

*к.т.н. Окаелов В.Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

*Розглянута ймовірнісна оцінка ступеню сприятливості геологічних умов залягання вугільних пластів для ведення гірничих робіт.*

***Ключові слова:** ймовірність, геологічні умови, вугільні пласти.*

*Рассмотрена вероятностная оценка степени благоприятности геологических условий залегания угольных пластов для ведения горных работ.*

***Ключевые слова:** вероятность, геологические условия, угольные пласти.*

Многочисленными исследованиями и практикой ведения горных работ установлено, что геологические условия залегания угольных пластов имеют вероятностную природу, что объясняется влиянием ошибок и многофакторным характером геологических явлений и процессов. В связи с этим возникает проблема повышения достоверности геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых с учетом вероятностной природы условий их залегания.

В настоящее время для ее решения используются детерминированные критерии и модели, что часто приводит к не подтверждению прогнозных оценок в процессе освоения угольных месторождений. Поэтому возникает задача разработки вероятностного подхода к оценке месторождений, наиболее полно отвечающего реальной природе исходной геологической информации. Ее решение предлагается осуществлять с использованием теоремы сложения вероятностей произвольного числа несовместных и совместных событий [1].

Правомерность использования данной теоремы вытекает из её геометрической интерпретации [1] (рисунок 1). Если на гипсометрическом плане выделить зоны с неблагоприятными значениями геологических факторов, то непересекающиеся зоны будут соответствовать несовместным событиям, а участки пересечения зон – совместным событиям.

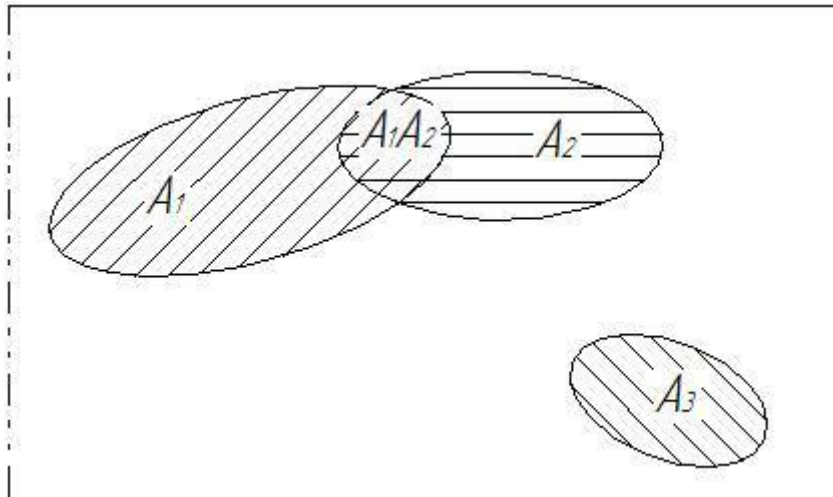


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация теоремы сложения вероятностей совместных и несовместных событий:

$A_1$  – зона появления события  $A_1$ ;

$A_2$  – зона появления события  $A_2$ ;

$A_3$  – зона появления события  $A_3$ ;

$A_1A_2$  – зона совместного появления событий  $A_1$  и  $A_2$ .

Для показанного на рисунке 1 случая трех событий вероятность ведения работ в неблагоприятных условиях составит:

$$P(A_1 + A_2 + A_3) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) - P(A_1A_2). \quad (1)$$

Рассмотрим порядок определения  $P(A_1 + A_2 + A_3)$  на условном примере. Допустим, пласт разведан путем бурения 100 скважин. Из них по 15-и была установлена зона, в которой породы основной кровли относятся к труднообрушающимся ( $A_1$ ), а по 20-и скважинам непосредственная кровля отнесена к неустойчивым ( $A_2$ ). По 5-и скважинам было установлено совместное появление труднообрушающихся и неустойчивых пород ( $A_1A_2$ ). По 10-и скважинам была выявлена зона уменьшения мощности пласта до 0,7 м ( $A_3$ ). Тогда величина  $P(A_1 + A_2 + A_3)$  составит:

$$P(A_1 + A_2 + A_3) = 0,15 + 0,2 + 0,1 - 0,05 = 0,4.$$

Обратная ей величина отражает вероятность работы в благоприятных условиях

$$P(B) = 1 - P(A_1 + A_2 + A_3). \quad (2)$$

В рассмотренном условном примере  $P(B)$  равно 0,6.

Для произвольного числа неблагоприятных совместных и несовместных событий вероятность ведения горных работ определяется по формуле (3) [1]

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - P(A_1 A_2) - P(A_2 A_3) - \dots - P(A_{n-1} A_n) + P(A_1 A_2 A_3) + \dots + P(A_{n-2} A_{n-1} A_n) + \dots + (-1)^n \cdot P(A_1 A_2 \dots A_n). \quad (3)$$

Указанные в приведенных выше формулах значения вероятностей появления различных событий не являются абсолютно достоверными, поскольку устанавливаемые по геологоразведочным скважинам значения факторов не точны. Поэтому при расчетах  $P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)$  и  $P(B)$  необходимо учитывать и достоверность самих прогнозов значений факторов по каждой скважине.

Наиболее просто данная задача решается путем определения доверительного интервала для оценки вероятности событий  $A_i$  [2]. При этом достаточно определять верхнюю границу изменения вероятности с учетом того, что нас интересуют, прежде всего, неблагоприятные исходы, которые в теории прогнозирования характеризуются вероятностью опасных ошибок II-го рода. Методика расчета заключается в определении отклонения частоты ошибки прогноза от заданной его вероятности ( $\varepsilon_i$ ).

$$\varepsilon_i = \Phi^{-1}\left(\frac{\gamma}{2}\right) \sqrt{\frac{P_i q_i}{N_i}}, \quad (4)$$

где  $\Phi^{-1}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$  – функция, обратная функции Лапласа при одностороннем ограничении распределения вероятностей;

$\gamma$  – надежность прогноза;

$P_i$  – вероятность ошибки II-го рода при прогнозировании  $i$ -го события;

$q_i$  – надежность прогноза с учетом только ошибки II-го рода:

$$q_i = 1 - P_i; \quad (5)$$

$N_i$  – число событий без учета  $A_i$ :

$$N_i = n - m_i;$$

$n$  – общее число наблюдений;

$m_i$  – число событий  $A_i$ .

Верхняя граница частоты появления ошибочных  $A_i$ -х событий  $\tilde{m}_i$  рассчитывается по формуле [2]

$$\tilde{m}_i = (P_i + \varepsilon_i)N_i. \quad (6)$$

Отсюда вероятность появления события  $A_i$  с учетом ошибки прогноза при верхнем ограничении определяется выражением:

$$P(A_i) = \frac{\tilde{m}_i + (P_i + \varepsilon_i)N_i}{n}. \quad (7)$$

Геометрическая интерпретация учета ошибок прогнозов показана на рисунке 2. На нем пунктирной линией обозначены области возможного расширения зон распространения неблагоприятных значений геологических факторов, вызванного влиянием ошибок прогнозов.

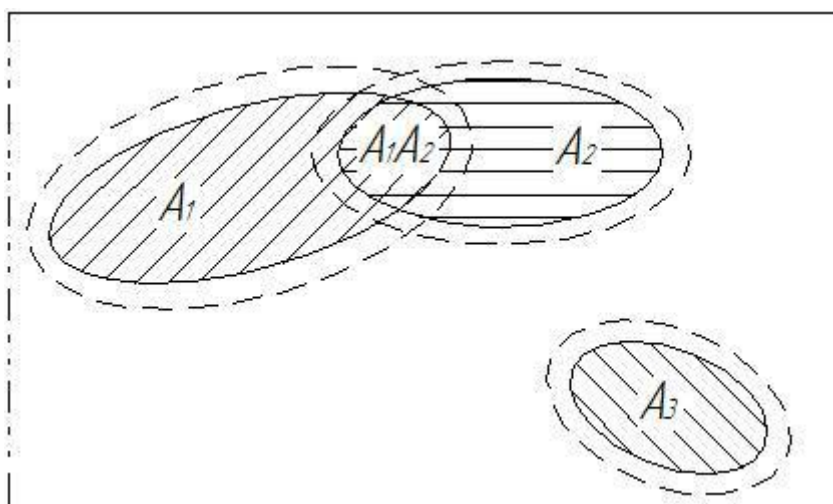


Рисунок 2 – Скорректированные области распространения неблагоприятных событий

Практика ведения горных работ неоднократно подтверждала случаи встречи ранее не предвиденных более сложных условий залегания угольных пластов. Поэтому корректировка первоначальных значений  $P_i$  должна стать обязательной при оценке условий залегания угольных пластов и выявлении зон распространения их неблагоприятных значений.

В случае разной величины ошибок I-го и II-го рода для определения скорректированного значения вероятности совместного появления нескольких событий необходимо принимать меньшее значение вероятности ошибок II-го рода из всех пересекающихся событий, поскольку принятие большего из них ведет к увеличению вероятности совместного появления событий и, как следствие, уменьшению общей вероятности встречи неблагоприятных условий.

Рассмотренный порядок оценки месторождений априори предполагает наличие взаимосвязи между количеством одновременно проявляющихся неблагоприятных значений геологических факторов и технико-экономическими показателями отработки пластов на этих участках. При этом весьма важным является наличие аддитивного характера такого влияния. Поскольку в работах [3] и [4] высказаны противоположные суждения об аддитивности сложных характеристик условий залегания угольных пластов, возникает необходимость в ее специальной проверке. Для этого в качестве оценочного критерия была принята среднесуточная нагрузка на лаву, как наиболее чувствительная к изменению условий ведения очистных работ. Данные о среднесуточной нагрузке и условиях работы собраны по лавам, обследованным в 1983, 1984 гг., когда еще сохранялась стабильная работа шахт [5]. Среди большого числа факторов, влияющих на данный показатель, выбрано восемь. В их число вошли: обрушаемость пород кровли, их устойчивость, устойчивость почвы, выбросоопасность пласта, водоприток в лаву, угол падения пласта, его мощность и относительная метанообильность. При выборе этих факторов учтено, что они наиболее часто учитываются в различных методиках расчета нагрузки на лаву.

Для каждого из этих факторов на основе известных классификаций выделены две группы признаков. Первая группа включала неблагоприятные, а вторая – благоприятные значения факторов. К неблагоприятным отнесены: трудно и весьма труднообрушающиеся породы основной кровли; весьма неустойчивые, неустойчивые и малоустойчивые породы непосредственной кровли; неустойчивые породы почвы; опасные по внезапным выбросам угольные пласты; водоприток в лаву  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  и более; угол падения пластов более 18 град.; их мощность менее или равная 0,7 м; относительная метанообильность более  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ .

В дальнейшем по фактическим данным условий работы лав для каждой из них выделялось количество неблагоприятных групп признаков ( $N_{н.п.j}$ ). В 3-х лавах таких признаков не наблюдалось, в 13-и их количество составило по 1-му, в 28-и – по 2, в 47 – по 3, в 13-и – по 4 и в 5-и – по 5. Для каждой из этих совокупностей лав рассчитаны среднегрупповые значения нагрузки на лаву  $\bar{A}_{cj}$ , что позволило получить зависимость этого показателя от количества совместно проявляющихся неблагоприятных признаков условий ведения очистных работ, представленную на рисунке 3.

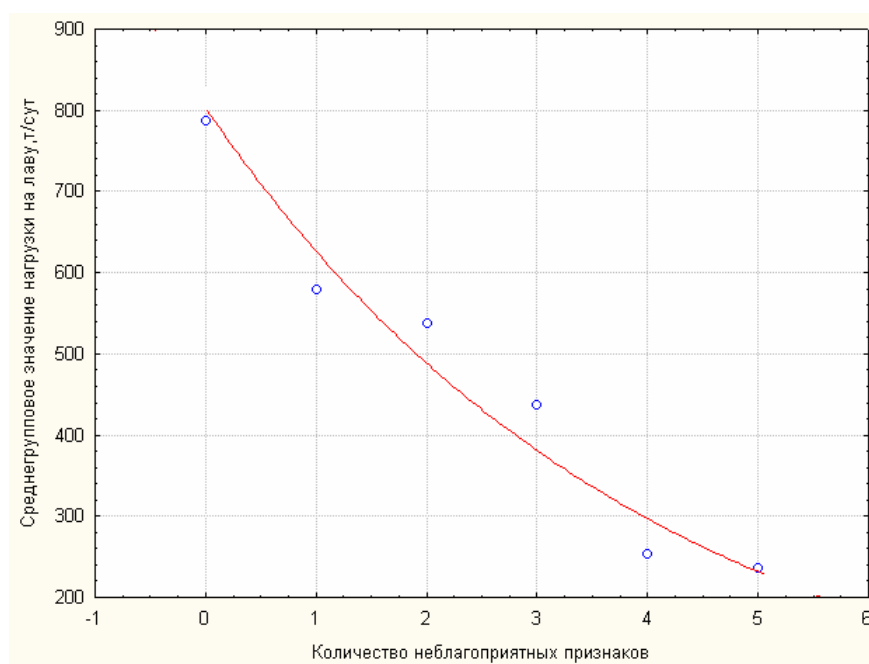


Рисунок 3 – График изменения  $\bar{A}_{cj}$  в зависимости от  $N_{н.п.j}$

Как видно, с увеличением  $N_{н.п.j}$  наблюдается четко выраженный тренд уменьшения  $\bar{A}_{cj}$ . Это свидетельствует о снижении среднегрупповых значений нагрузки на лаву с ростом количества совместно проявляющихся неблагоприятных признаков условий залегания угольных пластов. Если учесть, что с уменьшением нагрузки на лаву растет участковая себестоимость, то можно предположить наличие и четко выраженного обратного тренда. Его график, полученный по этим же лавам, показан на рисунке 4.

Полученные на рисунках 3 и 4 зависимости адекватно описываются экспоненциальными функциями:

$$\bar{A}_{cj} = 800e^{-0,25N_{н.п.j}} ; \quad (8)$$

$$\bar{C}_{yj} = 5,4e^{0,14N_{н.п.j}}, \quad (9)$$

где  $\bar{C}_{yj}$  – среднегрупповое значение участковой себестоимости, руб./т.

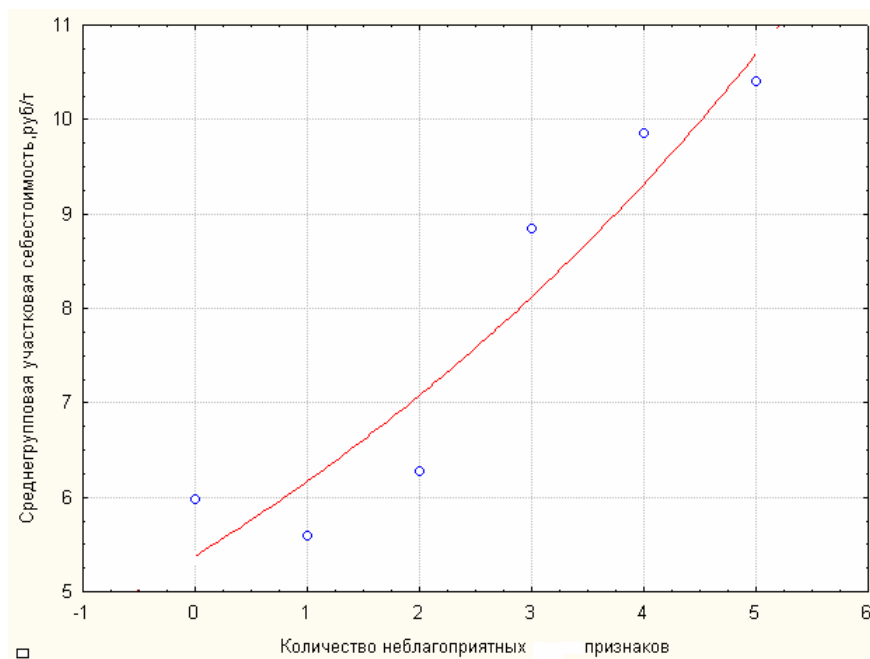


Рисунок 4 – График изменения  $\bar{C}_{yj}$  в зависимости от  $N_{н.п.j}$

Они отражают аддитивный характер влияния на технико-экономические показатели работы лав количества совместно проявляющихся неблагоприятных признаков условий их работы.

Полученные результаты позволяют определять вероятность ведения горных работ в неблагоприятных и благоприятных условиях и осуществлять предварительное ранжирование месторождений по этому критерию. Те из них, которые занимают первые места в ранжированном ряду, отбираются для дальнейшей более детальной оценки с помощью стоимостных критериев.

### Библиографический список

1. Математическая статистика / В.М.Иванова, В.Н.Калинина, Л.А.Нешумова, И.О.Решетникова. – М.: Высшая школа, 1975. – 398 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е.Гмурман. – М.: Высшая школа, 2002. – 479 с.
3. Воспроизводство шахтного фонда и инвестиционные процессы в угольной промышленности Украины / Г.Г.Пивняк, А.И.Амоша, Ю.П.Яценко и др. – К.: Наукова думка, 2004. - 311 с.

4. *Группирование шахт Донбасса по однородности производственных условий / А.Ю.Блакберн, В.И.Мезников, Ю.Д.Борисов и др. // Уголь Украины. – 1992. - № 11. – С. 15-17.*

5. *Блакберн А.Ю. Новые кондиции на каменный уголь – реальный путь радикального оздоровления отрасли / А.Ю.Блакберн, В.И.Мезников, Н.П.Оганесян // Уголь Украины. – 1997. - № 8. – С. 3-8.*

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Фрумкиным Р.А.*