

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,  
Т.О. ПОДОЙНИЦИНА, ст. викл.,  
Криворізький національний університет

## ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ ТА ПІДРАХУНОК ЗАПАСІВ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ

**Мета.** У статті розглянуто методику геометризації залізрудних родовищ шляхом розробки гірничо-геометричного методу підрахунку їх запасів для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин.

**Методи дослідження.** В основу методики дослідження було покладено геометризацію родовищ корисних копалин та створення геометричної моделі родовища. Для створення геометричної моделі покладу, крім основних дисциплін геологічного і гірничого циклу, необхідно знати проєкції, застосовувані при геометризації родовищ. На основі теоретичних уявлень були розвинені графічні способи побудови моделі, розроблені методи геометризації різних показників родовища. Для вирішення поставлених завдань застосовувався цілий ряд методів, що включають проведення теоретичних досліджень, лабораторні та промислові експерименти.

**Наукова новизна.** Розроблено методику підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин. В основу аналізу властивостей корисних копалин покладено інформаційний та гірничо-геометричний аналіз родовища, що дозволяє обрати оптимальну методику підрахунку запасів.

**Практичне значення.** Розглянуто основні методики оцінки гірничо-геометричних та геологічних даних при підрахунку запасів залізрудних родовищ корисних копалин і дана їх характеристика, що дозволяє класифікувати родовища або їх, планувати і управляти розвідувальними та гірничими роботами. Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізрудних корисних копалин є підрахунок їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з максимальною ефективністю роботу гірничодобувного підприємства.

**Результати.** Обрана оптимальна методика оцінки в умовах криворізьких залізрудних родовищ. Для підрахунку запасів залізрудного родовища був обраний автоматизований метод підрахунку об'ємів корисних копалин і розкритих порід з використанням ГІС K-Mine. ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж тощо).

**Ключові слова:** геометризація, методи підрахунку запасів, гірничо-геометричний метод, модель родовища, підрахунок запасів, перспективне та поточне планування.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-62-65

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Найважливішим чинником, що впливає на ефективність роботи гірничодобувного підприємства, є міра забезпеченості підготовленими і готовими до виїмки запасами руд. Недостатня кількість цих запасів призводить до скорочення фронту робіт здобичі, зниження якості і підвищення собівартості продукції. Але у свою чергу надмірна забезпеченість руди приводить збільшенню витрат на зміст і ремонт гірських виробок. Тому дуже важливо використати оптимальні методи управління запасами. Підрахунок запасів корисної копалини включає наступні операції: оконтурення родовища, розділення запасів по народногосподарському значенню, міри розвіданої, заляганню, якості руд і умовам їх здобичі, виділення підрахункових блоків по потужності, змісту і іншим значенням, визначення середніх значень параметрів і кількісний підрахунок запасів по кожному виділеному блоку.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Розробку конкретної методики геометризації залізрудних родовищ розпочато в 30-х роках роботами, які проводилися під керівництвом проф. П.К. Соболевського і були продовжені дослідниками в різних аспектах аж до наших днів. Великий внесок у розробку сучасних уявлень про геометризації і моделюванні різних типів родовищ внесли доктора технічних наук, професори: В.А. Букринский, Г.І. Вилесов, В.М. Гудков, В.В. Ершов, П.А. Рыжов, М.С. Четверик, М.Г. Новожилов, А.П. Рылов, І.Н. Ушаков, І.В. Францкий, Л.І. Четвериков, А.Г. Ивахненко та ін.

Нині, найчастіше, гірничодобувні підприємства, для підрахунку запасів твердих корисних копалин, використовують такі методи: спосіб вертикальних та горизонтальних перерізів або автоматизований спосіб підрахунку запасів. Але також існує ще безліч методів, такі як: середнього арифметичного, геологічних блоків, експлуатаційних блоків, багатокутників, трикутників, ізоліній, ізогіпс, середнього кута падіння, ділянок однакових кутів падіння, тощо.

**Постановка задачі.** Метод паралельних перерізів найбільш поширений при підрахунку запасів рудних родовищ, оскільки переважно вони відрізняються дуже мінливою морфологією і дуже нерівномірним розподілом зруденіння. При цьому способі тіло корисної копалини розбивається на ряд блоків, розташованих між паралельними лініями розвідувальної мережі.

Залежно від мережі геологорозвідувальних або експлуатаційно-розвідувальних робіт перерізу, що застосовувалася, можуть бути вертикальними або горизонтальними. Наприклад, якщо родовище розвідувалось профілями вертикальних або похилих свердловин, підрахунок методів вертикальних перерізів забезпечує якнайповніше і безпосереднє використання усіх отриманих при бурінні даних.

Для застосування в даному випадку методу горизонтальних перерізів необхідно усереднювати ці свердловини і проектувати їх у вигляді окремих точок на площині перерізу, що ускладнює підрахунок і неминуче знижує його достовірність. Навпаки, за наявності ряду поверхів гірських виробок з підземними горизонтальними свердловинами доцільніше підрахунок вести горизонтальними перерізами.

**Викладення матеріалу та результати.** Величезною перевагою методу паралельних перерізів є та обставина, що він дозволяє чітко відбити геологічні особливості родовища: морфологію тіл корисних копалини, розподіл окремих типів і сортів руд, характер зміни мінералізації по падінню, простяганню і потужності. Цей метод дає можливість підраховувати запаси при украй складних контурах покладів, наявності рудних або нерудних слоїв.

По кожному перерізу визначається площа рудного тіла (розбиттям на окремі фігури або планіметром). Залежно від форми і відносних розмірів площ в сусідніх перерізах об'єми блоків обчислюються по формулах піраміди, усіченої піраміди, конуса, клину і так далі. Середній зміст корисних компонентів по перерізах визначається як середньозважені по рудних інтервалах окремих виробок. При нерівномірній мережі свердловини, пробурені з меншим інтервалом між собою спотворюватимуть ситуацію по перерізу в цілому), а середній зміст по блоку, - як середньозважене по рудних площах в перерізах. Останні не завжди строго паралельні один одному і при великих відхиленнях необхідно вносити відповідні поправки у визначувані рудні площі і об'єми блоків.

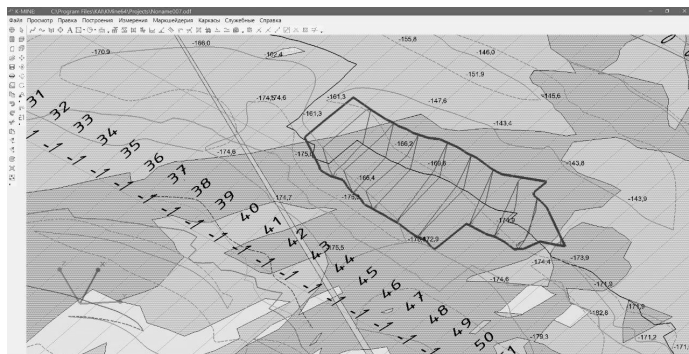
Відносно розмірів блоків слід керуватися приведеними вище даними. Переважно блоки виділяються між двома профілями, але при густій мережі розвідувальних виробок у ряді випадків можливе включення у блок декількох перерізів.

При великій протяжності тіл корисних копалини по падінню блоки, що утворюються двома перерізами, виявляються надмірно великими і їх доцільно розбити на декілька самостійних блоків, особливо в тих випадках, коли виявляються зміни по вертикалі в характері розподілу корисної копалини або в його морфології. Вживаний для підрахунку запасів розсіпів так званий лінійний метод при опорі блоків на дві розвідувальні лінії практично не відрізняється від методу вертикальних паралельних перерізів.

Слід відзначити, що названі способи не вичерпують всіх можливих способів підрахунку запасів. Тому в практиці підрахунку запасів не виключена можливість застосування поряд з названими інших способів, або їх комбінацій.

Більшість покладів корисних копалин обмежена складними поверхнями.

Точне відтворення і визначення їх за даними розвідки неможливе. Тому всі способи підра-



**Рис 1.** Спосіб вертикальних розрізів за допомогою ГІС-технології K-mine

хунку запасів, які спираються на матеріали розвідки, ґрунтуються на принципі трансформації складних тіл в простіші, в межах яких і проводиться підрахунок запасів.

Автоматизований спосіб підрахунку об'ємів корисних копалини і розкривних порід з використанням ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод

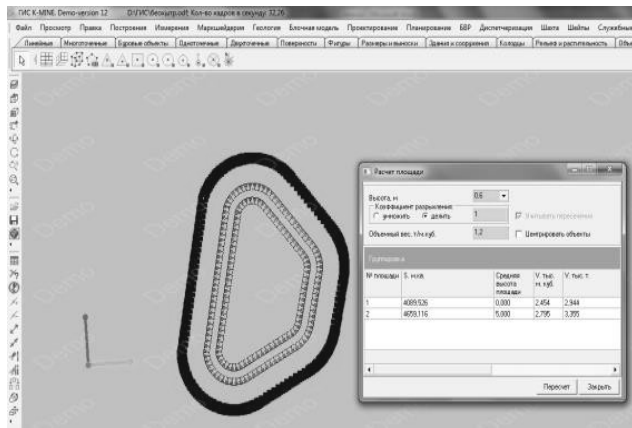


Рис. 2. Розрахунок об'ємів методом площ

поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж і тому подібне).

При розрахунку об'ємів методом площ і середньої висоти виконується розрахунок об'єму площі основи, а також середньої висоти вийманого шару, що задається користувачем. При розрахунку виконується контроль об'ємів між виїмкою і насипом, усереднювання висоти виконується по усій площі (рис. 2).

Розрахунок об'ємів методом вертикальних перерізів використовується для розрахунку об'ємів складних блокових фігур, що складаються з об'єктів різного типу, які

можуть знаходитися в декількох різних шарах, уступах і мають складний профіль розрізу.

Особливістю розрахунку об'ємів цим способом в ГІС К-Mine являється те, що на первинному етапі виконується побудова двох триангуляційних поверхонь для нового і старого положень уступу, які мають в якості лінії розділення, - контур розрахунку.

Триангуляційні поверхні будуються на підставі даних усіх об'єктів, що входять в кожну категорію шарів (положень).

Далі по триангуляційних поверхнях виконується операція перетину їх з вертикальними площинами і визначення контурів фігур, що описують ці перерізи. Надалі рішення задачі зводиться до рішення стандартної задачі підрахунку об'ємів методом поперечних розрізів.

При цьому формується пакет звітної документації по розрахунковій фігурі і виконуються усі необхідні побудови (побудова перерізів в 3d і їх нумерація). Звіт містить розрахункову таблицю з показниками розрахунку площ по кожному перерізу, а також графічною представлення кожного розрізу в заданому масштабі (рис. 3).

Після закриття редактора перед друкарською підготовки в робочій зоні екрану викреслюються об'єкти (каркаси, лінії перерізів і їх номери), по яких формувався звіт (рис. 4).

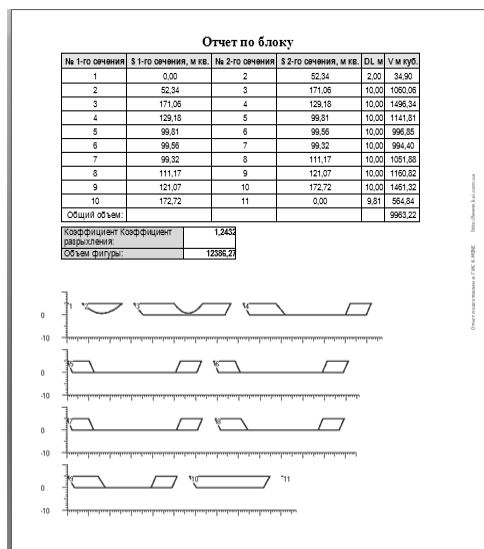


Рис. 3. Звіт по блоку

#### Висновки та напрямок подальших досліджень.

ГІС-технології К-Mine дозволяють робити оперативну оцінку об'ємів гірських робіт при проектуванні і моделюванні гірських робіт.

У роботі було удосконалено методіку геометризації залізородних родовищ шляхом розробки гірничо-геометричного методу підрахунку їх запасів для забезпечення раціонального ведення гірничо-видобувних робіт на основі аналізу та удосконалення існуючих методів підрахунку запасів корисних копалин.

Висока ефективність підрахунку запасів корисних копалин забезпечується використанням гірничо-геометричної моделі родовища.

Особливо важливим застосуванням геометризації родовищ залізородних корисних копалин є підрахунок їх запасів для вирішення завдань перспективного та поточного планування з тим, щоб налагодити з макси-

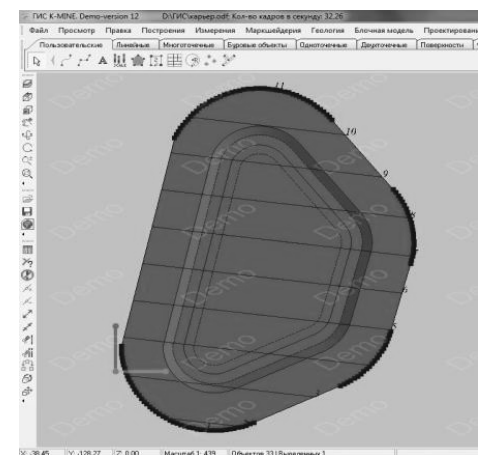


Рис. 4. Каркас кар'єру, лінії перерізів і їх номери

мальною ефективністю роботи гірничодобувного підприємства.

У роботі були розглянуті існуючі способи підрахунку запасів корисних копалин. Для підрахунку запасів залізорудного родовища був обраний автоматизований метод підрахунку об'ємів корисних копалини і розкривних порід з використанням ГІС K-Mine. ГІС K-Mine містить велику кількість підпрограм для виконання вказаних обчислень. Модуль дозволяє виконувати розрахунки об'ємів різними методами (метод погоризонтних планів, метод поперечних розрізів, модифікований метод поперечних розрізів з використанням триангуляційних мереж і тому подібне).

Таким чином, ГІС-технології K-Mine дозволяють робити оперативну оцінку об'ємів гірських робіт при проектуванні і моделюванні гірських робіт

#### Список літератури

1. Букиринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
2. Давид М. Геоestatистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
3. Калинин В.М. Многомерная геометризация форм и качественных свойств месторождений // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. – 1979. – вып. 6. – с. 99-105.
4. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
6. Низгурецкий З.Д. К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99–113.
7. Переметчик А.В. Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85 – С. 194 – 200.
8. Сидоренко В.Д., Федоренко П.И., Шолох М.В., Переметчик А.В., Подойницина Т.О. Геометризация родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. – 367 с.
9. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Аспекты математической и горно-геометрической обработки данных качественной оценки железорудных месторождений // Качество минерального сырья: Сб. научных трудов. – Кривой Рог: ГВУЗ «КНУ», 2018. – С. 271 –282.
10. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Информационно-статистический и горно-геометрический анализ размещения показателей месторождения // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2018. – Вип. 46. – С. 75-81.
11. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Прогнозирование и много-факторная геометризация качественных показателей железорудных месторождений на основе эвристических методов // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – Вип. 41. – С. 165-170.
12. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация качественных показателей месторождений и распределение пространственных переменных // Вісник Криворізького національного університету: збірник наук. праць. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип. 45. – С. 70-77.
13. Федоренко П.И., Переметчик А.В., Подойницина Т.А. Геометризация показателей качества и планирование добычи железорудных месторождений // Гірничий вісник: Респ. міжгалузевий науково-техн. сб. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», – 2014. – Вып. 97 – С. 111 – 114.
14. Krige D.G. A review of development of geostatistics in South Africa // In: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. Reidel, Dordrecht, Netherlands. 1976. P. 279-294.
15. Matheron G. Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
16. Matheron G. The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

Рукопис подано до редакції 04.04.18

УДК 624.137

Р. А. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д. А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. преподаватель,  
В. О. САВЕНКО, аспирант  
Криворожский национальный университет

## РАСЧЕТ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ СО СТРУКТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С УЧЕТОМ ЕЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ГРУНТОМ

**Цель.** Проектирование оптимальных конструктивных решений с учетом конкретных условий эксплуатации одна из главных инженерных задач. Для подпорных стен, применяемых на подрабатываемых территориях с горизонтальными и вертикальными перемещениями грунта, эта задача является особенно важной.