

**Висновки та напрями поданих досліджень.** Таким чином в даному матеріалі представлено спробу удосконалити і розвинути економічну теорію відносно: сутності категорії «капітал підприємства»; сутності категорій «людський ресурс», «людський капітал» і «людський актив»; сутності процесу фінансування індивідуальної ринкової діяльності людини і визначення змісту таких понять, як людський ресурс індивідуальний, людський капітал індивідуальний, людського активу індивідуального.

#### *Список літератури*

1. **Турило А.М.** Інтелектуальний і людський капітал в умовах інформаційно-інноваційної економіки // Вісник КНУ.-Вип 53.-2021. С.157-163.
2. **Турило А.М., Турило А.А.** Менеджмент розвитку :фінансово-економічні аспекти, ефективність, особливості оцінювання, проблеми економічного балансу. Навч.-Наук. Посібник.-Кривий Ріг. – 2023. – 115с.
3. **Турило А.А.** Основи управління інноваційним розвитком підприємства: монографія. – Кривий Ріг. – 2017. – 307с.
4. Фінанси підприємств: підручник (за ред. **Поддєрьогіна**).-К.: КНЕУ.- 2013.- 519с.
5. **Білик М.Д., Мавловська О.В.** та ін. Фінансовий аналіз: навч. посібник.- К.: КНЕУ.- 2005.-592с.
6. **Брігхем Є.Ф.** Основи фінансового менеджменту: пер.з англ.- К.: Молодь – 2000.-1000с.
7. Фінанси: підручник(за ред.. **С.Юрія**).- К.: Знання.- 2008.- 611с.
8. **Терещенко О.О.** Фінансова діяльність суб'єктів господарювання: навч. посібник. – К.: КНЕУ.-2009.-550с.
9. **Базилевич В.Д.** Інтелектуальна власність: Підручник.- К.: Знання.- 2008.- 431с.
10. **Крайнев П.П.** Інтелектуальна економіка: монографія.- К.: Ін Юре.- 2004.- 457с.

Рукопис подано до редакції 26.03.24

УДК 622.1:622.271.3

А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,  
С.О. ФЕДОРЕНКО, Т.О. ПОДОЙНИЦІНА, старші викладачі  
Криворізький національний університет

### **ОЦІНКА ТА МОНІТОРИНГ ГІРНИЧО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОДОВИЩА**

**Мета.** Мета дослідження полягає в геометризації родовища корисних копалин і створенні геометричної моделі родовища та гірничо-технологічних умов розробки.

**Методи дослідження.** Для оцінки та моніторингу показників родовищ корисних копалин використовується широкий спектр геоінформаційних системних методів і прийомів геометризації. В основі геометризації використовуються дані геологорозвідки та зйомок. При розробці методики оцінки запасів корисних копалин розглянуто найбільш поширені методи оцінки.

**Наукова новизна.** Описано послідовність і етапи гірничо-геометричної оцінки родовищ з урахуванням конкретних гірничо-геологічних умов. Побудовані моделі використовуються на гірничодобувних підприємствах України, які розробляють тверді корисні копалини. Велика увага приділяється обробці вихідних гірничо-геологічних даних, що є основою для гірничо-геометричного моделювання. Геостатистичні методи дають високі результати при обробці та оцінці достовірності вхідних даних моделювання та обробці та представленні результатів моделювання. Різні типи родовищ вимагають різних підходів до геометризації. Родовища з високою мінливістю показників вимагають обліку, групування даних і районування.

**Практичне значення.** Для цього розроблено евристичний алгоритм, який є ефективним незалежним методом моделювання та дозволяє врахувати високий рівень неоднорідності просторового розподілу гірничо-геологічних показників покладу. Результати моделювання можуть бути використані для оцінки та моніторингу покладів, підрахунку запасів і планування гірничих робіт. Розроблені методи, засновані на використанні геоінформаційних систем, дуже ефективні в різних гірничо-геологічних умовах і можуть бути застосовані до різних типів родовищ твердих корисних копалин.

**Результати.** Відповідно до модифікованої методики моделювання побудовано прогнозу модель розподілу корисного компоненту українських родовищ корисних копалин. Статистичні та геостатистичні методи дають змогу виявляти високу мінливість показників у покладі. Це зумовлює необхідність групування вхідних геологічних даних та результатів розрахунків. При цьому додатково застосовуються евристичні методи моделювання, які є самостійними ефективними методами моделювання, розробленими авторами роботи.

**Ключові слова:** геометризація родовища, гірничо-геометричного моделювання, геостатистичні методи, евристичні методи, оцінка запасів.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-74-83

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** У сучасних умовах гірничодобувне виробництво зазнає швидких змін у зв'язку з підвищенням вимог до якості та продуктивності. Розвиток промисловості та гірничодобувної промисловості відбувається шляхом удосконалення та підвищення ефективності існуючих і створення нових методів видобутку корисних копалин, спрямованих на максимально повне та раціональне використання природних ресурсів. Контроль за правильністю використання технологічних засобів розробки корисних копалин, що відповідають властивостям порід родовища корисних копалин, призводить до необхідності комплексного моніторингу стану гірського масиву. Вплив геології родовища та рудозалягання на показники ефективності гірничого виробництва зумовлює багатоваріантність проектування гірничих підприємств для забезпечення стабільності вироблення гірського масиву, що безпосередньо впливає на розвиток гірничого виробництва [1].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для створення геометричних моделей гірничо-геологічних об'єктів використовується геоінформаційний комплекс методів і засобів геометризції та оцінки [2]. До них належать: методи статистичного аналізу геотехнологічних показників у надрах і рудних потоках; методи теорії випадкових функцій [3], геостатистичного аналізу (методи зважування з урахуванням анізотропії) та оцінки геотехнологічних показників у надрах (дискретний, випадковий та універсальний крігінг) [4] – [8]; оптимальна статистична екстраполяція, експоненціальне згладжування, метод адаптивної авторегресії, адаптивна вибіркова модель, адаптивна поліноміальна модель, метод адаптивної множинної регресії, метод авторегресії інтегрованого ковзного середнього; метод головних компонент, факторний аналіз, кластерний аналіз, дискримінантний аналіз, дисперсійний аналіз; методи стохастичної геометрії та стереологічної реконструкції просторових об'єктів [9] – [13]; методи гірничо-геометричного моделювання розміщення геотехнічних показників і розмежування гірничо-геологічних об'єктів [14] – [16].

При постановці та вирішенні широкого спектра завдань геологічного та гірничо-геометричного забезпечення гірничого виробництва, необхідно враховувати специфіку збору та обробки геолого-маркшейдерських даних. Основні особливості цього полягають у наступному: зразки або розвідувальні свердловини, які характеризують якісні та структурно-морфологічні параметри покладу в просторовій прив'язці, є первинними носіями геологічної інформації; існують різні сітки вибірки (регулярні, нерегулярні); форми візуалізації як первинних, так і розрахункових даних є складними та варіативними; структура графічних зображень (виділення, схематизація, деталізація) потребує трансформації; для розв'язання задачі слід вибрати варіанти вхідних даних.

Використання геоінформаційних систем при розвідці та проектуванні гірничих робіт дозволяє створити базу даних, провести геостатистичний аналіз і побудувати геолого-математичні моделі для оцінки родовища та геологічних блоків [17]. У свою чергу, це дає можливість прогнозувати геометрію рудних тіл і розподіл показників, оптимізувати параметри розробки для визначення кінцевої глибини розробки, розраховувати техніко-економічні показники ефективності розробки родовища. Геостатистичні методи розрахунку розподілу вмісту компонентів у поєднанні з використанням 3D-редакторів для окреслення рудних тіл і більш точних методів розрахунку об'ємів за їхньою складною морфологією дозволяють суттєво уточнити запаси родовищ. Методика прогнозування геометричної будови родовищ [18] дозволяє розглядати варіанти розвитку гірничих робіт. Оцінка техніко-економічного ризику дає змогу уточнити можливі відхилення характеристик рудного тіла та економічних параметрів і, як наслідок, визначити ймовірну ефективність проекту. Прогнозування зазвичай базується на багатofакторних дослідженнях з використанням методів гірничо-геометричного моделювання [19]. Облік техніко-економічних ризиків дає необхідну інформацію про доцільність проекту та можливі відхилення в розрахунку прибутку та чистого дисконтованого доходу при реалізації етапу розробки родовища або проекту в цілому.

**Постановка задачі.** Одним із основних завдань моніторингу гірничого підприємства є виявлення та відображення стану і властивостей корисних копалин у надрах і просторових закономірностей їх залягання за результатами спостережень за покладами. Ці завдання вирішуються в основному методами геометризції та моделювання надр. При цьому ставляться конкретні гірничо-геометричні завдання, які включають: визначення просторового розміщення надр покладів корисних копалин та умов їх залягання та визначення способів їх зображення; виявлення

характеру розміщення запасів корисних копалин в цілому та окремих їх різновидів у надрах, а також рівня їх підготовленості; виявлення характеру розподілу корисних і шкідливих компонентів у покладі; вибір методів підрахунку та обліку руху запасів, визначення втрат і збіднення; вибір геометричних методів дослідження мінливості показників; прогнозні показники на маловивчених ділянках родовища; вибір геометричних методів вирішення гірничих задач.

Виходячи з вищевикладеного, мета дослідження полягає в геометризації родовищ корисних копалин та створенні геометричної моделі родовища та гірничо-технологічних умов розробки родовища.

**Викладення матеріалу та результати.** Завдання моделювання та оцінки запасів реалізується за допомогою послідовності процедур, що утворюють проблемно-орієнтовані програмні модулі наступного складу: розрахунок координат точок траєкторії свердловин за даними інклінометрії; розрахунок координат характерних точок свердловин (геологічних меж, меж інтервалів відбору); розрахунок координат свердловин на горизонтальних ділянках; розрахунок координат характерних точок свердловин в проекції на задану площину; визначення інтервалів типів і марок руд за якісними характеристиками з урахуванням умов і потужності ідентифікованих інтервалів; виявлення рудних інтервалів за кількісними характеристиками з урахуванням умов за вмістом і потужністю; розрахунок середнього вмісту корисних компонентів у рудних інтервалах; підрахунок лінійних запасів корисних компонентів в рудних розрізах; розрахунок просторових і якісних параметрів розвідувального розрізу або профілю; підрахунок запасів корисних копалин у геологічних або експлуатаційних блоках; зведений підрахунок запасів корисних копалин за видами і марками руд, виконаний по рудних тілах і родовища в цілому.

Зазначені процедури реалізуються на основі комплексу завдань моделювання родовища за даними детальної та оперативної розвідки, експлуатаційних випробувань та малооб'ємного технологічного відбору проб.

Геостатистичний підхід до розподілу показників з можливістю оцінки дисперсії в блоках і визначення похибок у підрахунку запасів також реалізований на сіткових або блочних моделях у програмних продуктах, що використовуються в даному дослідженні.

Стохастичне моделювання дозволяє реконструювати просторовий розподіл великої кількості рудних тіл за результатами відбору проб по профілях і розвідувальних розрізах. Він використовується для ідентифікації геологічної структури родовища між лініями або областями відбору проб (профілі свердловин, гірська маса або відбір проб).

Як і векторний і растровий підходи до представлення даних, цифрове моделювання родовищ поділяється на два типи: каркасне і блочне. У той час як перший тип, який іноді називають геометричним, виконується без інтерполяції, другий базується переважно на інтерполяції геологічних даних у блоках. Однак, якщо блокова модель будується шляхом заповнення каркасів рудних тіл або на основі стохастичного моделювання умов, то при каркасному моделюванні геологічні об'єкти описуються набором векторних ліній: граничними контурами, полігонами і в 3D-випадку – багатогранниками. У будь-якому випадку, всі грані геологічних об'єктів є не що інше, як багатокутник або контур. Проекції розломів на площину поперечного перерізу, лінії вододілу або краї уступів зображуються незамкненими багатокутниками або ламаними. Результатом каркасного моделювання є нанесення контурів рудних тіл і порід на плани і розрізи. Методи оцінки запасів геологічних блоків, розрізів, трикутників і найближчої ділянки базуються на попередньому полігональному або каркасному моделюванні родовища.

При блочному моделюванні весь простір родовища ділиться на блоки сіткою. Для кожного блоку у вузлі сітки значення геологічних показників розраховуються шляхом інтерполяції або моделювання значень вхідних точок відбору. При інтерполяції застосовуються дистанційні зважувальні та геостатистичні процедури, реалізовані у геоінформаційних системах.

В процесі гірничо-геометричної оцінки родовищ з високим ступенем мінливості виникають математичні неоднозначності та невизначеність оцінки розподілу показників родовища. В процесі геометризації таких родовищ авторами був розроблений евристичний алгоритм прогнозування, який ґрунтується на поліномі довільного ступеню, який має наступний вигляд.

$$f_i = [c_i^p (a_{11}^p x_1^p + b_{11}^p x_1^p)^p \times (a_{12}^p x_2^p + b_{12}^p x_2^p)^p \dots \times (a_{1n}^p x_n^p + b_{1n}^p x_n^p)^p \times (a_{21}^p x_1^p + b_{21}^p x_1^p)^p \dots \times (a_{22}^p x_2^p + b_{22}^p x_2^p)^p \times \dots \times (a_{mn}^p x_n^p + b_{mn}^p x_n^p)^p], \quad (1)$$

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = d_i^p [f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) + \dots + f_n(x_1, x_2, \dots, x_n)]^p + e^p, \quad (2)$$

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = g^p [F_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + F_2(x_1, x_2, \dots, x_n) + \dots + F_n(x_1, x_2, \dots, x_n)]^p + h^p. \quad (3)$$

Аргументи  $x_1, x_2, \dots, x_n$  у формулах (1) – (3) визначаються на ділянках з відомими значеннями гірничо-геологічних показників. Поліном складається із функціональних залежностей, які послідовно розраховуються окремо або у складі функції більшої складності. Формула (1) є функцією найменшої складності, формула (3) є функцією найбільшої складності. Показники ступенів можуть бути числовими величинами, або виражати змінну функціональну залежність. Оптимальне значення прогнозу функції досягається тоді, коли в процесі обчислень зміна прогнозованих гірничо-геометричних та геологічних показників стає меншою за межу точності прогнозування. Алгоритм має поліморфний характер і може описувати та виявляти будь-яку функціональну залежність розміщення гірничо-геологічних та інших показників. При підвищенні рівня складності побудованої функції може виникнути обмеження можливостей обчислювальної техніки. Тому необхідно ретельно підходити до питання попередньої оцінки гірничо-геологічної інформації та вибору аргументів поліному.

Цей алгоритм є самостійним математичним методом евристичної самоорганізації, який вперше був застосований авторами статті для оцінки родовища кар'єру ПівдГЗК.

При моделюванні використовуються геоінформаційні системи Micromine, K-Mine, Surfer. Залежно від об'єктів моделювання, які досліджувались у даному дослідженні (вид корисної копалини, структури, топології, щільності розвідувальної сітки), процес створення геологічних моделей складається з кількох етапів і може дещо відрізнятись. Структура створення 3D-геологічних моделей включає наступні етапи: розробка структури бази даних для зберігання первинних даних геологічної розвідки; наповнення бази даних даними геолого-геофізичних проб; статистичний аналіз первинних геологічних даних, виправлення помилок, групування даних, верифікація бази даних та виявлення закономірностей; побудова свердловин у просторі моделі з групуванням їх за профілями; визначення на основі стратиграфії та розмежування рудних і нерудних інтервалів, уточнення ідентифікації інтервалів за бортовими значеннями (інтерпретація геологічних даних); уточнення меж просторового поширення гірських порід з урахуванням тектонічних порушень, а також даних геофізичних досліджень; каркасне моделювання покладу; створення порожніх блокових моделей; геостатистичний аналіз геологорозвідувальних даних, варіографія; визначення закономірностей просторової мінливості геологічних характеристик компонентів; моделювання вмісту компонентів математичними методами (метод найближчого району, полігональний метод, метод обернених відстаней у ступені, крігінг у різних модифікаціях); моделювання хімічного складу та розташування корисних і шкідливих компонентів у покладі; уточнення контурів розподілу руд і порід у покладі відповідно до заданих умов.

Експеримент із геометризації та моделювання покладів проводиться на великих гірничодобувних підприємствах України, таких як Бирзулівське та Скелевацьке родовища, що розробляються кар'єром ПівдГЗК.

Моделювання на основі геоінформаційних систем складається з наступних етапів: розробка структури бази даних для зберігання первинних геологорозвідувальних даних; введення вихідних даних в базу геологічних виробок та їх аналіз; інтерпретація даних геологорозвідувальних робіт; моделювання родовищ; створення каркасних моделей покладу; геостатистичні дослідження родовища; блочне моделювання родовищ; оцінка та підрахунок запасів.

Комп'ютерне моделювання великих гірничо-геологічних об'єктів і підрахунок запасів родовищ неможливі без формування і постійного оновлення бази даних, яка зазвичай дуже велика. Тому вибір формату та структури зберігання бази даних, встановлення взаємозв'язку між таблицями відіграють важливу роль у забезпеченні надійності та швидкості подальших обчис-

лень. Бази даних комп'ютерних систем геологічного моделювання родовищ надають засоби, які дозволяють: виявляти помилки в записах при завантаженні таблиць бази даних, тобто контролювати відповідність довжини вибірки та відмінності інтервалів вибірки; перевірка діапазонів зміни вмісту; і пошук значень ураганів; аналіз повноти вхідного масиву параметрів об'єкта, включаючи локалізацію невизначених об'єктів за характеристиками та за кількістю пропущених значень; виявлення слабо мінливих параметрів за кількістю градацій значень і змін у шкалі вимірювання параметрів; побудова гістограм розподілу значень показника та обчислення середніх для заповнення відсутніх вхідних даних; формування таблиць параметрів об'єктів у заданих межах гірничо-геологічних об'єктів; видалення повторюваних властивостей, виконання кореляційного аналізу; визначення подання обробки вхідних даних; вибір інформаційного набору параметрів, транспонування таблиць параметрів об'єктів і нормалізація даних.

За результатами всіх етапів аналізу даних формується модельна схема обробки даних для вирішення конкретного функціонального завдання гірничо-геометричного забезпечення.

Каркасне моделювання є наступним кроком після введення даних. Каркасні моделі використовуються для тривимірного представлення мінералізованих зон, геологічних структур, поверхонь (таких як денна поверхня, розломи, зони окислення тощо) та інших тривимірних тіл (підземні виробки, форма котловану тощо). Крім того, каркасні моделі використовуються для створення блокових моделей, кодування даних вибірки та будь-яких інших даних із 3D-координатами.

Каркасні моделі бувають наступних типів: суцільні або закриті моделі (суцільні); цифрові моделі поверхні; складні поверхні. На рис. 1 представлена каркасна модель Бирзулівського родовища ільменіту.

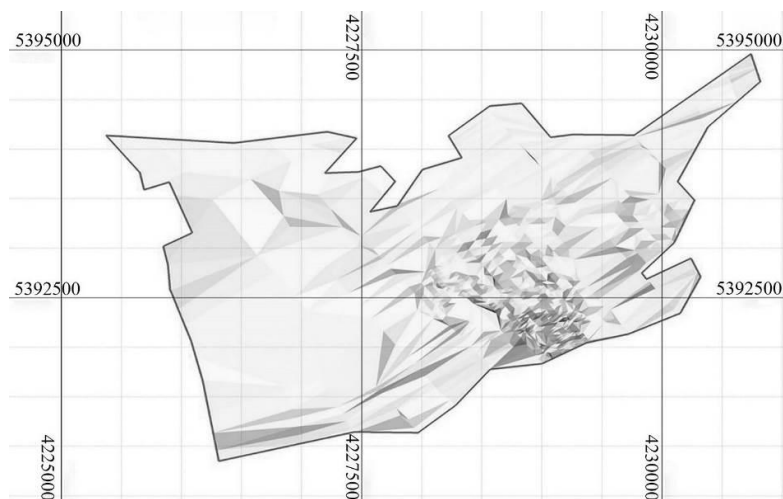


Рис. 1. Каркасна модель Бирзулівського родовища

Модуль моделювання цифрової топографії створює трикутну модель поверхні. Згодом його можна редагувати та використовувати для побудови блокової моделі.

Модуль твердотільного моделювання передбачає інтерактивне налаштування периметрів і подальше створення на їх основі каркасної моделі, яка з високою точністю ідентифікує структуру покладу тощо. Каркасну модель можна відобразити в ізометричній проекції, поєднуючи з іншими моделями, або перетворювати на блочну модель. Також є можливість будувати секції. Є також блок розрахунку обсягів, що дуже важливо при оцінці родовища або геологічного блоку зі складною геометрією.

Цифрова топографічна модель – це засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів і кар'єрів) у вигляді тривимірних даних у вигляді набору позначок висоти або глибини та інших прикладних значень (координат висоти) у вузлах регулярна або нерегулярна сітка. Цю модель також можна представити у вигляді набору записів. Найпоширенішим цифровим представленням топографії є просторова модель даних, яка апроксимує рельєф багатогранною поверхнею з відмітками висоти (глибини) у вузлах трикутної сітки.

Процес блокового моделювання включає наступні попередні операції.

Розміри моделі визначаються наступним чином. Перш ніж створювати порожню блочну модель, необхідно знати її максимальні та мінімальні розміри. Для цього визначаються координати (мінімальна та максимальна) з урахуванням розвіданості ділянки в межах родовища та можливого розміру проєктованого котловану.

Розміри блоків визначаються наступним чином. Зі статистичної точки зору, розмір блоків у моделі повинен бути приблизно половиною щільності сітки буріння. З іншого боку, розмір блоків повинен відображати геометрію рудного родовища та враховувати вимоги до видобутку (мінімальна потужність видобутку, внутрішні та зовнішні межі). Хоча розмір моделі залежить від величини депозиту, дуже великі моделі не є раціональними і їх обробка займає багато часу.

Порожня модель будується наступним чином. Термін «порожня модель» відноситься до простору (прототипу), заповненого блоками заданого розміру. Модель називається «порожньою», тому що вона ще не містить кодів або вмісту функції, що вивчається, або інших даних.

Геологічне моделювання спрямоване на точне представлення як меж рудних тіл, так і внутрішньої геометрії родовища, а також вмісту та цінності мінерального компонента в межах родовища.

Блокова геологічна модель складається з прямокутних блоків, які мають власні атрибути або показники, такі як корисний компонент, тип породи, ступінь окислення тощо.

Хоча різні геометричні фігури можна використовувати для опису елементарних областей, таких як багатокутники, довільні гексаедри, аналітичні математичні поверхні та триангуляції, жодна з них не є досить зручною для використання. Найпростіша 3D-модель побудована на прямокутній сітці. Це найпоширеніший тип моделі, оскільки він забезпечує швидку обробку даних і простий розрахунок резерву шляхом підсумовування окремих значень у блоках.

На цій основі для багатьох типів рудних тіл можна вирішити задачу опису якості та геологічних меж. Однак комплексна система моделювання вимагає методу моделювання, який можна застосувати до різних родовищ. Одне з рішень передбачає використання блокової моделі змінного розміру.

Розмір блоків визначається на основі геостатистичних властивостей геологічних показників, відстані між свердловинами, гірничо-геологічних обмежень, топографії тощо. Якщо модель, яку потрібно побудувати, потребує уточнення, наприклад, всередині шарів або на кордонах вхідні блоки можна розділити на менші. На рис. 2 представлена блокова модель Бирзулівського родовища.

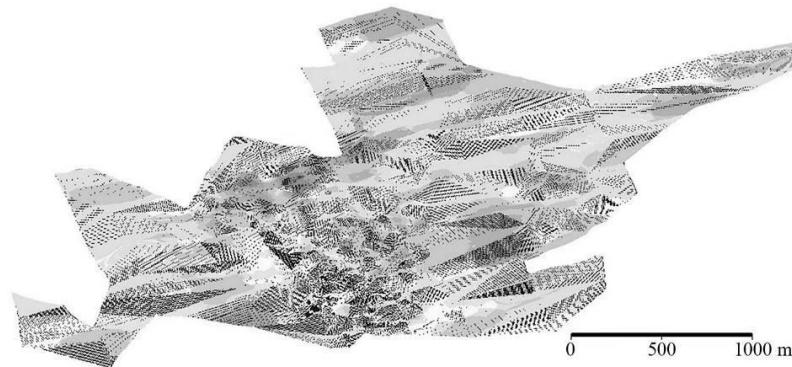


Рис. 2. Блокова модель Бирзулівського родовища

Інтерполяція вмісту – це процес оцінки значень у точках (наприклад, області в блочній моделі) на основі серії даних вибірки. Цю інформацію зазвичай отримують зі свердловин, наземних і підземних проб.

Існує кілька математичних методів інтерполяції, один з яких може бути більш придатним, ніж інші. Першим кроком в інтерполяції вмісту є аналіз вхідних даних, тобто слід знати, як вміст залежить від відстані та напрямку. Найбільш надійним є розрахунок і побудова варіограм. Варіограми слід будувати для ряду відстаней і напрямків. Після цього слід застосувати процедуру відображення графіків варіограм та налаштування прийнятної математичної моделі до даних. Цей процес потребує геостатистичних досліджень.

Геостатистика заснована на статистичній інтерпретації даних. Передбачається, що дані вимірювань є реалізаціями випадкових величин, які описуються деякими функціями розподілу.

Однак це не означає, що сам процес є випадковим. При використанні геостатистики необхідно визначити просторову кореляційну структуру геологічного поля, яка задається всіма випадковими величинами в межах дослідження.

Просторова безперервність має місце в більшості геологічних явищ і виражає просту властивість даних: значення досліджуваної функції в двох точках, розташованих близько одна до одної, швидше за все, будуть більш подібними, ніж відповідні значення в точках, розташованих далі одна від одної. На рис. 3 наведено результат інтерполяції на основі крігінгу показників магнітного заліза кар'єру ПівдГЗК.

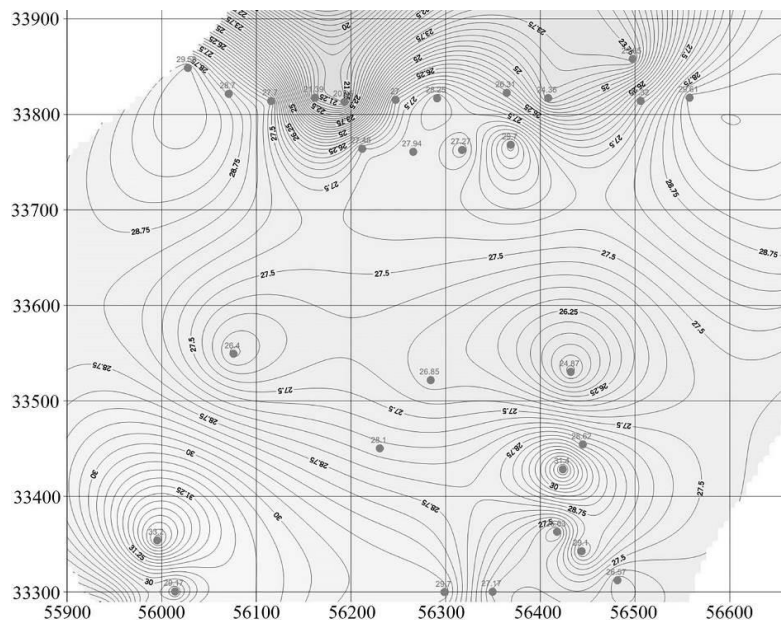


Рис. 3. Інтерполяція процентного вмісту магнітного заліза на кар'єрі ПівдГЗК

Поняття «ураганних» проб виникло під час розвідки та оцінки родовищ золота, де вміст металу вкрай нерівномірний і часто виникає проблема обліку самородків для визначення середнього вмісту металу в виробці, блоці та покладі. Згодом широкий розвиток свердловинної розвідки крупновкраплених руд олова, вольфраму, слюди, ртуті та ін. поштовхнув до дослідження питання правильної оцінки значень, що сильно відрізняються. У результаті були встановлені основні статистичні критерії відбору та правила обробки значень ураганів.

Проби з надзвичайно високим і низьким вмістом свідчать про вкрай нерівномірний розподіл корисної складової, і запаси в таких блоках слід оцінювати в нижчій категорії як малорозвідані за її розподілом. Тому перше, що потрібно зробити, це ретельно перевірити зразки на наявність дублікатів і виявити помилки у визначенні вмісту.

Виходячи з вимог до точності підрахунку, до ураганних відносять проби, які з певних причин не підлягають контролю і їх облік при підрахунку призводить до завищення запасів більш ніж на 10%. У зв'язку з цим важливо оцінити та змодельовати просторовий розподіл компонента в межах родовища, щоб визначити відповідні області та обмежити вплив ураганних проб на кінцеві результати.

Найпростіший спосіб врахувати ураганні проби і некоректні записи в базі даних – це візуально переглянути поля таблиць і гістограми вибірки (рис. 4).

Записи зі значеннями нижче та вище певного порогу виключаються або замінюються максимально допустимими значеннями. В одних випадках видатний вміст замінюється на найближчий за розміром, в інших - на середній вміст з урахуванням ураганного вмісту, або на середній без урахування ураганного вмісту, або на подвійний середній тощо. Якщо в масиві вибірки немає самородкового ефекту, то ураганне значення найдоцільніше замінити найближчим найвищим вмістом, визнаним неуреганним.

Метод класифікації значень є одним із найпоширеніших для виявлення ураганних значень. Спосіб реалізується наступним чином. Спектр вмісту корисного компонента розділений на 10 класів. Зразки сортують за значенням корисного вмісту і в кожному класі підраховують кіль-

кість зразків і частку компонентів у загальній кількості. Якщо останній клас, 90-100%, містить понад 40% зразків, він знову розбивається на 10 класів вмісту для виявлення ураганих записів. Граничним вмістом ураганих проб вважається мінімальний вміст першого класу, який містить понад 10% корисного компонента.

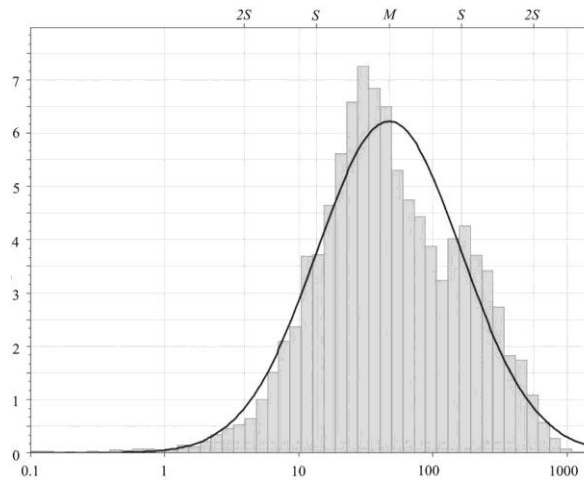


Рис. 4. Гістограма логарифмічного нормального розподілу компонентів Бирзулівського родовища

Описаний аналіз рекомендується проводити окремо для кожного рудного тіла, типу руди або родовища. На практиці бувають випадки, коли межа ураганного класу різко відрізняється на різних ділянках родовища.

Побудова кумулятивного розподілу масиву точок вибірових даних і дослідження його хвостової частини, яка близька до 100%, є іншим способом обліку ураганих проб. Границя початку ураганих проб визначається точкою розриву графіка зростання значень. Потім приймається рішення виключити хвостову частину кумулятивного розподілу після досягнення значення 95 або 99%. Слід зазначити, що питання викидання ураганих значень залишається відкритим. Існує думка, що правильно проведений крігінг може усунути негативний вплив невеликої кількості ураганих проб, якщо їх частка становить близько кількох відсотків.

Загалом уніфіковані алгоритми обробки ураганих проб дозволяють як оцінити достовірність прийнятих рішень, так і підвищити достовірність геологічних і промислових підрахунків запасів.

На підставі вищевикладеного зроблено висновок, що в межах Бирзулівського родовища відсутні ураганні значення показників, які суперечать закономірностям певного розподілу компонентів. В обробці даних широко використовувалися геостатистичні методи. Відповідно до всіх цих факторів, вирішено не виключати ураганні значення показників при підрахунку запасів. На основі блочної моделі побудовано модель розподілу запасів ільменіту Бирзулівського родовища за категоріями ( $B+C_1+C_2$ ) (рис. 5), за якими розраховано балансові запаси родовища.



Рис. 5. Модель просторового розподілу запасів Бирзулівського родовища



Відповідно до модифікованої методики моделювання побудовано прогнозну модель розподілу магнітного заліза в родовищі залізистих кварцитів кар'єру ПівдГЗК. Статистичні та геостатистичні методи виявляють високу мінливість показників у покладі. Це зумовлює необхідність групування вхідних геологічних даних та результатів розрахунків. При цьому додатково застосовуються евристичні методи моделювання, які є самостійними ефективними методами моделювання, розробленими авторами роботи. Алгоритм багатовимірною евристичного прогнозування, що використовується для оцінки та моделювання родовища, заснований на створенні функції прогнозу шляхом покрокового розвитку полінома довільного ступеня, який вперше був розроблений та застосований для моделювання цього родовища. Сукупність алгоритмів методики дозволяє побудувати та виявити будь-яку закономірність. З поступовим збільшенням складності полінома підвищується точність моделюючої функції, виявляються невідомі функціональні залежності між показниками, а також виявляються геологічні показники родовища, значущі для прогнозного моделювання. На останньому етапі моделювання будують функціональні залежності між вмістом магнітного заліза в породному масиві та величиною цього показника, а також загальним вмістом заліза за даними свердловинних проб. В результаті проведено районування родовища та побудовано основні типи функцій прогнозного моделювання якісних показників родовища. Залежності перевіряються на відпрацьованих ділянках покладу, після чого використовуються для побудови прогнозної моделі просторового розподілу якісних показників (рис. 6).

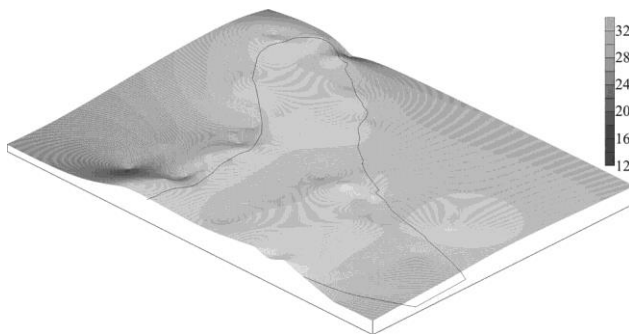


Рис. 6. Модель процентного вмісту магнітного заліза родовища ПівдГЗК

Сучасні методики підрахунку і оцінки запасів корисних копалин мають похибку підрахунку, яка залежить від категорії запасів: *A* – 15-20 %, *B* – 25-30 %, *C<sub>1</sub>* – 35-50 %. Розроблена у цьому дослідженні методика геометризції та моделювання родовищ корисних копалин дає змогу ефективно та з високою точністю оцінювати гірничо-геометричні та геологічні показники родовищ твердих корисних копалин. При підрахунку балансових запасів ільменіту Бирзулівського родовища похибка підрахунку не перевищила 8,3 %, а кількість запасів склала 4526 тис.т. Прогнозна оцінка вмісту магнітного заліза родовища кар'єру ПівдГЗК не перевищила 6,8 %. Це дає підставу вважати розроблену методику ефективною, точною та перспективною в умовах сучасного гірничого виробництва.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, гірничо-геометричне моделювання є невід'ємною частиною моніторингу показників гірського масиву та оцінки запасів гірничого підприємства. Розроблені методи, засновані на використанні геоінформаційних систем, дуже ефективні в різних гірничо-геологічних умовах і можуть бути застосовані до різних типів родовищ твердих корисних копалин. Поклади з високим рівнем мінливості потребують додаткових прийомів і операцій у гірничому та геометричному моделюванні. Під час геометризції покладу кар'єру ПівдГЗК розроблено евристичний алгоритм, який є ефективним незалежним методом моделювання та дозволяє врахувати високий рівень неоднорідності просторового розподілу гірничо-геологічних показників покладу. Результати гірничо-геометричного моделювання були використані для оцінки та моніторингу родовища, підрахунку запасів і планування гірничих робіт. Розроблена методика гірничо-геометричного моделювання була використана для оцінки та моніторингу родовищ кар'єрі ПівдГЗК та Бирзулівського родовища. Прогноз вмісту магнітного заліза на кар'єру ПівдГЗК з похибкою, яка не перевищила 6,8 %, дав змогу підвищити показники видобутку за рахунок підвищення ефективності планування гірничих робіт в умовах циклічно-поточної технології. Оцінку та підрахунок запасів ільменіту Бирзулівського родовища було виконано з похибкою, яка не перевищила 8,3%. Таким чином, розроблена методика є вельми ефективною і точною, та відповідає сучасним вимогам гірничого виробництва.

Подальший розвиток методів гірничо-геометричного моделювання родовищ корисних копалин полягає в удосконаленні та створенні евристичних алгоритмів і методів геометризції,

які найбільш повно враховують розміщення показників і дозволяють гірничо-геометричне моделювання в різних гірничо-геологічних умовах.

### Список літератури

1. Ступнік М.І., Федько М.Б., Письмений С.В., Колосов В.О., Курносов С.А., Маланчук З.Р. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу. – Вісник Криворізького національного університету: збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КНУ, 2018. – Вип. 47. – С. 3-8.
2. Переметчик А.В., Федоренко С.О., Подойніцина Т.О. Геометричне моделювання та прогнозування якості залізних руд. – Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: КНУ, 2023. – Вип. 111. – С. 46-54.
3. Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О. Статистико-імовірнісний розподіл прогнозних характеристик залізородних родовищ при геометризації надр. – Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: КНУ. – 2020. – Вип. 107. – С. 32-36.
4. Переметчик А.В., Федоренко С.О., Подойніцина Т.О. Геометричне моделювання та прогнозування якості залізних руд. – Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: КНУ, 2023. – Вип. 111. – С. 46-54.
5. Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О., Настін П.В. Гірничо-геометричний моніторинг та моделювання надр. – Гірничий вісник: науково-технічний збірник. – Кривий Ріг: КНУ. – 2021. – Вип. 109. – С. 7-14.
6. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
7. Huang, S. & Huaming, A. (2016). Application of geostatistics in the estimation of Sujishan graphite deposits, Mongolia Stavební obzor – Civil Engineering Journal, 27, 487-499. <https://doi.org/10.14311/CEJ.2018.04.0039>.
8. Nekmatnejad, A., Emery, X. & Alipour-Shahsavari, M. (2019). Comparing linear and non-linear kriging for grade prediction and ore/waste classification in mineral deposits. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33(4), 247-264. <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1386430>.
9. Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов. – М.: Мир. – 1973. – 150 с.
10. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. – М. – 1974. – 481 с.
11. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
12. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Книга 1. – М.: Недра. – 1990. – 246 с.
13. Миллер Р.Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир. – 1965. – 482 с.
14. Калинин В.М. Многомерная геометрия форм и качественных свойств месторождений. – Маркшейдерское дело и геодезия. – 1979. – Вип. 6. – с. 99-105.
15. Переметчик А.В. Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых. – Разработка рудных месторождений: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вип. 85 – С. 194-200.
16. Peremetchyk, A., Pysmennyi, S., Chukharev, S., Shvaheer, N., Fedorenko, S., & Moraru, N. (2023). Geometrization of Kryvbas iron ore deposits. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254(1), 012067. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012067>.
17. Pysmennyi, S., Peremetchyk, A., Chukharev, S., Fedorenko, S., Anastasov, D., & Tomiczek, K. (2022). The mining and geometrical methodology for estimating of mineral deposits. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1049(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012029>.
18. Peremetchyk, A., Pysmennyi, S., Shvaheer, N., Fedorenko, S., & Podoyntsina, T. (2023). Modeling and Prediction of Iron Ore Quality Indicators. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 1(51). 127-136. <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-15>.
19. Peremetchyk, A., Kulikovska, O., Shvaheer, N., Chukharev, S., Fedorenko, S., Moraru, R., & Panayotov, V. (2022). Predictive geometrization of grade indices of an iron-ore deposit. Mining of Mineral Deposits, 16(3), 67-77. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.067>.

Рукопис подано до редакції 26.03.24

УДК 662.997

В.В. САВІН, ст. викладач, П.С. КІРІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ГРУНТОВИХ ТЕПЛОБІМННИКІВ В ЕНЕРГООЩАДНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ

**Мета.** Основна мета дослідження полягає в аналізі існуючих видів нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, які можна використовувати у вигляді блоку попередньої обробки повітря для пасивної економії споживання енергії системами вентиляції житлових будинків, та їх класифікації. До таких джерел можна віднести ґрунтові теплообмінники, які або трансформують розсіяну теплову енергію ґрунту у відносно високотемпературне тепло з подальшим використанням на потреби системи вентиляції, або використовують її безпосередньо для пасивного попереднього підігріву взимку та/або попереднього охолодження влітку припливного повітря системи вентиляції, що дає змогу зменшити витрати енергії на підтримання допустимих санітарно-гігієнічних і метеорологічних параметрів приміщень.

© Савін В.В., Кіріченко П.С., 2024