

ням взаємодіючими комбінованими різнотипними свердловинними зарядами виключно важливого значення набуває кут нахилу укосу уступу.

2. В кристалічних породах з вираженою системною тріщинуватістю при проектуванні БВР необхідно враховувати акустичну анізотропію середовища, що забезпечує додаткові можливості регулювання гранулометричного складу підірваної гірничої маси й більш раціонального і повного використання енергії ВР.

3. Виконані експериментальні дослідження швидкості й поведінки вибухових пружних хвиль в гірських породах кар'єру «Північний» ГЗК «Укрмеханобр», а також широкі лабораторні дослідження властивостей гірських порід в межах їх міцності $f=6-14$, підтвердили робочу гіпотезу про значимість хвильової частки в загальному виділенні енергії вибуху, а відтак і можливість й ефективність створення умов для симетричної дії вибуху за умови формування вертикальних укосів уступів.

4. На основі теоретичних досліджень уперше запропоновано новий порядок вибухового навантаження породного блоку, з випереджаючим послідовним підриванням зарядів ВР у парних (рахуючи від укосу) рядах, чим створюється відбиваюча хвиля щілина – майбутній вертикальний укіс уступу, й знеміцнюється прилеглий масив, з наступним підриванням через уповільнення зарядів рихлення в непарних рядах у бік укосу уступу.

5. Розрахунки для різних умов падіння поверхонь ослаблень порід щодо виробленого простору виконано за допомогою імітаційного моделювання, на підставі чого отримано аналітичні залежності максимальної висоти вертикального укосу та коефіцієнта запасу стійкості (КЗС) від кута падіння поверхонь ослаблення.

Список літератури

1. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. - М.: Недра, 1983. - 344 с.
2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
3. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
4. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
5. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. - М.: Недра, 1993. - 144 с.
6. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - Київ: МПТУ. -2008.- 702с.
7. Открытые горные работы: Спр. / К.Н.Трубецкой, М.Г. Потапов, Н.Н. Мельников и др. - М.: Горное бюро, 1994. - 590 с.
8. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. - М.: Издательство МГТУ, 2003. - 473с.
9. Попов В.Н., Байков Б.Н. Технология отстройки бортов карьеров. - М., Недра, 1991. - 250 с.
10. Зотеев В.Г. Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах: Сб. науч. тр. - Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987.- №83.- С. 8-15.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір. МСП 03680 / В.О. Півень, Д.М. Шпирок, О.В. Романенко, Є.Я. Бехлер, С.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко. - № 18720; Заявл. 03.10.06; Зареєстр. 22.11.06.
12. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Недра, 1965. - 378 с.

Рукопис подано до редакції 20.04.2018

УДК 622.14

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.А. ПОДОЙНИЦЫНА, ст. преп., Криворожский национальный университет

ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ И ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Цель. В статье рассматривается вопрос о применимости статистической теории информации для задач геометризации месторождений. Целью работы является описание закономерности размещения важнейших качественных показателей в пространстве с тем, чтобы спрогнозировать их изменение в процессе развития горных работ. Важнейшим аспектом геометризации является горно-геометрическое прогнозирование качественных показателей и решение заданных перспективного и текущего планирования для максимально эффективной работы горнодобывающего предприятия в режиме усреднения качества руды и рационального освоения месторождения.

Методы исследования. Данные исследования базируются на концепции проф. П.К.Соболевского о геометри-

Здесь $f(x, p)$ – закономерная составляющая пространственно-факторного поля. Случайная составляющая $\varphi_I(x, p)$ оценивает дисперсию модели. Оператор F определяет вид взаимодействия f и φ .

В основу анализа свойств отдельных полей и их систем положен горно-геометрический анализ, математические действия с топофункциями и кибернетические исследования.

Постановка задачи. Информационный подход к определению геологического строения для задачи разведанности может быть представлен структурной формулой вида

$$V_j = \rho_j J_j, \quad (2)$$

где V_j – изменчивость j -го фактора; J_j – информативность j -го фактора;

$$J_i = \sum_{q=1}^{q=n} P_q \log_2 P_q, \quad (3)$$

где P_q – интегральные частоты сгруппированных данных j -го фактора; q – количество интервалов группирования, ρ_j – коэффициент изменчивости j -го фактора;

$$\rho_j = \frac{\sigma}{x} \times 100\%, \quad (4)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, ρ_i – коэффициент изменчивости j -го фактора;

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (5)$$

где \bar{x} – среднее значение фактора в ячейке.

Интегральный показатель изменчивости V по совокупности факторов определяется для геологоразведочной ячейки

$$V_j = \sum_{j=1}^{j=k} V_i = \sum_{j=1}^{j=k} \rho_j J_j, \quad (6)$$

где k – количество геологических факторов.

Модель изменчивости выражается топофункцией вида

$$V = f(x, y, z). \quad (7)$$

Данная топофункция имеет скалярный вид, производится ее дифференцирование и она приводится к векторно-топографической поверхности

$$q_v = \frac{\Delta P}{\Delta l}, \quad (8)$$

где ΔP – сечение изолиний; Δl – расстояние между соседними профилями по направлению градиента.

Изложение материала и результаты. Для дифференцирования изменчивости в точках, расположенных на плане по определенной сети, подсчитываются значения главных градиентов и по ним проводят изоградиенты, которые являются производными данной поверхности. Изоградиентные поверхности строятся по разнице фиксированного времени и позволяют находить любые значения в этом интервале и делать графическое прогнозирование на определенном отрезке времени и решать задачи, связанные с прогнозом образования запасов полезных ископаемых.

Геостатистический анализ показателей производится с целью установления зависимостей между: параметрами разведочной сети и изменчивостью; параметрами разведочной сети и погрешностью определения полезной мощности; параметрами разведочной сети, изменчивостью и погрешностью определения полезной мощности месторождения, т.е. построение номограмм.

Построение горно-геометрических планов значимых показателей производится непосредственным способом (традиционными методами).

При необходимости вычисляются коэффициенты изменчивости показателей и оценивается точность построения планов. Если точность модели соответствует предъявляемым требованиям, то на планах изолиний изображается их информативность и определяется коэффициент ρ . Далее по формуле (2) вычисляется сложность каждого значимого показателя.

Общая модель изменчивости строится по формуле (6), также традиционным способом.

Далее устанавливается зависимость между параметрами сети (β) и погрешностью определения мощности полезной толщи путем сравнения количества запасов, получаемых при разрезанных сетях и количеством запасов, подсчитанных по данным отработки.

Эта погрешность определяется как среднеквадратическое отклонение поверхностей изомощностей, построенных при экспериментальных параметрах разведочных сетей, от «истинной» поверхности, построенной по данным отработки по формуле

$$m_{n.m.} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}, \quad (9)$$

где $\sum \Delta^2$ – сумма квадратов отклонений значений от «истинной» поверхности; n – количество точек, в которых определены отклонения.

Связь между изменчивостью и погрешностью определения запасов производится путем сравнения количества запасов, полученных при разреженных сетях (100×300, 150×450, 200×600, 250×750) и количеством запасов, подсчитанных по данным отработки.

Прогнозирование запасов полезных ископаемых основано на построении векторно-градиентных полей мощностей полезной толщи на время определения запасов, время отработки запасов и время накопления запасов. Этот процесс позволит установить закономерности накопления запасов и тем самым управлять ими при разведке и разработке месторождений.

Эти исходные положения по дифференцированию полей, определению градиента поля, известные в общей строгой математической теории поля, позволяют с новых позиций подойти к построению геометрического образа изменчивости строения месторождения и решать задачи разведки и разработки.

Анализ исследований и публикаций. В качестве примера приведем методику управления качеством отгружаемых руд на обогатительные фабрики ОАО «ЮГОК». Она включает в себя следующие, приведенные ниже основные виды работ и организационно-технические мероприятия.

1. Получение исходных данных по качеству руд: опробование взорванной горной массы и забоев карьера для текущего планирования. Годовой объем опробования 400-500 проб. Этому виду опробования предшествует выделение, привязка (оконтуривание) и документация технологических разновидностей руд по всему фронту работ экскаваторов. Этот вид работ выполняет геологическая служба рудника; опробование сливов классификаторов. Отбор проб по секциям выполняет через 2 часа ОТК комбината. Периодическое контрольное опробование сливов классификаторов геологическими службами рудника и управления комбината.

2. Планирование качественных показателей: составление годовых программ развития горных работ с учетом обеспечения фабрик рудой планового качества, а также усреднения руд по технологическим типам, обоснованное математической статистикой. Выполняет технический отдел комбината, рудника, геологическая и маркшейдерская службы; планирование объемов и качества добываемой руды на месяц согласно годовой программы. Этот вид работ выполняет технический отдел, геологическая и маркшейдерская службы рудника; составление недельно-суточных графиков работы экскаваторов по данным эксплуатационной разведки и опробования взорванной массы. Поскольку фактическое суточное и сменной продвижение экскаваторов расходится с плановым, составляются также сменные заявки, которые корректируют недельно-суточный график на основе положения экскаваторов и качественной характеристики их забоев на начало каждой смены. Выполняют производственный и геологический отделы рудника.

3. Анализ выполнения качественных показателей, подразделяющиеся на: ежемесячные и ежеквартальные анализы работы предприятия на совещаниях при генеральном директоре (главном инженере) комбината; анализ выполнения плановых показателей добычи руды на ежедневных освещениях проводимых главным инженером (директором) комбината.

4. Оперативный контроль качества отгружаемой руды, состоящий из: контроля выполнения недельно-суточных графиков подачи руды на фабрики. Этот вид работ осуществляет производственный отдел и геологическая служба комбината; контрольного опробования фабрик и забоев карьера, выполняющегося совместно геологической службой и ОТК комбината; контроля работы экскаваторов в сложных забоях (геологическая служба рудника).

Постановка задачи. Видно, что основой для полноценного управления качеством руды, отгружаемой на РОФ, для рационального освоения месторождения, является знание характера размещения качественных показателей месторождения. Эксплуатационная разведка ведется только на основе опробования взорванной массы, и, следовательно, не способна уточнить данные детальной разведки с целью выявления характера размещения качественных показателей

на еще не обработанных участках. Все это требует использования специальной методики прогнозирования.

Изложение материала и результаты. Предложенный по результатам исследований горно-геометрический метод прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений был проведен с последующим его использованием на карьере ОАО «ЮГОК».

Эксперимент проводился в пределах осей 80 – 108 по простиранию и 89 – 109 в крест простирания горизонтов – 165 – 180 м, – 180 – 195 м и – 195 – 210 м, что соответствует геологическому участку 1. Геологический участок 1 расположен в северо-восточной части месторождения, его южной границей является зона окисления пород. В структурном отношении он представляет собой восточное крыло синклинали структуры залежи. 1-й участок ограничен с востока Тарапаковским разломом, а западная его граница совпадает с границей месторождения.

Участок характеризуется выдержанным залеганием пород, слабым развитием складчатых нарушений. Породы падают в северо-северо-восточном направлении под углом 10-30°, т.е. согласно с общим погружением структуры месторождения.

В южной части участка, т.е. при переходе кварцитов четвертого железистого горизонта в сланцы четвертого сланцевого горизонта проявляется ряд открытых складок, размеры и положение кою отчетливо проявляется на карте месторождения чередующихся выходов сланцев (антиклинали) и кварцитов (синклинали).

Исходная геологическая информация была получена с погоризонтных планов горных работ масштаба 1:1000. Эксплуатационная разведка велась по опробованию взорванной массы. При этом использовались участки опробования неправильной формы и различных размеров. Размеры участков в поперечнике колебались от 20 до 50 метров. В качестве аргументов используемых для прогнозирования были взяты содержания железа общего и железа, связанного с магнетитом по скважинам детальной разведки, а также плано-высотные координаты центров участков опробования. Скважины детальной разведки также пробурены по нерегулярной сети опробования. Межскважинные расстояния составляют от 50 до 200 метров. С помощью крайгинга были построены изолинии содержаний $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} в межскважинном пространстве. Также в центре каждого участка опробования по взорванной массе было определено значение $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} , исходя из имеющейся электронной модели изолиний. Все полученные значения были сведены в электронные таблицы, что стало основой для построения прогнозной функции. При этом на каждом этапе построения прогнозной функции степень доверия вычисленным по ней результатам была пропорциональна обратному расстоянию от центра участка опробования по взорванной массе до ближайшей скважины детальной разведки, так как чем больше это расстояние, тем больше ошибка интерполирования. Таким образом, результаты построения функции, имеющие большую точность, имели больший приоритет при оценивании качества построенной прогнозной функции.

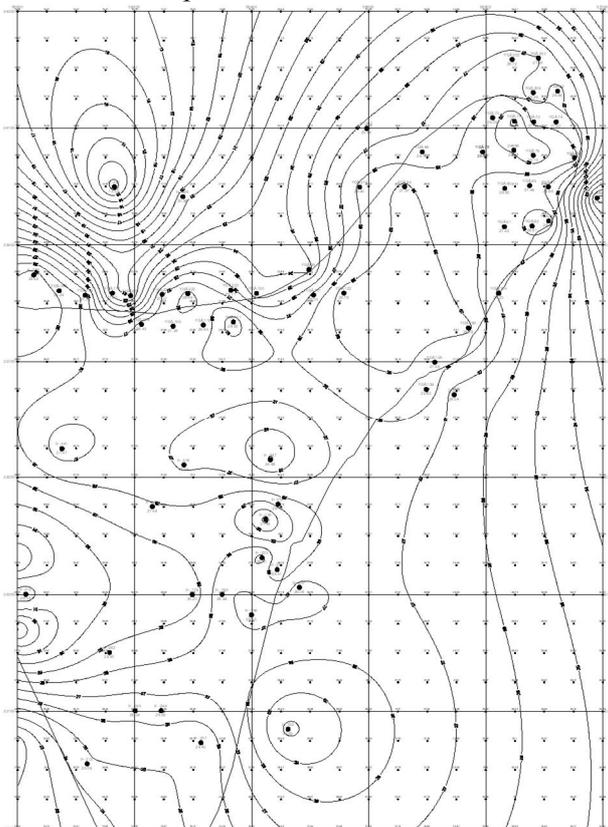


Рис. 1. План изолиний прогнозного содержания магнетитового железа гор. – 180 – 195 м карьера ЮГОКа

На базовой совокупности исходных данных были определены зависимости содержания Fe_{mt} во взорванной массе от содержаний $Fe_{общ}$ и Fe_{mt} , определенных по скважинам детальной разведки, и от плано-высотных координат точек. Затем были получены уравнения прогнозных функций.

Как видно из найденных зависимостей, имеет место зависимость соде-

ржания железа, связанного с магнетитом во взорванной массе от содержания железа, связанного с магнетитом по данным опробования скважин детальной разведки, так как из всех аргументов значимые числовые коэффициенты были определены только для этой величины. Наличие двух функциональных зависимостей говорит о том, что в процессе вычислений на рассмотренном участке были выделены два типа руд, имеющих различные свойства.

Были произведены нахождение и группировка участков, соответствующих по своим свойствам этим зависимостям на моделируемой совокупности данных. При этом данные содержания по скважинам детальной разведки были проинтерполированы на узлы квадратной сетки 50×50 метров. Интерполирование производилось по процедуре крайгинга. В узлах квадратной сетки были найдены прогнозные значения содержания железа, связанного с магнетитом во взорванной массе. По процедуре крайгинга эти значения были проинтерполированы, что явилось основой для перспективного планирования. На основе интерполирования были построены планы изолиний прогнозного содержания магнетитового железа в масштабе 1:2000. Высота сечения была принята исходя из масштаба плана, сложности гипсометрии, изменчивости показателя, требований технологии и составила 0,5% содержания. Получение прогнозных данных для текущего планирования производилось методом уточнения полученной электронной модели согласно данным эксплуатационной разведки в точках, пространственное положение которых определялось, исходя из производственных нужд, и имело нерегулярный характер.

Относительная погрешность прогноза значения содержания железа, связанного с магнетитом во взорванной массе по разработанному способу для нужд перспективного планирования не превышает 6,8 %.

Положительные результаты прогноза на рассмотренном участке послужили основой для использования разработанных методов на других участках карьера ОАО «ЮГОК».

Технико-экономической оценкой установлено, что, в результате повышения точности прогнозов, необходимых для перспективного и текущего планирования, коэффициент потерь руды на рассматриваемых участках месторождения в среднем снизился на 0,03%. Также коэффициент засорения руды в среднем снизился на 0,03.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании разработанных теоретических принципов многомерной геометризации доказана возможность улучшения эффективности прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений, и рационализации их освоения. Высокая эффективность прогнозирования может быть обеспечена использованием в качестве модели месторождения многомерного случайного геохимического поля, математически реализованной с помощью многомерного эвристического алгоритма прогнозирования.

Список литературы

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. Геоэкономические 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 геометризация 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.

Рукопись поступила в редакцию 11.04.2018