

9. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что разработка эффективных способов проходки восстающих за один прием взрывания, обоснование рациональных технологических параметров такой проходки, создание для данного вида проходческих работ оптимальной технологии отделения породы от массива и технических средств для ее осуществления является одним из актуальных и перспективных направлений в развитии технического прогресса при подготовке блоков к очистной выемке на подземных горнорудных предприятиях Кривбасса.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении более детального определения характера взаимного расположения компенсационной полости и взрывных скважин в пределах проектного контура проводимой восстающей выработки.

#### *Список литературы*

1. **Чирков Ю.И., Черненко А.Р.** Подземная разработка мощных железорудных месторождений. - М., Недра, 1985. - 239 с.
2. **Барон Л.И., Овчинников М.И.** Механизация проходки восстающих. - М., Недра, 1973.-192 с.
3. **Соловьянов Л.Н.** Промышленный опыт проходки восстающих машинным способом. Тр. НИГРИ, 1957, том 1, с.287-305.
4. **Алексеев Г.М., Кунин И.К., Воюта Л.Ф.** Перспективы развития техники и технологии проходки восстающих выработок. Горный журнал, 1979, №8, с.31-33.
5. **Шнайдер М.Ф.** Образование восстающих взрыванием скважинных зарядов. Горный журнал, №6,1982, С. 36-37. Рукопись поступила в редакцию 3.03.13.

УДК 622.1: 622.216

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

### **ИСХОДНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Рассмотрены проблемы оценивания исходной геологической информации при прогнозировании основных показателей месторождений полезных ископаемых и даны рекомендации по повышению ее достоверности.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Увеличение стоимости добычи железных руд, в связи с повышением глубины их разработки, требует применения комплекса высокопроизводительного добычного и перерабатывающего оборудования, формирования качества полезного ископаемого при его добыче для уменьшения объемов работ по усреднению, повышения полноты извлечения из недр и комплексного использования полезного ископаемого.

Решить эту задачу можно только основываясь на понимании характера пространственного размещения полезного компонента в пределах разрабатываемого месторождения. В связи с дороговизной и, порой, невозможностью дополнительной разведки возникает необходимость в разработке математических моделей, позволяющих описывать сложные многофакторные зависимости, имеющие место при исследовании характера размещения полезного компонента в метаморфических месторождениях Кривбасса. Успешное решение этой задачи непосредственно связано с достоверностью геологической информации, получаемой при изучении месторождений в процессе их разведки, которая не всегда адекватно отражает объект исследований.

**Анализ исследований и публикаций.** Иногда рассматриваются нерегулярные буровые сети, имеющие, однако, «равномерную плотность» - внутри каждой ячейки случайно размещена скважина. В этом случае по определению дисперсия оценивания содержаний в ячейках сети по содержаниям в случайных скважинах внутри ячеек есть величина, которую мы называем «дисперсией точки в ячейке» и обозначаем как  $\sigma^2(0|B)$ , где  $B$  - ячейка. Для быстрой прикидки без сложных вычислений будем иметь в виду, что эта дисперсия является  $F(B)$  - функцией и что линейный эквивалент  $l$  ячейки сети представляет собой ее диагональ. Тогда  $F(B) = F(l) = Al/3$ , если  $A$  - угол наклона вариограммы. При общем оценивании рудного тела в качестве оценки среднего содержания используем среднее арифметическое по  $N$  имеющимся пробам. Тогда дисперсия оценивания равна  $\sigma^2(0|B)/N$ .

Когда невозможно построить сеть, на каждую ячейку которой приходится одна скважина, возникает задача подбора весовых коэффициентов для содержаний в каждой скважине. Чаще всего наиболее высокая плотность бурения характерна для площадей с повышенными содержаниями полезных компонентов. Если просто осреднять содержания по всем скважинам, то это приведет к систематическому завышению запасов. Простой путь для получения несмещенных оценок среднего содержания по месторождению заключается в рассмотрении только тех проб, которые образуют сеть с равномерной плотностью. Разрежение сети не позволяет, однако, полностью использовать имеющуюся информацию. Таким образом, получение наилучшей оценки среднего содержания упирается в проблему оптимального взвешивания имеющихся данных. Эта проблема называется проблемой крайгинга и состоит в следующем.

**Постановка задачи.** Рассматривая блок  $V$ , имеющий точное неизвестное содержание  $Z(V)$ , и множество проб с известными содержаниями  $Z(x_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , необходимо найти такое множество весовых коэффициентов  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , благодаря которым среднее взвешенное

$$Z^* = \sum_{i=1}^n a_i Z(x_i)$$

является наилучшей оценкой содержания  $Z(V)$ . «Наилучшее» может быть определено многими путями. Естественный путь определения качества оценочной процедуры заключается в нахождении дисперсии ошибок, которые при этом совершаются. Дисперсия оценивания содержания  $Z(V)$  посредством  $Z^*$  равна

$$\sigma_e^2 = \sigma_V^2 - 2 \sum_{i=1}^n a_i \sigma_{VX_i} + \sum_i \sum_j a_i a_j x_i x_j, \quad (1)$$

где  $\sigma_V^2$  обозначает  $\text{var}[Z(V)]$  - дисперсию содержаний в блоках, подобных изучаемому блоку  $V$ ; обозначает  $\text{cov}[Z(V), Z(X_i)]$  - ковариацию содержаний в блоке  $V$  и пробе  $X_i$ ,  $\sigma_{X_i X_j}$  обозначает  $\text{cov}[Z(X_i), Z(X_j)]$  - ковариацию содержаний в пробах  $X_i$  и  $X_j$ .

Так как все эти величины  $\sigma$  могут быть найдены на основе вариограммы, становится возможным минимизировать  $\sigma_e^2$ , варьируя значения коэффициентов  $a_i$ , чтобы найти то взвешенное среднее, которое имеет наименьшую дисперсию погрешностей. Это составляет основу развиваемых представлений.

**Изложение материала и результаты.** Итак, определим в качестве лучшей такую линейную оценку, которая имеет наименьшую дисперсию. Этого, однако, недостаточно. Требуется также, чтобы в среднем значения, которые надо найти, были равны реальному значению, т. е. не приводили к систематическому его завышению или занижению. Это - условие несмещенности. Несмещенность означает, что должно иметь место соотношение  $E(Z^*) = m$ , а это в свою очередь требует, чтобы  $E[\sum_i a_i Z(x_i)] = m$  или  $a_i E[\sum_i a_i Z(X_i)] = m$ . Так как  $E[Z(X_i)] = m$ , то должно быть  $\sum_i a_i = 1$ . Оба условия и определяют лучшую линейную несмещенную оценку.

Необходимо найти такие веса  $a_i$ , которые минимизируют дисперсию оценивания  $\sigma_e^2$  при условии, что  $\sum_i a_i = 1$ .

Условием минимума функции  $Q$ , зависящей от переменных  $a_i$ , как известно, является равенство нулю всех частных производных по  $a_i$ . Когда имеются дополнительные ограничения в виде  $C = 0$ , необходимо минимизировать функцию  $F = Q + 2\mu C$ , где  $\mu$  - новое неизвестное (множитель Лагранжа). В нашем случае надо найти производные функции

$$F = \sigma_e^2 + 2\mu \left( \sum_i a_i - 1 \right)$$

по всем неизвестным  $a_i$  и  $\mu$  и приравнять их нулю. Более детально

$$F = \sigma_V^2 - 2 \sum_{i=1}^n a_i \sigma_{VX_i} + \sum_i \sum_j a_i a_j x_i x_j + 2\mu \left( \sum_i a_i - 1 \right)$$

и частные производные

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_i} \equiv -2\sigma_{VX_i}^2 + 2\sum_{j=1}^n a_j \sigma_{X_i X_j} + 2\mu = 0, i = 1, \dots, n; \\ \frac{\partial F}{\partial a_i} \equiv \sum_i a_i - 1 = 0. \end{cases}$$

Это система  $n + 1$  линейных уравнений с  $n + 1$  неизвестными  $a_i$  и  $\mu$ . Ее можно записать в стандартной форме

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_j \sigma_{X_i X_j} + \mu = 0, i = 1, \dots, n; \\ \sum_j a_j = 1. \end{cases} \quad (2)$$

или в матричном виде

$$\Sigma A = D,$$

где  $\Sigma$ ,  $A$  и  $D$  определяются соотношениями ( $\sigma_{ij} \equiv \sigma_{X_i X_j}$ ):

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} & 1 \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} \sigma_{VX_1} \\ \sigma_{VX_2} \\ \dots \\ \sigma_{VX_n} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Заметим, что  $\Sigma$  - симметричная матрица, определяемая только по известным данным, в то время как матрица  $D$  определяется неизвестными свойствами блоков и проб.

Решение системы уравнений имеет вид  $A = \Sigma^{-1}D$ . Задача разрешима, так как все дисперсии определяются на основе вариограмм.

Точность крайгинга зависит от следующих факторов. Напомним, что неизвестные коэффициенты уравнений крайгинга находят путем минимизации дисперсии оценивания. Следовательно, можно вернуться к исходной формуле и вместо неизвестных весов подставить только что найденные их значения. Можно также извлечь выгоду из следующего упрощения, которое приемлемо и при других вычислениях.

Дисперсия оценивания определяется соотношением

$$\sigma_e^2 = \sigma_V^2 - 2\sum_{i=1}^n a_i \sigma_{VX_i} + \sum_i \sum_j a_i a_j x_i x_j.$$

Значение  $\sum_i \sum_j a_i a_j x_i x_j$ , где  $a_i$  - коэффициенты, минимизирующие дисперсию, можно найти следующим образом. В системе крайгинга умножим каждое уравнение

$$\sum_j a_j \sigma_{ij} + \mu = \sigma_{VX_i}$$

на  $a_i$  и сложим эти результаты. В итоге получим выражение

$$\sum_i \sum_j a_i a_j \sigma_{ij} + \mu \sum_i a_i = \sum_i a_i \sigma_{VX_i}.$$

Но так как  $\sum_i a_i = 1$ , это выражение преобразуется к виду

$$\sum_i \sum_j a_i a_j \sigma_{ij} + \mu = \sum_i a_i \sigma_{VX_i}.$$

Ясно, что дисперсия оценивания, называемая теперь дисперсией крайгинга, равна

$$\sigma_K^2 = \sigma_V^2 - \sum_i a_i \sigma_{VX_i} - \mu. \quad (3)$$

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, крайгинг - это универсальный геостатистический способ оценивания данных геологической разведки, на которых базируется любой вид прогноза пространственного размещения геологических показателей месторождения полезных ископаемых. Ввиду того, что на месторождениях Кривбасса детальная геологическая разведка ведется, как правило, с помощью нерегулярной сети скважин, этот метод является наиболее приемлемым для оценки и повышения достоверности исходной геологи-

ческой информации.  
*Список литературы*

1. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
2. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
3. Букринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.13

УДК 622.2.001.622.268.8

Е.П. ЧИСТЯКОВ, канд. техн. наук, А.И. ФЕДОРЕНКО, Д.Е. ЧИСТЯКОВ  
В.И. МОШИНСКИЙ, науч. сотр., НИГРИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## **ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СДВИЖЕНИЯ ПОРОД НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КРИВБАССА**

Выполнен анализ исторически сложившейся горно-технической ситуации в Криворожском железорудном бассейне. Зоны техногенного влияния подземных горных работ подразделены на: площади над полностью отработанными залежами, но с не завершившимся процессом сдвижения, опасным по условию выхода воронок и недопустимых деформаций подработанных охранных объектов; площади действующих карьеров и отвалов наступающие на нарушенные подземными горными работами массив. Определены направления дальнейших исследований.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Разработка руд Криворожского железорудного бассейна насчитывает более ста лет. Первоначально разрабатывались исключительно богатые руды приповерхностных залежей. В настоящее время ведется разработка как богатых руд, так и магнетитовых кварцитов, залегающих в висячем боку залежей богатых руд. Глубина карьеров достигла 400 м, очистные работы по богатым рудам ведутся в интервале глубин 1000-1400 м, практически в условиях совместной разработки. Мощности крутопадающих залежей богатых руд изменяются от первых десятков до ста и более метров. В связи с этим имеют место случаи выхода воронок в бортах действующих карьеров и отвалов пустых пород. Кроме совместной отработки богатых руд и магнетитовых кварцитов предметом геомеханических исследований на территории Кривбасса являются подработываемые подземными работами площади, занятые сооружениями и природными объектами. Протяженность нарушенных горными работами площадей превышает 100 км. Цель исследований - разработка геомеханических основ мер предотвращения катастрофических явлений.

В настоящее время зоны техногенного влияния горных работ подразделяются на: площади над полностью отработанными залежами, но с не завершившимся процессом сдвижения, опасным по условию выхода воронок и недопустимых деформаций подработанных охранных объектов; площади действующих карьеров и отвалов наступающие на нарушенные подземными горными работами массив; совместная открытая и подземная отработка.

Значительная часть селитебной территории Кривого Рога - поселки, транспортные магистрали, газо- и водопроводы, ЛЭП, природные объекты - в результате разработки месторождений Кривбасса оказалась в зонах с незавершившимся процессом сдвижения. До сих пор имеют место случаи выхода воронок над выработанными пространствами отработанных в 20-50-х годах прошлого столетия залежей. На рис. 1 показана воронка, вышедшая 19.08.2010 г севернее Центрального рынка над отработанной в начале 70-х годов залежью.



Рис. 1. Воронка 19.08.2010 г.

Ей предшествовал последовательный выход с севера и юга цепочки воронок по всему простиранию крутопадающей залежи, всплошную отработанной в интервале глубин от 100 до 400 м.

Современная отработка богатых руд осуществляется в интервале глубин 1000-1400 м. В связи со склонением оруденения Саксаганской полосы в северном направлении практически все оставшиеся их запасы отработываются и будут отработываться в «слепом» режиме, т.е. под толщами налегающих пород более 1000 м.

В бортах действующих карьеров и на отвалах, наступающих на нарушенный давно завершёнными подзем-