

Список літератури

1. Бабиченко В. Н., Адаменко Т. И., Бондаренко З. С., Николаева Н. В., Рудишина С. Ф., Гущина Л. М. Экстремальная температура воздуха на территории Украины в условиях современного климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://uhmi.org.ua/conf/climate_changes/presentation_pdf/oral_1/Babichenko_et_al.pdf. – Название с экрана.
2. О. Шевченко, О. Власюк, И. Ставчук, М. Ваколюк, О. Илляш, А. Рожкова Оценка уязвимости к изменению климата: УКРАИНА Климатический форум восточного партнерства (КФВП) и Рабочая группа неправительственных организаций по вопросам изменения климата (РГ НУО ВИК), 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://necu.org.ua/wp-content/uploads/2014/07/Ukraine_cc_RUS.pdf – Название с экрана.
3. Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R. K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C. G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. SarrandP. Whetton. **Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007. – 94 pp.
4. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-4-08.pdf>. – Название с экрана.
5. Р.Н. Павловский, С.Г. Кузнецов Оценка ветровых воздействий на высотные здания и сооружения Вторая научно-практическая конференция "Спецпроект: анализ научных исследований" (7-11 декабря 2005г.)
6. С.Ю. Скрипченкова Воздействие ветровых нагрузок на высотные здания Астраханский вестник экологического образования №2 (40) 2017 с. 103-108)
7. С.И. Дубинский Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/chislennoe-modelirovanie-vetrovykh-vozdeystviy-na-vysotnye-zdaniya-i-kompleksy#ixzz5BJdQxXXs>
8. Mendis P. [et al.] Wind Loading on Tall Buildings // Ejs Special Issue: Loading on Structures. - 2007. - pp. 41-54.
9. Золина Т.В., Садчиков П.Н. Исследование случайных воздействий ветровой нагрузки на работу каркаса однопэтажного промышленного здания // Вестник МГСУ. 2016. № 9. С. 15–25. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.9.15-25
10. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан; пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецово; под ред. Б.Е. Маслова. — М.: Стройиздат, 1984. — 360 с
11. Tayfun E. CFD methods for three-dimensional computation of complex flow problems Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Volume 81, Issues 1–3, May 1999, Pages 97-116

Рукопис подано до редакції 16.03.2020

УДК 622.14

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

СТАТИСТИКО-ЙМОВІРНІЙ РОЗПОДІЛ ПРОГНОЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ НАДР

Мета. Мета роботи полягає у знаходженні закономірностей розташування найважливіших якісних показників у масиві для того, щоб визначити їх зміну у процесі розвитку гірничої розробки. Найважливішим напрямом застосування геометризації родовищ залізорудних корисних копалин є гірничо-геометричне прогнозування їх якісних показників для вирішення задач довгострокового та короткострокового планування для того, щоб налагодити з великим ступенем ефективності роботу підприємства, що видобуває залізорудні корисні копалини, в режимі усереднення та підвищити ступінь раціоналізації процесу видобутку руди та ведення гірничих робіт.

Методи дослідження. Для розв'язання нагальних задач передбачено багато методів, в тому числі, застосування теоретичних досліджень, натурні та виробничі випробування. Під час робіт застосовувались геостатистичні методи оцінки. Методика полягає у знаходженні закономірності просторового розташування показників покладу для розв'язання задачі прогнозування властивостей родовищ корисних копалин.

Наукова новизна. За спосіб огляду маркшейдерсько-геологічної інформації, взятої за неоднорідною розвідувальною мережею пропонується застосовувати спосіб крайгінга. Розглянуто спосіб оцінювання закономірності розташування чинників родовища з нелінійним характером мінливості.

Практичне значення. Висвітлено загальні способи оцінювання геологічних показників при розрахунку якісних показників залізорудних родовищ і показано їх властивості. Подано найзручніший спосіб оцінювання в умовах Криворізьких залізорудних родовищ. Найзначущим є створення методики прогнозування просторового розміщення показників родовищ залізорудних корисних копалин.

Результати. Отримано результати, які можуть давати випадкові функції з декількома компонентами, які є стаціонарними збільшеннями. Виходячи з того, що на родовищах Кривбасу детальна геологічна розвідка проводиться, як правило, за допомогою неоднорідної мережі свердловин, крайгінг є самим оптимальним способом для оцінювання та збільшення істотності геологічної інформації. Результатом геометризації родовищ та покладів корисних копа-

лин є знаходження прогнозного просторового розміщення якісних показників у просторі масиву гірських порід і рудних тіл.

Ключові слова: геометризація, гірничо-геометричні методи прогнозування, варіограма, крайгінг, мінливість геологічних показників, розвідувальна мережа.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-32-36

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Креслення, що змальовують важливі показники родовищ, мають здатність встановити основну закономірність між компонентами, які вміщуються у складі корисної копалини, що дає можливість змалювати характер розміщення цих компонентів. Цей факт має велике значення при проектуванні розробки родовища і подальшій експлуатації. Якщо є такі креслення, можливо спланувати видобування корисних копалин з відомим складом, який необхідний для процесів їх перероблення.

Дуже необхідним застосуванням геометризації родовищ залізорудних корисних копалин є гірничо-геометричне прогнозування їх якісних показників для розв'язання задач планування для налагодження з найбільш ефективного видобутку корисних копалин в режимі усереднення якості корисної копалини та раціоналізації відпрацювання родовища.

Аналіз досліджень і публікацій. Детальний розгляд сучасних знань стосовно геометризації покладів твердих корисних копалин змалював, що попередні гірничо-геометричні горизонтальні та вертикальні графіки, що змальовують просторове положення важливих чинників родовища і гірничих робіт, які застосовуються у перспективному і поточному плануванні, отримуються із застосуванням кількісних методів гірничо-геометричного прогнозування. Вагомою вадою методів, що оцінюють характер розміщення показників є те, що на покладах з високим характером мінливості розташування корисних копалин ці способи не дозволяють отримати високих результатів, не задовольняють бажаній точності прогнозування, а також не враховують впливу на прогнозування «ураганних» значень проб. Такі способи не дозволяють у повному обсязі вісвітити закономірності просторового розташування корисних копалин.

Постановка задачі. Задачою геометризації, у процесі розвитку гірничої справи, є створення гірничо-геометричних моделей покладів, що дозволяють показувати закономірності розташування важливих чинників якості в масиві для прогнозування їх змінюваності в процесі видобування корисних копалин.

Викладення матеріалу та результати. В ході обробки початкової геологічної інформації виникає проблема відбору безлічі проб, вміст в яких впливає на вміст в даному блоці або ділянці родовища. Вона пов'язана з будь-яким методом визначення зважених середніх. Важливими є два напрями задачі: техніка пошуку і критерій його закінчення. Критерій зупинки може бути заснований на значенні відстані від проби до блоку або до точки, вміст в якій має бути визначений. У найбільш складних програмах розрахунку зважених середніх пошук точок навколо блоку ведеться за допомогою кута 45° на площині або конуса в просторі, щоб забезпечити відносну показність усіх напрямів, перш ніж знайти перші N сусідів. Це дозволяє уникнути ефекту, пов'язаного із скупченням проб в одних напрямках і відсутністю їх в інших.

Цей крок є, проте, зайвим при крайгінгу, оскільки за наявності скупчень точок введення коваріацій проб дозволяє автоматично врахувати вплив складових кластера, ліквідовуючи його «надпоказність». За допомогою крайгінгу розподіляються ваги між найближчими пробами, якщо не забезпечена постійна щільність випробування.

Щільність мережі не має особливого значення. Але це ще нічого не говорить про те, наскільки багато проб потрібно розглянути. Будь-який метод крайгінгу не вказує на число проб, яке потрібно при оцінюванні вмісту в цьому блоці. З теоретичних позицій мають бути використані усі наявні проби. Проте ясно, що далеко розташовані проби представляють малий інтерес. Крім того, витрати на розв'язання системи лінійних рівнянь, кількість яких дорівнює N , пропорційні N^3 . Тому очевидно, що не слід брати надто багато проб. Наприклад, розгляд шістнадцяти точок замість дванадцяти збільшує час обчислень приблизно в три рази, а шістнадцяти проб – у вісім разів.

Вважається, що проба, віддалена від блоку в заданому напрямі більш ніж на інтервал впливу (якщо він існує), має нульову вагу і її шкідливо використати. Як приклад зробимо оцінку розвідувальної мережі Скелеватського родовища залізистих кварцитів, що розробляється кар'єром ПівдГЗКа. Випробування Скелеватського родовища впродовж тривалого часу ведеться

двома способами. Детальна розвідка ведеться шляхом випробування шламу свердловин, розташованих в нерегулярному порядку з інтервалом від п'ятидесяти до двохсот метрів. Експлуатаційна розвідка ведеться шляхом випробування підірваної маси точковим методом. При однорідних рудах в одну пробу відбираються шматочки з ділянки завдовжки близько п'ятдесят метрів (у напрямі, паралельному укосу уступу) і з шириною, що визначається розмірами блоку, що підривається. При різномірному складі руд кожен різновид кварцитів випробується окремо. Вага проби близько тридцять кг.

Дані для оцінки були відібрані по маркшейдерській осі 77 по простяганню у бік основного напрямку посування гірських робіт. Шляхом порівняння виберемо найкращий спосіб оцінки, що відповідає реальним умовам залізородних родовищ Кривбасу. На початку оцінимо залежність закономірної складової мінливості від інтервалу випробування, а потім знайдемо коефіцієнти автокореляції при різних інтервалах випробування.

З рис. 1, 2 видно, що найменша критична відстань геологічного розвідування для магнетитового заліза для Скелеватського родовища складає шістьсот метрів і для магнетитового заліза, і для заліза загального. Висновок який звідси випливає, говорить, що характеристики геологічної мережі відповідають вимогам, що пред'являються до них.

З рис. 3, 4 видно, що коефіцієнт автокореляції дає неоднозначні результати. Це відбувається тому, що цей коефіцієнт за своєю суттю оцінює в тій чи іншій мірі відхилення від середнього по вибірці значення. Таким чином, для того, щоб якісно оцінити родовище з нелінійним характером мінливості показників, необхідно з великою точністю підібрати об'єм і інтервал вибірки, а також згладити початкові дані, що дуже трудомістко, і не завжди можливо. У даному ж випадку графіки мають вигляд синусоїди із зростаючою амплітудою. Відхилення показників, що стоять поруч, від середнього також змінюються згідно із законом, близьким до синусоїдального, тому можна сказати, що на родовищі дійсно присутня синусоїдальна складова в розміщенні

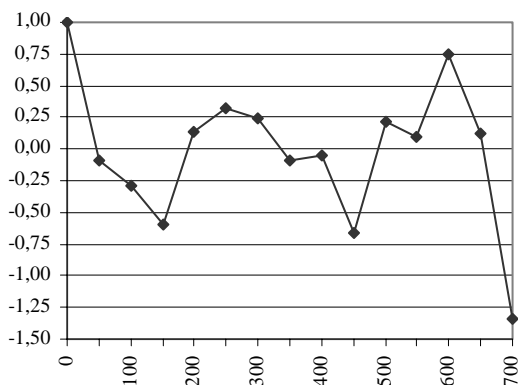


Рис. 3. Залежність коефіцієнта автокореляції вмісту магнетитового заліза гор. 165-180 від інтервалу випробування

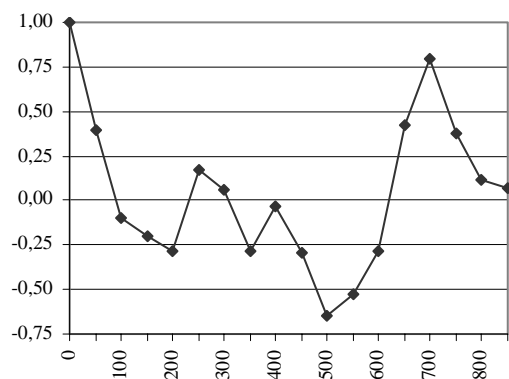


Рис. 4. Залежність коефіцієнта автокореляції вмісту загального заліза гор. 165-180 від інтервалу випробування

показників, а коефіцієнт автокореляції не цілком прийнятний для оцінки розвідувальної мережі залізородних родовищ Кривбасу.

Якщо вплив проб, що виходять за межі критичного інтервалу розвідки несуттєвий, але всетаки не дорівнює нулю, то підсумовування їх незначних вагів може іноді викликати помітну зміну оцінки вмісту. Тому перш ніж знаходити ваги для кожної з наявних проб, можна спробувати об'єднати усі проби, які віддалені від блоку, застосувавши оцінку типу

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n-1} a_i Z(X_i) + a_n \bar{X}, \quad (1)$$

де \bar{X} — середнє по усіх наявних пробах.

Введення середнього вмісту призводитиме до тієї ж самої системи рівнянь крайгінгу. Єдина турбота пов'язана зі знаходженням коефіцієнтів s_{in} , s_{un} і s_{nn} , причому необхідно пам'ятати, що в n -му рівнянні системи замість вмісту в одиничній точці фігурує середній вміст \bar{X} по усіх пробах. Проте цей шлях зазвичай не використовується на практиці. Частіше розглядають усі проби, що лежать у середині площі, радіус якої дорівнює інтервалу впливу вариограми. Кількість проб при цьому зазвичай буває менше тридцяти. Важливіше значення задача, як знайти безліч найближчих для цього блоку проб.

Звичайно, в загальному випадку неможливо розглядати усю безліч точок з урахуванням їх відстаней до кожного блоку. Хороше рішення полягає в

тому, щоб спочатку розсортувати усі проби напрямів x, y, z залежно від порядку, в якому оцінюватимуться блоки. Це впорядкування, доповнене введенням максимально допустимої відстані, дозволяє обмежити операції з початковими даними. Коли задану кількість блоків оцінено, розгляд припиняється.

Визначення розмірів оцінюваних блоків можна поставити як завдання детального оцінювання, виділяючи блоки найменших можливих розмірів. Але ця тенденція, крім того, що призводить до непотрібного дорожчання робіт, дає також і результати, що розчаровують. Виявляється, що невеликі близько розташовані блоки характеризуються дуже схожими оцінками. Потрібно пам'ятати, що у міру того як розміри блоків зменшуються, помилки оцінювання збільшуються. Так, скорочення лінійних розмірів блоків удвічі призводить до росту кількості блоків, що підлягають оцінці і, ймовірно, числа систем лінійних рівнянь, які необхідно вирішити, у вісім разів. В якості робочого правила можна прийняти, що мінімальний розмір блоку повинен складати не менше чверті середнього інтервалу бурової мережі. Наприклад, блоки повинні мати сторону п'ятдесят метрів при кроці бурової мережі двісті метрів, або сторона двісті метрів при кроці вісімсот метрів.

При відкритій розробці інформацію часто отримують на основі борозенних і точкових проб, що відбираються на окремих сторонах блоків, і на основі свердловин колонкового буріння, розташованих усередині блоків.

Можна стверджувати, що оцінка Z^* вмісту у блоці виходитиме на основі середнього вмісту, що визначається по керновим пробах, узятих усередині блоку, і середнього по борозенних пробах. Позначимо цей середній вміст як X і Y відповідно. Тоді

$$Z^* = a_1 X + (1 - a_1) Y. \quad (2)$$

Система рівнянь крайгінгу в цьому випадку має вигляд

$$\begin{cases} a_1 s_1^2 + a_2 s_{12} + m = s_{01}; \\ a_1 s_{12} + a_2 s_2^2 + m = s_{02}; \\ a_1 + a_2 = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Величина s_1^2 є дисперсією середнього вмісту в кернових пробах усередині родовища, s_2^2 – дисперсією середнього вмісту у борозенних пробах, s_{12} – коваріацію цього середнього вмісту, яка є окремим різновидом коваріації блоків. Величини s_{01} та s_{02} є коваріаціями блоків і колонкових свердловин і блоків і борозенних проб відповідно.

Часто родовище характеризується керновими і валовими пробами.

Якість проб різних типів сильно розрізняється. Валові проби надають значно більше інформації. Але зона впливу цих проб не співпадає із зоною впливу кернових проб, і застосування звичайного крайгінгу на основі інформації обох типів може обійтися занадто дорого. Кернові проби розглядаються в якості точкових. Валові ж проби за точкові прийматися не можуть. Трудомісткість знаходження коваріацій проб один з одним і з блоками може бути серйозною перешкодою для проведення оцінювання.

В цьому випадку можна отримати оцінку вмісту в кожному блоці, враховуючи тільки вміст у кернових пробах. Потім можна повторити оцінювання, використовуючи експериментальну вариограму, побудовану тільки для валових проб, і знайти значення оцінки Y . В результаті для кожного блоку ми матимемо в розпорядженні дві оцінки, кожна з яких характеризується своєю дисперсією.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Показано розв'язання актуальної наукової задачі. Виходячи з того, що на залізрудних родовищах Кривбасу детальне геологічне розвідування найчастіше проводиться за неоднорідною мережею свердловин, спосіб крайгінгу є найприйнятнішим при оцінюванні вірогідності вихідних геологічних даних. Встановлено, що оцінку розвідувальної мережі доцільно робити на основі методу послідовних різниць показника, а оцінку вмісту корисного компонента прийнятніше робити шляхом побудови вариограми на основі методів крайгінгу.

Список літератури

1. Букринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
2. Гудков В.М. Сравнение распределения пространственных переменных. // Маркшейдерский вестник, 1997. –

№ 1. – С. 8-11.

3. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
4. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. – М., – 1974. – 481 с.
5. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Книга 1. – М.: Недра. – 1990. – 246 с.
6. Калинин В.М. Многомерная геометрия форм и качественных свойств месторождений // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. – 1979. – вып. 6. – с. 99-105.
7. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
8. Крамбейн У., Кауфман М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов – М.: Мир. – 1973. – 150 с.
9. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
10. Миллер Р.Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир. – 1965. – 482 с.
11. Низгурецкий З.Д. К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99–113.
12. Низгурецкий З.Д. Использование элементов теории случайных функций для оценки точности определения содержания полезного компонента и мощности залежи при геометризации. – Тр. ВНИМИ. – Т. 40. – 1963. – С. 292-311.
13. 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.
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. Marechal A., Serra J. Random kriging // In: D.F. Merriam (Editor), Geostatistics. A Colloquium. Plenum Press, New York. 1970. P. 91-112.
16. Matheron G. Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
17. Matheron G. The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

Рукопис подано до редакції 18.03.2020

УДК 624.153.524

Р.О.ТІМЧЕНКО, д-р техн.наук, проф., Д.А. КРІШКО, канд.техн.наук, ст. викл.,
І.В.ХОРУЖЕНКО, аспірантка
Криворізький національний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДЧАСТИХ ФУНДАМЕНТІВ ПРІ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ ОСНОВИ

Мета. Математичне моделювання за допомогою програмних комплексів на основі методу кінцевих елементів (МКЕ) дозволяє в повному обсязі вирішувати складні інженерні задачі, досліджувати процеси та явища, аналізувати і прогнозувати роботу досліджуваної системи, мати змогу адекватно порівнювати роботу моделі та натурального процесу, явища тощо. Метою було проаналізувати значення та характер осідань фундаментних конструкцій, а також дослідження напружено-деформованого стану основи, аналіз перерозподілу напружень під подошвою фундаменту за умов виникнення нерівномірних деформацій основи.

Методи дослідження. Для виконання дослідження необхідно досконало володіти інструментами спеціалізованих програмних комплексів, що використовують в своїх алгоритмах метод кінцевих елементів. Завдяки аналітичним методам ми маємо змогу дослідити роботу фундаменту при математичному моделюванні, проаналізувати результати та зробити висновки для подальших досліджень.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментних конструкцій двох типів при нерівномірних деформаціях основи.

Практична значимість. Дослідження дають змогу оцінити роботу структурних фундаментів різного конструктивного рішення, математичне моделювання дозволяє всесторонньо проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

Результати. Було виконано математичне моделювання в програмному комплексі Ліра-САПР двох типів фундаментів в об'ємній постановці. В результаті було встановлено, що поле осідань більш рівномірне для альтернативної фундаментної системи в об'ємній картині вертикальних переміщень. Дві крайні складки прототипної конструкції фундаменту мають менші межі значень вертикальних переміщень. При моделюванні нерівномірних деформацій основи аналогічно було доведено переваги альтернативної моделі фундаменту. Загальний принцип розподілення вертикальних напружень узгоджується із місцями найбільших зовнішніх сил, при цьому дана фундаментна система не дозволяє перерозподілити напруження рівномірно під кожною із складок. Якщо порівнювати числову складову нормальних напружень, що виникли в тілі ґрунту основи, то абсолютні максимальні значення нормальних вертикальних напружень N_z в площині XOZ було отримано для прототипної моделі фундаменту на рівні $1,56 \text{ т/м}^2$, в той час як для альтернативної конструкції фундаменту це значення склало $1,42 \text{ т/м}^2$.

Ключові слова: складчастий фундамент, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан

© Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В., 2020