

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ КОНДИЦИОННЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Ашаев Ю.П., Ашаев С.Ю.

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

Наиболее трудоемкой задачей первичной обработки геологических данных является выделение кондиционных пересечений - пропластков руд и пород согласно кондициям на минеральное сырье. Сложность этой задачи заключается в трудности ее формализации, а результаты ее решения во многом определяют точность и достоверность подсчета вскрышных и добычных объемов при планировании горных работ в условиях действующих карьеров. Решение этой задачи усложняется, во – первых, многовариантностью получаемых результатов в рамках установленных кондиций, во – вторых, постоянным изменением ценовых значений на добываемое минеральное сырье. Таким образом, результаты решений, полученные в различные периоды, могут быть удовлетворительными с точки зрения кондиций, которые довольно статичны во времени, но совершенно не равнозначны с точки зрения их экономических показателей. Выделение пересечений является основой для дальнейшего построения контуров рудных тел и границ между различными категориями балансовых руд, что естественно влияет на выбор технологии разработки месторождения, особенно при текущем планировании горных работ.

Задача выделения кондиционных пересечений математически может быть описана следующей моделью.

$$F (m_j, \alpha_j) \rightarrow \text{opt} \quad (1)$$

$$\text{при } m_i^p \geq m^p \quad (2)$$

$$\alpha_i^l \geq \alpha_n^l \quad (3)$$

$$\alpha_i^q \leq \alpha_n^q \quad (4)$$

$$\alpha^l > \alpha_{nc}^l \quad (5)$$

$$\alpha^q < \alpha_{\text{пор}}^q \quad (6)$$

$$m_i^n > m^n \quad (7)$$

$$j \in 1, J; l \in 1, L; i \in 1, I; q \in 1, Q$$

где m_i^p - мощность i - го рудного пересечения по выработке; m^p - минимальная кондиционная мощность рудных пересечений, включаемых в подсчет запасов; α_i^l - содержание l - го полезного компонента по i - му пересечению (пробе); α_n^l - бортовое содержание l - го полезного компонента; α_i^q - содержание q - ых вредных примесей по i - му пересечению (пробе); α_n^q - максимально допустимое содержание i - ых вредных компонентов по пересечению; α^q - содержание q - ых вредных компонентов в подсчетном блоке (пересечении); $\alpha_{\text{пор}}^q$ - минимально допустимое содержание q - ых вредных компонентов в подсчетном блоке; α_{nc}^l - минимальное промышленное содержание l - го полезного компонента в подсчетном блоке пересечения; α^l - содержание l - го полезного компонента в пробе (пересечении); m_i^n - мощность выделенных породных пересечений по выработке m^n - кондиционная мощность породных пересечений; m_j - мощность j -ой пробы; α_j - содержание соответствующего (вредного или полезного) компонента в j -ой пробе; J - общее количество проб в рассматриваемой выработке; L - общее количество полезных компонентов химического состава

полезного ископаемого; Q – общее количество вредных компонентов; I – общее количество выделенных пересечений по выработке.

Многовариантность решения задачи выделения кондиционных пересечений предопределяет задание определенного режима вычислений, обеспечивающего оптимальное значение выбранного критерия. В качестве такого критерия может быть выбрано одно из следующих условий:

- обеспечение максимальной мощности балансовых руд;
- приоритетное выделение высококачественных руд;
- обеспечение однородности руд различных типов сортов;
- обеспечение максимальной прибыли от комплексной добычи и переработки различных типов сортов руд.

В виду сложности, многовариантности и важности этой задачи она часто решается вручную с привлечением высококвалифицированных геологов. На некоторое время даже утвердилось мнение о невозможности и нецелесообразности решения данной задачи с использованием ЭВМ. Но важность и актуальность заставляют специалистов постоянно возвращаться к этой проблеме в поисках новых подходов. Это обосновывается следующими причинами.

Во - первых, трудоемкость вычислительных операций при геометризации залежей. Даже опытному специалисту не удастся избежать неточностей, которые в результате могут привести к искажению запасов по месторождению, а при календарном планировании горных работ к неоправданным потерям руд вследствие задания некорректных контуров отработки.

Во-вторых, необходимость учета специфических геологических особенностей месторождения (разделение на типы и сорта руд, учет карстовых пустот и т.д.) требует постоянного привлечения к расчетам высококвалифицированных специалистов.

В-третьих, на стадии обоснования кондиций и переоценки запасов возникает необходимость многократного многовариантного выделения кондиционных пересечений.

В-четвертых, в условиях действующего карьера при оперативном планировании горных работ требуется постоянная оперативная обработка новых геологических данных.

Проведенные исследования позволили формализовать процедуру выделения кондиционных пересечений, разработать алгоритм и создать программное обеспечение для автоматизированного решения данной задачи [1,2,3,4,5]. Кроме того, программное обеспечение разработанное на основе этих алгоритмов широко апробировано для полиметаллических, фосфоритовых, серных руд, месторождений золота и т. д..

Выделение кондиционных пересечений сводится к задаче объединения смежных проб заданной мощности с установленным качественным составом полезного ископаемого (содержанием полезных и вредных компонентов). Условия объединения определяются кондициями на минеральное сырье. Причем выделенные кондиционные пересечения имеют вероятностную природу, так как содержание полезных компонентов в пробах так же имеет вероятностную природу, а мощность пересечения, слагаемая из мощности проб, определяется специалистом геологом или субъектом, разрабатывающим алгоритм. Алгоритм решения данной задачи подробно описан в работах [1,2] и поэтому в данной работе остановимся на аспектах реализации данного алгоритма в условиях конкретного месторождения

Как показали результаты внедрения алгоритма и его практического использования, трудозатраты на выделение кондиционных пересечений с подсчетом запасов и выдачей всех необходимых форм в пересчете на одну геологоразведочную выработку при традиционной ручной технологии, оцениваются в 8–13 часов для одного варианта кондиций. При использовании автоматизированной системы с учетом подготовки, ввода, контроля и корректировки исходных данных они составляют 15-30 минут. Если расчет производить для нескольких вариантов кондиций, то соотношение трудозатрат при традиционных ручных и автоматизированных расчетах будет еще более существенным.

Рассмотрим применение алгоритма на примере месторождения фосфоритов руд бассейна Каратау. Фрагменты данных подсчета запасов при традиционном ручном и автоматизированном способе выделения кондиционных пересечений приведены в табл.1. Данные таблицы показывают, что при автоматизированных расчетах можно полностью избежать ошибок, которые свойственны традиционных ручных расчетам. Автоматизированные расчеты позволяют исключить ситуацию, когда часть балансовых руд (V_6) теряется за счет того, что специалист геолог не в состоянии для каждой выработки добиться при ручных расчетах оптимального результата. Это особенно характерно для многокомпонентных сложно структурных месторождений, для которых кондиционные ограничения задаются по нескольким компонентам. Кроме того, при автоматизированных расчетах за

счет более глубокого анализа качественных показателей проб геологоразведочных выработок в границах балансовых руд дополнительно выделяются высококачественные руды, то есть производится перераспределение высококачественных (V_v) и рядовых руд (V_p) в сторону увеличения высококачественных.

Многовариантность решения задачи выделения кондиционных пересечений предопределяет задание определенного режима вычислений, обеспечивающего оптимальное значение выбранного критерия.

Таблица 1.

Результаты подсчета запасов руд при выделении кондиционных пересечений традиционным способом и с использованием ЭВМ

Участок месторождения	Традиционный «ручной» способ				Автоматизированный способ				$\frac{V_6^a}{V_6^m}$
	V_v	V_p	$V_6 = V_v + V_p$	$\frac{V_6}{V_p}$	V_v	V_p	$V_6 = V_v + V_p$	$\frac{V_6}{V_p}$	
I-G10-S	0	444.90	444.90	0	0	457.90	457.90	0	1.03
I-G9-S	0	700.50	700.50	0	0	705.56	705.56	0	1.01
II-G10-S	48.23	534.51	582.72	0.09	89.85	501.92	591.77	0.18	1.02
II-G9-S	38.47	547.60	586.07	0.07	116.72	470.25	586.97	0.25	1.00
II-G8-S	30.30	555.33	585.63	0.05	121.36	472.02	593.38	0.26	1.01
II-G10-V	0	435.38	435.38	0	32.16	408.00	440.16	0.08	1.01
II-G10-N	48.23	99.13	147.36	0.49	57.69	93.92	151.61	0.61	1.03
III-G10-N	23.14	61.75	84.89	0.37	28.23	81.26	109.49	0.35	1.28

В случае необходимости, а такая необходимость может возникнуть или из технологических потребностей или из экономической целесообразности, имеется возможность приоритетного выделения высококачественных руд. Это приводит к перераспределению высококачественных и рядовых руд по геологоразведочной выработке в сторону увеличения запасов высококачественных руд даже иногда в ущерб запасов балансовых руд, путем перевода некоторой их части в забалансовые. В табл.2 в качестве примера представлены данные подсчета балансовых запасов при приоритетном выделении высококачественных руд. Согласно приведенным данным, запасы балансовых руд по каждому из рассматриваемых участков несколько занижаются. Но если сопоставить темпы прироста высококачественных руд с темпами снижения балансовых руд, то явно просматривается приоритет увеличения запасов высококачественных руд.

Как отмечалось ранее, специфика задачи заключается в том, что для сложноструктурных многокомпонентных месторождений может быть получено множество вариантов выделения кондиционных пересечений, в целом удовлетворяющих общим требованиям кондиций, но не обеспечивающих выбор оптимального решения с позиций заданного критерия.

Таблица 2.

Сравнительные результаты подсчета запасов традиционным способом и при приоритетном выделении высококачественных руд

Участок месторождения	Традиционный «ручной» способ			Автоматизированный способ			Приращение V_v , %	Уменьшение V_6 , %
	V_v	V_p	$V_6 = V_v + V_p$	V_v	V_p	$V_6 = V_v + V_p$		
III-G9-N	14.87	75.73	90.60	21.79	60.21	82.00	46.54	-9.49
II-G9-N	38.47	114.95	153.42	77.59	68.16	145.75	101.69	-5.00
II-G9-N	30.30	112.40	152.70	51.42	99.64	151.06	69.70	-0.72
III-G9-N	3.13	95.65	98.78	25.46	65.79	91.25	713.42	-7.62

В настоящее время в условиях рыночных экономических отношений основополагающее значение получили стоимостные показатели. В соответствии с этим практическое значение приобретают стоимостные критерии, которые позволяют экономически оценить различные варианты решения задачи и оперативно производить перерасчеты при изменении финансовых показателей, что

особенно актуально для кризисных периодов экономики. Вышеизложенные причины предполагают введение нового подхода к решению задачи выделения кондиционных пересечений. Суть его изложим на примере сложноструктурного месторождения, представленного залежами балансовых (высококачественных и рядовых) руд и забалансовыми рудами. Вследствие разницы цен на высококачественную и рядовую руду приоритетное выделение высококачественных руд, даже за счет перевода части балансовых руд в забалансовые, может быть экономически оправдано и целесообразно. Следует только установить оптимальное соотношение высококачественных и балансовых руд, обеспечивающих максимальную прибыль. Причем в границах геологических блоков или добычных участков, планируемых к отработке, в виду уникальности каждого из этих участков, данные соотношения могут быть строго индивидуальны. А постоянное колебание цен на руду на рынке минерального сырья, предопределяет периодическое проведение перерасчетов с целью уточнения результатов. В такой постановке критерий, используемый при выделении кондиционных пересечений, может быть выражен следующим образом.

$$\sum_{i=1}^N (m_{\text{выс}}^i / m_{\text{ряд}}^i - k)^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

где $m_{\text{выс}}^i$, $m_{\text{ряд}}^i$ - соответственно мощность высококачественных и рядовых руд по каждой i -ой геологоразведочной выработке; N - общее количество геологоразведочных выработок в границах подсчетного или эксплуатационного блока; k - оптимальное соотношение запасов высококачественных и рядовых руд соответственно в границах подсчетного или эксплуатационного блока, обеспечивающее получение максимальной прибыли. Величина k определяется на основе решения классической оптимизационной задачи математического программирования.

$$C1 \cdot x1 + C2 \cdot x2 \rightarrow \max \quad (9)$$

$$x1 \geq A \quad (10)$$

$$x2 \leq B \quad (11)$$

$$x1 = f(x2) \quad (12)$$

$$x1 + x2 \geq g(A + B) \quad (13)$$

где $C1, C2$ - доход, получаемый от реализации единичного объема высококачественной и рядовой руды соответственно; $x1, x2$ - искомый объем высококачественной и рядовой руды; A, B - запасы высококачественной и рядовой руды, получаемые в результате подсчета запасов руд по блоку в режиме выделения балансовых руд максимальной мощности; g - коэффициент допустимого снижения запасов балансовых руд при приоритетном выделении высококачественных руд (g обычно выбирается в диапазоне от 0.9 до 1).

Отношение $x1 / x2$ при достижении критерием оптимальности (9) максимального значения и будет определять искомую величину k . Ограничение (10) выражает условие приращения запасов высококачественных руд в режиме их приоритетного выделения. Условие (11) выражает условие снижения запасов рядовых руд при приоритетном выделении высококачественных руд. Зависимость (12) определяет закономерность снижения запасов рядовых руд при приращении запасов высококачественных руд в режиме приоритетного выделения высококачественных руд. Выражение (13) накладывает ограничение на допустимое снижение запасов балансовых руд, ориентировочно может выбираться в диапазоне 0.9 - 1.

Выражение (12) определяет класс задачи математического программирования. В случае, если выражение (12) имеет линейный характер $x1 = d \cdot x2 + c$, то в целом вся задача (9) - (13) упрощается и сводится к задаче линейного программирования, методы решения которых подробно исследованы и широко освещены в многочисленной литературе.

Общая стратегия реализации задачи выделения кондиционных пересечений при обеспечении максимальной прибыли выражаются следующими этапами:

- выделение кондиционных пересечений в режиме максимального выделения балансовых руд и дифференцированный подсчет запасов забалансовых, рядовых и высококачественных руд

- выделение кондиционных пересечений по выработкам в режиме приоритетного выделения высококачественных руд с целью получения зависимости (12)
- на основе полученной зависимости (12) решается оптимизационная задача (9) - (13) и определяется соотношение k
- руководствуясь критерием (8) производится повторное выделение кондиционных пересечений и производится итоговый пересчет запасов в режиме обеспечения максимальной прибыли.

Графическая интерпретация решения задачи оптимального выделения кондиционных пересечений с позиций экономического критерия, обеспечивающего оптимальный доход от добычи высококачественных и рядовых руд может быть представлена на графиках, приведенных на рис. 1 и рис.2.

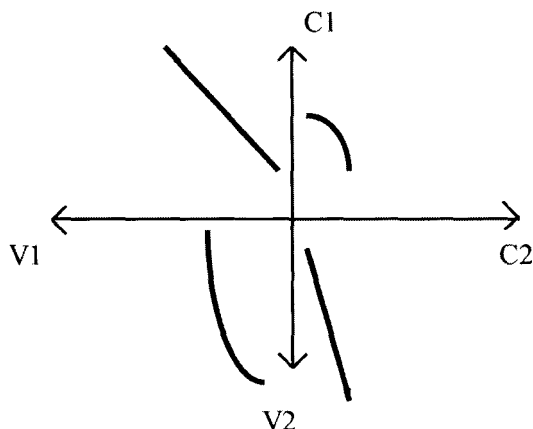


Рис 1. График определения зависимости $C1=f(C2)$

На графике, приведенном на рис. 1 в квадрате II приводится график зависимости дохода ($C1$) от объема добычи высококачественных руд ($V1$). График имеет линейную зависимость $C1 = f(V1)$. В квадрате IV представлена зависимость дохода ($C2$) от объема добычи рядовых руд ($V2$). График имеет также линейную зависимость $C2 = f(V2)$. В квадрате III строится график зависимости снижения объема рядовых руд вследствие увеличения объема высококачественных руд. Зависимость строится на основе предварительного выделения кондиционных пересечений по геологическим выработкам в различных режимах (максимального выделения балансовых руд, максимального выделения высококачественных руд и т. д.) при фиксированных значениях кондиционных пересечений. Построение графических зависимостей в квадратах IV, II, III позволяет построить график зависимости $C1 = f(C2)$ в I квадрате.

Графические зависимости построенные на рис. 1 в I и III квадрате позволяют построить график зависимости $C1+C2 = f(V1+V2)$, который приведен на рис.2. Построенный график (рис.2) имеет явно выраженный оптимум (точка М), соответствующий обеспечению максимального дохода при комплексной добыче высококачественных и рядовых руд, а значение $(V1+V2)_{\max}$ позволяет определить оптимальное соотношение $V1/V2$, рекомендуемое при выделении кондиционных пересечений по геологическим выработкам для данного участка

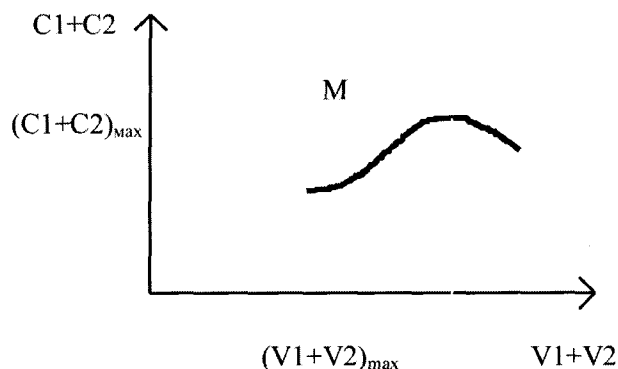


Рис. 2 Графическое определение максимального дохода при комплексной добыче рядовых и высококачественных руд

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Внедрение автоматизированных методов позволит сократить трудозатраты на выделение кондиционных пересечений и оперативный подсчет запасов в 20-30 раз и непосредственно выдавать результаты расчетов в требуемой форме.
2. Автоматизированные методы обеспечивают возможность в кратчайшие сроки произвести пересчет запасов с учетом новых кондиционных ограничений.
3. Внедрение автоматизированных методов позволит избежать ошибок, свойственных традиционным ручным расчетам и тем самым повысить точность и достоверность результатов.
4. При уточнении контуров рудных залежей появляется возможность сокращения потерь полезного ископаемого. Для условий фосфоритовых руд сложноструктурных многокомпонентных залежей полнота извлечения запасов из недр может быть увеличена на 2.5%.
5. Автоматизированные подсчеты обеспечивают возможность детального учета балансовых (высококачественных и рядовых) руд, забалансовых руд и попутных нерудных строительных материалов.
6. Автоматизированные методы позволяют при оперативном планировании горных работ в карьере регулировать контуры добычных работ в соответствии с требованиями к качеству добываемого сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашаев Ю.П., Кулубеков Т.К. Новый подход к решению задачи выделения кондиционных пересечений для подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки в карьере Жанатас – Сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. – Алма-Ата: КазПТИ, 1981, с. 10-16
2. Ашаев Ю.П. Система автоматизированного выделения кондиционных пропластков, подсчета запасов руд и объемов пород на руднике Жанатас – Экспресс – информация. КазНИИНТИ, Серия 52.41.01.85, выпуск 100 – Алма-Ата, 1983, 13с.
3. Корольчук Л.Л., Бабак А.Б., Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. Автоматизированное выделение кондиционных пересечений по данным опробования – Сб.: Вопросы добычи и переработки серных руд, ВНИПИСЕРА –М.: НИИТЭХИМ, 1989, с.31-33
4. B. Rakishev, J. Ashaev, Zh. Imashev Computer regulation of the condition reserves contours- Mine Planning and Equipment Selection 1998. Proceedings of the seventh international symposium on mine planning and equipment – Calgary, Canada, 1998, p. 407 – 411
5. Б. Р. Ракишев, Ю.П. Ашаев Повышение полноты извлечения запасов путем уточнения контуров рудных залежей на основе применения ЭВМ. Горный информационно- аналитический бюллетень – Московский государственный горный университет, Москва, № 6, 1995, с.87-90