерела, можна навести приклади Німеччини, Вірменії та Російської Федерації.

Мережа SAPOS (Germany) є однією з кращих в Європі як за кількістю, так і за оснащенням станцій. Довжина базисів мережі становить 30-70 км і містить більше 270 станцій.

Для Республіки Вірменія радіус дії однієї станції приймається 45 км, а відстані між станціями 70-80 км.

На сайті «Інжинірингового Центру ГФК» вказується, що одна базова станція забезпечує визначення просторових координат в режимі реального часу (RTK) з сантиметровою точністю в радіусі не більше 25-30 км. Віддалення переносного приймача від базової станції може бути і більшим, наприклад, 300 км. Однак при віддаленні від станції точність позиціонування погіршується пропорційно відстані. Базові станції можуть передавати RTK-дані і забезпечувати зону охоплення в радіусі до 20-30 км. Точність RTK-вимірювань залежить від довжини векторів. Для досягнення точності від 2 до 5 см відстань до базової станції не повинна бути більше 100 км. Для досягнення більш високої точності (1-2 см) рекомендується застосовувати технологію мережевих поправок.

Тимчасова модель помилок і коригувальних поправок на основі даних декількох станцій і їх точного місця розташування дає можливість підвищити точність координування. Це передбачає спільну обробку даних з усіх базових станцій і формування поля диференціальних поправок на всю зону покриття мережі. Завдяки мережевому способу формування диференціальних поправок користувач може надійно отримувати координати на віддаленні від базових станцій до 50 км, а відстань між станціями може бути до 80 км.

В RTK-мережах відстані між базовими станціями можуть досягати більше 30 км, а віддалення мобільної станції від найближчої базової станції мережі – до 50 км.

Постановка задачі. Питання про опорне маркшейдерське обґрунтування на гірничих підприємствах, як геометричної основи для забезпечення всіх видів зйомки постає досить регулярно по ряду причин. По мірі будівництва і експлуатації гірничого підприємства, пункти маркшейдерського обґрунтування втрачаються як через їх пряме фізичне знищення в результаті розносу бортів кар'єрів, будівельних і дорожніх робіт, так і через порушення видимості між суміжними знаками при забудові території, відсіпки відвалів та інших робіт. Тому відновлення втрачених та створення нових пунктів опорного маркшейдерського обґрунтування є гострою необхідністю.

Метою теоретичних та експериментальних досліджень роботи є створення ефективного методу визначення планово-висотних координат маркшейдерського обґрунтування з найменшим використанням трудовитрат і часу, а також з найбільшою точністю. Такий підхід пояснюється тим, що точність позиціонування в цьому випадку буде найбільш ефективним та актуальним підходом до вирішення проблеми у теперішній час.

Викладення матеріалу та результати. Останнім часом визначення координат мережі з використанням супутникової системи базових станцій стає все більш затребуваною технологією.

Ця технологія стане, навіть у найближчій перспективі, основною при виконанні високоточних просторових вимірювань у геодезії, землевпорядкуванні, при моніторингових вимірах, що пояснюється цілою низкою її переваг.

До переваг економічного характеру слід віднести: скорочення витрат на обладнання, оскільки достатньо мати тільки один комплект приймачів; скорочення витрат на транспорт і зменшення числа задіяних виконавців; збільшення продуктивності праці у зв'язку з тим, що на ко-

ординовання однієї точки потрібно кілька секунд; зниження професійних вимог до виконавців.

Технологічні переваги складаються з: виключення грубих помилок вихідних пунктів; можливості роботи в будь-якій системі координат; суттєвого підвищення точності визначення координат; можливості роботи в режимі реального часу або використання даних базових станцій при післясеансній обробці результатів вимірювань; контролю точності вимірювань безпосередньо в процесі їх виконання; доступності даних щодня в будь-який час доби; при роботі в режимі реального часу немає необхідності в постобробці отриманих даних.

Розглянемо, як функціонує система точного позиціонування з використанням базових станцій. Супутникові приймачі, встановлені на базових станціях, постійно приймають навігаційні сигнали від навігаційних супутників глобальних навігаційних супутникових систем. Інформація, що накопичується базовими станціями, передається в режимі реального часу до центру управління системою. Там виконується аналіз якості, попередня обробка, узагальнення та архівування даних. В обчислювальних засобах центру управління в режимі реального часу вирішується мережева задача і здійснюється обчислення коригуючих поправок. В залежності від оперативності визначення координат споживача використовуються два режими: реального часу (RTK) і постобробки (POST). У режимі реального часу координати об'єктів оновлюються щомиті. У режимі постобробки координати об'єктів обчислюються із запізненням в камеральних умовах.

Найпростішим варіантом розглянутої технології, але і найменш точним, є одиночна базова станція. Якщо використовується мережа станцій, помилки визначення координат, як правило, менші.

При роботі з одиночної базової станцією повинна найбільш яскраво проявлятися залежність точності визначення координат від відстаней до базової станції. Тому визначену відстань від одиночної базової станції до приймача, при якій досягається точність, достатня для виконання більшості маркшейдерсько-геодезичних робіт, слід розглядати як оптимальну відстань між пунктами мережі базових станцій. Зменшення відстаней між станціями, безумовно, підвищує точність позиціонування, але збільшує число станцій, що, природно, збільшує витрати на створення і підтримку мережі.

Для маркшейдерського забезпечення відкритих гірничих робіт на території гірничого відводу підприємства створюється розгалужена мережа пунктів опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування, яка з розвитком гірничих робіт періодично поповнюється. У зв'язку з необхідністю поповнення мережі, виконуються роботи зі створення опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування на кар'єрі і його відвалах. Ці спостереження проводяться з метою вставки нових та перевірки раніше закладених точок в опорній мережі. При створенні нових пунктів існує необхідність зрівнювання створених мереж з існуючими. Часто створені нові мережі не були ув'язані зі старими, вже існуючими. Для ефективного забезпечення гірничого виробництва маркшейдерські роботи повинні виконуватися з використанням надійного планово-висотного обґрунтування. Згідно Інструкції з виконання маркшейдерських робіт, вимоги до щільності пунктів опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування при відкритій розробці родовищ зумовлені тим, що маркшейдерське опорне обґрунтування створюється від пунктів державної або місцевої мереж.

Для визначення залежності точності координат пункту спостережень від одиночних базових станцій виконані експериментальні дослідження на пункті триангуляції III класу, розташованому неподалік кар'єру «Першотравневий». Вихідний пункт розташований за зоною впливу відкритих гірничих робіт, що забезпечує сталість їх планово-висотного положення. Його обрано таким чином, щоб навколо пункту вимірювань були відсутні високі споруди і дерева, які могли б стимулювати явище багатопрохідності проходження сигналу і стати джерелом перешкод при прийомі радіосигналів від навігаційних супутників.

Польові роботи виконували супутниковим приймачем Leica GS08plus. Приймач є двочастотним і підтримує режим вимірювань у реальному часі. Він має 120 каналів прийому сигналів і працює з супутниками систем GPS Navstar і ГЛОНАСС. У RTK-режимі реалізовані такі формати даних: Leica (Leica, Leica4G), CMR +, RTCM 2.x, RTCM 3.x. Частота оновлення координат стандартно 1 Гц. За даними виробника середні квадратичні похибки вимірювань у реальному часі характеризуються такими значеннями:

в плані: ± 5 мм $+0,5$ мм/км;

по висоті: ± 10 мм $+0,5$ мм/км.

У постобробці точність підвищується до таких значень середніх квадратичних помилок:
в плані: ± 3 мм $+0,5$ мм/км;
по висоті: ± 6 мм $+0,5$ мм/км.

Перед дослідженнями виконано перевизначення координат пункту спостережень в режимі статички щодо трьох найближчих базових станцій, розташованих приблизно рівномірно по азимуту.

Накопичення даних, спрямованих на визначення еталонних координат пункту вимірювань, здійснювалося у ранковий час протягом 2 годин. Під час проведення спостережень кількість спостережуваних супутників повинна бути не менше 5-6, а коефіцієнт втрати точності (PDOP) не повинен перевищувати 6. За цей період приймалися сигнали від 12 супутників GPS Navstar і 8 супутників ГЛОНАСС, загалом, від 20 навігаційних супутників. В результаті обробки отримані значення планових координат із середніми квадратичними помилками 0,4-0,5 мм, а висоти - 1,1 мм.

Для вирішення поставленого завдання досліджень були незалежно визначені координати пункту спостережень від шести базових станцій, віддалених на різні відстані в діапазоні від 6 до 235 км. Всі станції входять в мережу SystemNet. На кожен базову станцію було виконано 300-310 вимірювань при автозбереженні даних з інтервалом в 1 с. Всі вимірювання виконувалися в умовах чистого небосхилу при куті маски в 10° . Спостереження проводилися у ранковий час, це сприяло зменшенню впливу іоносферних затримок. Таким чином, можна констатувати, що умови проведення експериментальних вимірювань були найкращими.

Вибір місця і закладка пунктів опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування здійснювалися маркшейдерською службою з урахуванням вимог нормативних документів до щільності пунктів опорної мережі, перспектив розвитку гірничих робіт, розмірів і глибини кар'єру та можливості їх використання як вихідних для визначення координат пунктів знімальної мережі кар'єра і відвалу.

Роботи, виконані в мережі показали, що середні квадратичні помилки планових координат при локальній диференціальній корекції щодо одиночної базової станції склали 0,3-0,4 м при відстанях від 7 до 40 км, 0,4-0,5 м при відстанях 40-90 км і 0,9 м при відстанях порядку 110 км.

В процесі побудови мережі було виконано ряд експериментальних робіт, в яких отримана точність на порядок вище. При відстанях до 65 км різниці в планових координатах знаходяться в діапазоні 1,1-6,7 см, а у висотній координаті 1,6-11,6 см.

Така точність опорних базових станцій робить більш доступним розвиток маркшейдерських опорних мереж, тим самим спрощуючи роботу місцевих маркшейдерських служб. Таким чином можна розглянути опорну мережу кар'єру «Першотравневий» у якості об'єкту, який вже довгий строк активно користується даними станціями.

В адміністративному відношенні ділянка робіт розташована на території Тернівського району м. Кривого Рогу. Топографічні плани на районі робіт масштабу 1:500 відсутні. Тому перед закладкою нових пунктів було прийняте рішення зробити топографічну зйомку місцевості, для поповнення зведеного плану. Згідно з вимогами ДБН А.2.1-1-2008 (Київ, 2008 р.) та «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500 ГКНТА-2.04-02-98» (Київ, 1999 р.), топографічна зйомка повинна виконуватись у масштабі 1:500 з перерізом рельєфу 0,5 м.

Для виконання топографічної зйомки побудована знімальна мережа у вигляді теодолітних ходів, що спираються на точки, координати яких визначенні за допомогою GPS спостережень, і пункт полігонометрії № 5005.

Координати перераховані у систему координат «ПівнГЗК».

Горизонтальні кути та довжини ліній вимірювались електронним тахеометром серії GPT-3007N № 4F0152, виробництва фірми TOPCON. Центрування приладу виконувалось з точністю 3 мм.

Обробка результатів вимірювань виконана за допомогою програмного комплексу CREDO DAT.

Під час виконання топографічної зйомки, виконувалось знімання підземних комунікацій. Одночасно визначались глибини закладання, напрямок з'єднання, матеріал та діаметр труб підземних комунікацій. Безколодязні прокладання підземних комунікацій визначались за допомогою універсального пошукового приладу «Універсал-911 М» і прив'язувались інструментально в процесі знімання. Середні помилки планового положення точок підземних комунікацій, які визначались приладом «Універсал-911 М» відносно найближчих точок знімальної основи, не перевищують 35 см.

Граничні розходження між значенням глибини закладання підземних комунікацій, що визначені за допомогою трасошукача під час знімання і одержаних під час контрольних польових вимірювань, не перевищують 15% від глибини закладання.

За даними знімання підземних комунікацій, опису колодязів складено план підземних і надземних комунікацій масштабу 1:500, який суміщено з топографічним планом ділянки. Місцеположення підземних комунікацій на топографічному плані, узгоджено з ПАТ «ПівнГЗК».

Контроль та прийняття топографо-геодезичних робіт здійснювалися в процесі виконання та по закінченню робіт.

За вихідні пункти для виконання топографічної зйомки використовувались пункт полігонометрії № 5005 і точки, координати яких визначені за допомогою GPS-спостережень. В результаті топографо-геодезичних робіт було отримано топографічний план масштабу 1:500.

Вибір місця і закладка встановлюваних пунктів опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування здійснювалися маркшейдерською службою з урахуванням вимог нормативних документів до щільності пунктів опорної мережі, перспективи розвитку гірничих робіт, розмірів і глибини кар'єра, можливості їх використання в якості вихідних для визначення координат пунктів знімальної мережі кар'єра і відвалу. В якості вихідного при реконструкції опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування був прийнятий пункт «Грядковатая».

Вихідні пункти розташовані за зоною впливу відкритих гірничих робіт, що забезпечує стабільність їх планово-висотного положення. Польові вимірювання здійснювалися приймачами «GR-5» фірми «Торсон» (США). Для визначення планово-висотного положення пунктів опорного маркшейдерсько-геодезичного обґрунтування застосовувався метод статичної GPS-зйомки.

При виконанні робіт по визначенню планово-висотного положення пунктів маркшейдерсько-геодезичного опорного обґрунтування на Першотравневому кар'єрі застосовувалася GPS-зйомка. Польові вимірювання здійснювалися приймачами «GR-5» фірми «Торсон» (США).

TOPCON GR-5 оснащений новітнім чіпсетом Vanguard GNSS, передовою технологією Fence AntennaTM. Має 226 універсальних супутникових каналів, які дозволяють приймачу працювати з сигналами всіх існуючих на сьогоднішній день супутникових систем - GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou і QZSS і забезпечувати неперевершену якість сигналу в будь-яких умовах. Приймач оснащений вбудованими УКВ і GSM/GPRS модемами, що дозволяє працювати у всіх режимах - статика, кінематика, RTK, мережеве RTK. GR-5 може працювати в найсуворіших кліматичних умовах - корпус приймача виконаний з магнієвого сплаву, діапазон робочих температур від -40° до +60°, ступінь пило-вологозахисту становить IP66. Два знімних акумулятори приймача дають можливість їх гарячої заміни прямо в полі.

Це високоточні двочастотні приймачі, що дозволяють визначати планово-висотне розташування точок щодо твердого (вихідного) пункту з похибкою: в плані ± 3 мм $+0,5$ мм/км, а по висоті ± 6 мм $+0,5$ мм/км. Під час проведення спостережень кількість спостережуваних супутників повинна бути не менше 5-6, а коефіцієнт втрати точності (PDOP) не повинен перевищувати 6.

Для прийому сигналу з супутника встановлюється часовий діапазон, тобто періодичність визначення координат точки стояння, який під час спостереження дорівнював 1 секунді. При виконанні

спостережень на пунктах опорної маркшейдерської мережі базисний приймач розташовувався на піраміді «Грядковатая». Переносні приймачі послідовно встановлювалися на визначених пунктах. Центрування антен приладів над маркшейдерськими точками здійснювалося за допомогою оптичного виска, що забезпечувало їх встановлення з похибкою не більше 0,5-0,8 мм.

Вимірювання висоти антени здійснювалося за допомогою спеціальної рулетки з точністю до 1 мм. При цьому вимірювалась похила відстань від центру маркшейдерського знака до антени.

Обробка результатів спостережень здійснювалася з використанням програмного забезпечення «Topcon Tools» Програма «Topcon Link» призначена: для обміну даними між GPS-приймачем або тахеометром фірми TOPCON і персональним комп'ютером; для перетворення (конвертації) файлів різних форматів; для попередньої обробки даних тахеометра. Це дозволяє отримати зрівняні координати визначених точок.

Програма включає в себе три етапи: введення вихідних даних, зрівнювання результатів спостережень і складання звіту. Слід зазначити, що використовувана програма дозволяє своєчасно виявляти вимірювання, що містять грубі помилки, і виключати їх із бази даних, підвищуючи тим самим точність визначення координат пунктів.

Спостереження на визначених пунктах опорного обґрунтування здійснювалися одночасно з постобробкою, що виключає можливість негативного результату, а, відповідно, й вірогідність повторного польового вимірювання, тим самим скорочуючи час, витрачений на даний вид роботи.

Місця розташування додаткових пунктів були позначені на зведеному плані кар'єру та відображені в каталозі. За даними маркшейдерсько-геодезичних робіт, після камеральної обробки було виконано оцінку точності отриманих результатів (табл. 1).

Таблиця 1

Оцінка точності результатів виконаних робіт		
Сторона опорної маркшейдерської мережі	Довжина, м	Відносна похибка
Грядковатая – А-2	1781,491	1:445373
Грядковатая – А-3	1788,788	1:255541
Грядковатая – А-4	1789,127	1:894564
Грядковатая – А-5	1791,584	1:597195
Грядковатая – А-6	1793,008	1:597669
С40 – Грядковатая	4577,119	1:2288559
С41 – Грядковатая	6275,095	1:896442
С42 – Грядковатая	6259,536	1:43256
С43 – Грядковатая	5928,286	1:1976095
С44 – Грядковатая	5983,911	1:1495978
Р1508 – Грядковатая	5339,725	1:2669862
М60 – Грядковатая	2449,362	1:1224681
М61 – Грядковатая	2869,506	1:1434753
М62 – Грядковатая	2888,909	1:1444455
М63 – Грядковатая	3372,771	1:1686386
М64 – Грядковатая	4012,977	1:2006489
М65 – Грядковатая	3007,544	1:601509
М66 – Грядковатая	2161,510	1:360252
М67 – Грядковатая	2422,577	1:2422577
М68 – Грядковатая	1062,625	1:354208
М69 – Грядковатая	1987,305	1:993653
Грядковатая – С80	6183,356	1:1236671
Грядковатая – С81	5622,275	1:1124455
Грядковатая – С82	6056,575	1:757072
Грядковатая – С83	5050,387	1:2525194
Грядковатая – С84	4399,352	1:549919
Грядковатая – С85	4515,222	1:1505074
Грядковатая – С86	5004,741	1:1668247
Грядковатая – С87	4808,450	1:961690

Наведені в таблиці дані про помилки вимірювання довжин сторін дозволяють зробити висновки про те, що виконані вимірювання задовольняють вимогам точності, що пред'являються до мереж трилатерації 1-4 класів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Показано вирішення актуальної науково-технічної задачі створення ефективної методики маркшейдерського забезпечення гірничого виробництва на основі новітніх маркшейдерсько-геодезичних методів та приладів. Дослідження, спрямовані на вдосконалення даної методики є вельми перспективними.

Список літератури

1. Антонович К.М. Використання супутникових радіонавігаційних систем у геодезії. Том. 1. – М.: Картгеоцентр, 2005.
2. Антонович К.М. Використання супутникових радіонавігаційних систем у геодезії. Том. 2. – М.: Картгеоцентр, 2006.
3. Бизов В.Ф., Федоренко П.Й. Маркшейдерська справа: Підручник для ВНЗ за напрямом Гірництво. – Кривий Ріг: Мінерал, 2001.
4. Божко В.Г., Гринюк Б.А., Чирва А.И. Использование GPS-системы для привязки опорных реперов наблюдательных станций.// Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг. – 2007. №18. – С. 74-76.
5. Борщ-Компонец В.И., Навитний А.М.,

- Кныш Г.М. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1985.
6. Борщ-Компониц В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1989.
 7. Воловецкий Б. Оцінка впливу економічних параметрів на точність геодезичних вимірювань при кадастрових роботах. // Geodezja inzynieryjna i katastr w gospodarce narodowej. – Lvov-Rzeszow. – 1998. – С. 19-22.
 8. Загредінов Р.В. Планування супутникових геодезичних вимірів: Навчально-методичний посібник. – К.: К(П)ФУ, 2013.
 9. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – М.: Недра, 1987. – 189 с.
 10. Лебедев Н.Н. Курс инженерной геодезии. – М.: Недра, 1974.
 11. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. – М.: Недра, 1983.
 12. Манукян Л.В. Создание модели квазигеоида и сети постоянно действующих базовых станций в республике Армения / Л.В. Манукян, В.А. Маркарян // Инженерная геодезия. – 2014. – Вып. 60. – С. 34–39.
 13. Попов В.М., Букринский В.А. Геодезия та маркшейдерія. – М.: Московський державний гірничий Університет, 2007.
 14. Перегудов М.А., Пацев І.І., Борщ-Компониц В.І. Маркшейдерські роботи на кар'єрах та копальнях. – М.: Недра, 1980.
 15. Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В., Переметчик А.В. Геодезия і маркшейдерія. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. – 437 с.
 16. Ушаков И.Н., Казаковский Д.А., Кротов Г.А., Лавров В.Н. и др. Маркшейдерское дело. – М., Недра, 1989.
 17. Jahn C.H. Das SAPOS®-Qualitätskontrollleder Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland / C.H. Jahn, J. Rubach, C. Elsner, A. Schenk, P. Wagenfuhr, H.-G. Dick, A. Brunner // zfv, 3/2011. – S. 127–137.

УДК 622.27: 621.926.9

М.І. СОКУР, д-р техн. наук, проф.,
Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського
В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
Харківський національний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНОВАНОГО ПОДРІБНЕННЯ НА ІНГУЛЕЦЬКОМУ ГЗК

Мета. Удосконалення конструкції і схемних рішень комбінованого подрібнення магнетитових руд в умовах Інгулецького ГЗК. Уведення в науковий обіг результатів промислового випробування в умовах Інгулецького ГЗК нової технології комбінованого подрібнення магнетитової руди.

Методика. Науковий експеримент. Промислове випробування модернізованої технологічної схеми і устаткування секції № 18 Інгулецького ГЗК, зокрема: підвищена установлена потужність електродвигунів з 1600 до 2000 кВт (для можливості довантаження куль у млин) реконструйовані головні приводи двох млинів ММС - 7000×2300; розроблені, виготовлені і встановлені на млинах ММС - 7000×2300 класифікуючі бутари поворотного типу з регульованим виводом гальки; млини ММС - 7000×2300 оснащені новою конструкцією футеровки, що дозволило довантажувати у млин кулі; на млинах ММС - 7000×2300 встановлені розвантажувальні грати з щілиновидними отворами шириною 15 мм, розташованими в периферійній частині; на II і III стадії подрібнення використані нові універсальні млини МШЦ - 4000×7500; у II прийомі знешламлювання застосований дешламатор МД - 9; на млинах ММС - 7000×2300 для проведення випробувань використані барабани з литими торцевими стінками.

Результати. В умовах Інгулецького ГЗК виконане промислове випробування нової технології комбінованого подрібнення магнетитової руди.

Практична значимість. Застосування нової комбінованої технології подрібнення підвищує продуктивність секції на 30,6 т/год. Масова частка заліза в концентраті склала 62,8%, що на 0,3% більше, ніж в раніше випробуваній комбінованій технології подрібнення.

Наукова новизна. Суть технології полягає в додаванні фіксованої кількості металевих куль у млини самоподрібнення ММС - 7000×2300 (I стадія подрібнення). Це забезпечило комбінований механізм руйнування грудок рудної сировини – як помельними тілами, так і крупними шматками руди. На II і III стадії подрібнення застосовуються кульові млини.

Ключові слова: млини самоподрібнення, комбінована технологія подрібнення, Інгулецький ГЗК, промислове випробування.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-98-102