

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

## **ПРОГНОЗ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ЛАВУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛИНЕЙНЫХ ДИСКРИМИНАНТНЫХ ФУНКЦИЙ**

*Наведено обґрунтування доцільності використання метода лінійних дискримінантних функцій для прогнозу середньодобового навантаження на очисний вибій.*

***Ключові слова:** середньодобове навантаження, очисний вибій, лінійні дискримінантні функції.*

*Приведено обоснование целесообразности использования метода линейных дискриминантных функций для прогноза среднесуточной нагрузки на очистной забой.*

***Ключевые слова:** среднесуточная нагрузка, очистной забой, линейные дискриминантные функции.*

Повышение надежности и точности прогноза среднесуточной нагрузки на очистной забой всегда являлось важной научно-технической задачей, поскольку от ее успешного решения зависит объективность целого ряда принимаемых проектных решений.

В настоящее время предложено достаточно большое число методов прогноза указанного показателя, которые в зависимости от положенных в их основу математических моделей можно разделить на аналитико-экспериментальные и вероятностно-статистические [1-5].

Не останавливаясь на их детальном анализе следует отметить, что они обладают рядом недостатков, к основным из которых следует отнести: недостаточную точность и надежность прогнозов, сложность учета в одной модели количественных и качественных факторов, сложность учета ошибок исходных данных и их влияния на конечные результаты прогноза.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее совершенствование методов прогноза среднесуточной нагрузки на лаву является по-прежнему актуальным. При решении данной научно-технической задачи особое внимание уделяется оценке эффективности математических моделей, положенных в основу методов прогноза. Их анализ показывает, что до настоящего времени не было предложено

достаточно достоверных методов прогноза, основанных на использовании линейных дискриминантных функций. В то же время эти модели нашли широкое применение и показали высокую эффективность при решении значительного круга задач прогнозирования в других отраслях знаний [6-8].

Дискриминантная функция строилась в линейном виде (1), а в качестве меры различия между распознаваемыми событиями принято расстояние Махаланобиса [7].

$$Z_i = a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_p X_{pi}, \quad (1)$$

где  $a_p$  – постоянные коэффициенты функции для каждого  $p$ -го фактора;

$X_{pi}$  –  $i$ -е значение переменной  $X_p$  для каждого фактора.

С помощью данной функции можно распознать два события  $W_1$  и  $W_2$ . Для чего необходимо рассчитать величину  $Z_i$  для каждого наблюдения и сравнить ее с пороговой, устанавливаемой по [7]. Если  $Z_i \geq C_p$ , то решение принимается в пользу события  $W_1$ , а при  $Z_i < C_p$  – в пользу  $W_2$ .

Реализация данной методики для прогноза среднесуточной нагрузки осуществлялась следующим образом.

Первоначально по формуле ( $\bar{A}_{cj} = 800e^{-0,25N_{n.nj}}$ ) для каждой из обследованных в 1983 и 1984 гг. лав были рассчитаны среднегрупповые значения суточной нагрузки на лаву  $\bar{A}_{cj}$ , после чего были вычислены отклонения  $\Delta \ln A_{ci}$  фактических значений от расчетных:

$$\Delta \ln A_{ci} = \ln A_{ci} - \ln \bar{A}_{cj}, \quad (2)$$

где  $A_{ci}$  – фактическое значение среднесуточной нагрузки на  $i$ -ю лаву, т/сут.;

$N_{n.n}$  – количество неблагоприятных групп условий ведения очистных работ.

Расчет отклонений по формуле (2) объясняется тем, что закон распределения значений  $A_{ci}$  является логарифмически нормальным (рис. 1). Величина критерия  $\chi^2 = 6,1$ , что меньше его пороговой величины при  $\alpha = 0,05$ , равной 14,1.

После определения величин  $\ln A_{ci}$  их распределение подчиняется уже нормальному закону (рис. 2). Величина критерия  $\chi^2 = 4,03$ , что меньше его порогового (14,1) при  $\alpha = 0,05$ .

Нормальный закон распределения величин  $\ln A_{ci}$  позволяет эффективно применять для обработки наблюдений классические методы дискриминантных функций и регрессионного анализа. В связи с этим в

дальнейшем все их множество было разделено на две совокупности:  $W_1(\Delta \ln A_{ci} \leq 0)$ ,  $W_2(\Delta \ln A_{ci} \geq 0)$  и получена дискриминантная функция для их распознавания.

Процесс построения этой функции отличался от традиционного [7] тем, что вначале с помощью непараметрических критериев и критериев теории информации были проанализированы 23 фактора с точки зрения силы их влияния на  $\Delta \ln A_{ci}$ , по результатам которого было отобрано 9 наиболее значимых из них. В их число вошли как количественные, так и качественные факторы.

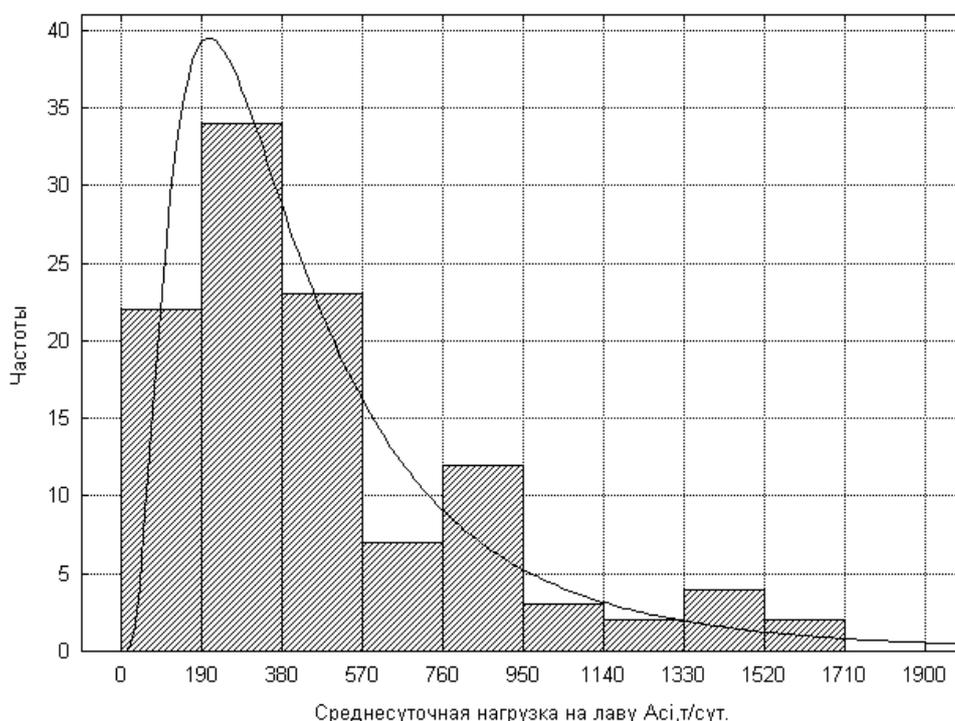


Рисунок 1 – Гистограмма и теоретический график распределения среднесуточной нагрузки на лаву

Поскольку метод линейных дискриминантных функций разработан только для анализа и прогноза количественных показателей, то впервые был предложен математический прием квантования качественных и количественных значений факторов, предусматривающий деление всего интервала их изменения на диапазоны и определение для каждого из них средних алгебраических величин  $\bar{\Delta \ln A_{ci}}$ .

Для качественных факторов квантование осуществляется в соответствии с их признаками.

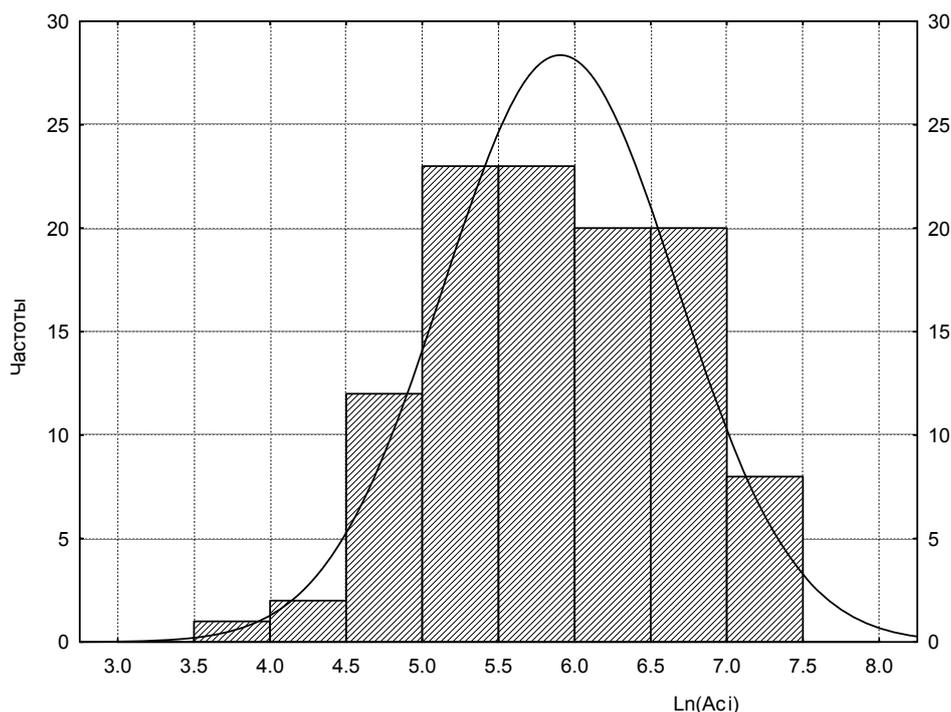


Рисунок 2 - Гистограмма и теоретический график распределения логарифмов среднесуточной нагрузки на лаву

Например, для устойчивости пород непосредственной кровли такими признаками являются их категории  $B_1-B_5$ , для обрушаемости пород  $-A_1 \div A_4$  и т.п. Диапазоны количественных факторов выделялись таким образом, чтобы сумма абсолютных значений  $\bar{\Delta} \ln A_{ci}$  для каждого фактора была максимальной. Кроме этого учитывалась и логика изменения  $\bar{\Delta} \ln A_{ci}$  с переходом от одного диапазона (признака) к другому, что позволяло сгладить случайные колебания  $\bar{\Delta} \ln A_{ci}$  и отразить закономерные тенденции влияния факторов на распознавание событий  $W_1, W_2$  и обеспечивать максимальное различие между ними.

В результате выполненных расчетов и обоснований составлена таблица 1, в которой приведены значения  $\bar{\Delta} \ln A_{ci}$  для каждого из исследуемых признаков. Знак "минус" свидетельствует о том, что при соответствующем признаке преобладает отклонение  $A_{ci}$  от  $\bar{A}_{cj}$  в меньшую сторону, а "плюс" – в большую.

В таблицу 1 включен показатель организационно-технического уровня очистных работ, отражающий влияние на среднесуточную добычу из лавы факторов, характеризующих технический уровень механизации очистных работ и обеспеченность необходимым персоналом. Его структурный вид получен по результатам изучения влияния частных коэффициентов  $K_i$  на  $A_{ci}$ .

Таблица 1 – Значения  $\bar{\Delta} \ln A_{ci}$  для выделенных признаков

Порядковый номер фактора, $p$	Наименование фактора	Признаки	$\bar{\Delta} \ln A_{cip}$
1	Обрушаемость основной кровли	$A_1 + A_2$	0
		$A_3$	0,125
		$A_4$	-0,136
2	Устойчивость пород непосредственной кровли	$B_1$	-0,277
		$B_2$	-0,120
		$B_3$	0,439
		$B_4 + B_5$	0,163
3	Система разработки	сплошная,	-0,326
		комбинированная,	-0,325
		столбовая	0,180
4	Тип призабойной крепи	механизированная,	0,102
		индивидуальная	-0,304
5	Тип крепи сопряжения лавы с транспортной выработкой	механизированная,	0,343
		анкерная;	0,133
		инвентарная металлическая;	-0,356
6	Организационно-технический уровень очистных работ ( $\ln K$ )	$\leq 0,9$	-0,568
		0,9-1,8	-0,165
		1,81-2,7	-0,031
		2,71-3,6	0,312
		$> 3,6$	0,921
7	Вынимаемая мощность пласта, м	$< 1,1$	-0,145
		1,11-1,4	-0,006
		1,41-1,7	0,429
		$> 1,7$	1,01
8	Мощность ложной кровли, м	$\leq 0,2$	0,316
		0,2-0,4	-0,021
		$> 0,4$	-0,162
9	Суммарная длина ниш, м	$< 5$	0,480
		5-10	0,240
		11-15	-0,109
		$> 15$	-0,600

После составления таблицы 1 для каждой лавы были рассчитаны интегральные значения отклонений  $S_i$

$$S_i = \frac{\sum_{p=1}^m \bar{\Delta} \ln A_{ci p}}{m}, \quad (3)$$

где  $m$  – количество факторов;  
 $p$  – порядковый номер фактора  
и получена дискриминантная функция в общем виде:

$$Z_i = a_1 \bar{\Delta} \ln A_{ci1} + a_2 \bar{\Delta} \ln A_{ci2} + a_3 \bar{\Delta} \ln A_{ci3} + a_4 \bar{\Delta} \ln A_{ci4} + a_5 \bar{\Delta} \ln A_{ci5} + \\ + a_6 \bar{\Delta} \ln A_{ci6} + a_7 \bar{\Delta} \ln A_{ci7} + a_8 \bar{\Delta} \ln A_{ci8} + a_9 \bar{\Delta} \ln A_{ci9}. \quad (4)$$

Ее неизвестные параметры  $a_1$ - $a_9$  определены методом наименьших квадратов, что позволило наиболее объективно учесть силу влияния каждого фактора на распознаваемые события  $W_1$  и  $W_2$ . После этого рассчитанные значения  $Z_i$  расположены в упорядоченный ряд и осуществлен поиск порогового значения  $C_p$ , при котором количество ошибочных ответов является минимальным.

В процессе поиска  $C_p$  варьировалось число учитываемых факторов и их характер. В результате установлено, что наименьшее число ошибок распознавания имеет место при использовании дискриминантной функции вида:

$$Z_i = 0,05 \bar{\Delta} \ln A_{ci3} + 2,2 \bar{\Delta} \ln A_{ci5} + 1,5 \bar{\Delta} \ln A_{ci6} + 0,8 \bar{\Delta} \ln A_{ci9} + 2,9 \bar{\Delta} \ln A_{ci10}. \quad (5)$$

В нее не вошли факторы №№ 1, 2, 4, 7 и 8, поскольку их включение ухудшало результаты распознавания.

Пороговое значение дискриминантной функции (5) составило 0,6. Если  $Z_i > 0,6$ , то принимается решение в пользу события  $W_2$ , а при  $Z_i \leq 0,6$  – события  $W_1$ .

При  $C_p = 0,6$  общее количество ошибок распознавания составило 17,5%. Из них ошибки I-го рода (имеет место отклонение в меньшую сторону, а на самом деле в большую) – 15%, а ошибки II –го рода (отклонение в большую сторону по прогнозу, а на самом деле в меньшую) – 2,5%.

Полученная надежность распознавания событий  $W_1$  и  $W_2$  равна 0,82, а с учетом только опасных ошибок II –го рода 0,87 и она является достаточной с практической точки зрения. Однако при этом остаются неизвестными значения  $A_{ci}$  внутри оценочных зон, которые необходимо знать для более детальной оценки месторождений. В связи с этим для событий  $W_1$  и  $W_2$  были получены уравнения, позволяющие уточнять величины  $\Delta \ln A_{ci}$ .

Для события  $W_1$  величина  $\Delta \ln A_{ci}$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta \ln A_{ci} = -1,4 + 0,4 f_y + 0,3 m_{nl} + 1,2 S_i, \quad (6)$$

где  $f_y$  – крепость угля по М.М.Протождьяконову;  
 $S_i$  – интегральное отклонение по пяти факторам, учтенным в таблице 1.

$$S_i = \frac{1}{5} (\bar{\Delta} \ln A_{ci1} + \bar{\Delta} \ln A_{ci2} + \bar{\Delta} \ln A_{ci3} + \bar{\Delta} \ln A_{ci4} + \bar{\Delta} \ln A_{ci5}). \quad (7)$$

Для события  $W_2$   $\Delta \ln A_{ci}$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta \ln A_{ci} = 0,3 \ln K_i - 0,16. \quad (8)$$

Множественный коэффициент корреляции  $R$  для уравнения (6) составил 0,63. Расчетное значение  $t_r$ -критерия равно 10,9, а табличное при  $\alpha=0,05$ -1,98. Для уравнения (8)  $r_{yx} = 0,53$ ;  $t_r = 7,7$ . Средневзвешенная ошибка аппроксимации  $\bar{\varepsilon}$  для уравнения (6) равна  $\pm 19\%$ , а для уравнения (8) –  $\pm 29\%$ .

Переход от  $\Delta \ln A_{ci}$  к  $A_{ci}^p$  осуществляется по формулам:

$$A_{ci}^p = \begin{cases} \frac{800}{1,3^{N_{mj}}} e^{(-1,4+0,4 f_y + 0,3 m_{nl} + 1,2 S_i)} & \text{для } t \leq 0,6 \\ \frac{800}{1,3^{N_{mj}}} e^{(0,3 \ln K - 0,16)} & \text{для } t > 0,6. \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, обобщая результаты выполненных исследований необходимо сделать следующие **выводы**:

- использование линейных дискриминантных функций позволяет обеспечить достаточно высокую надежность прогноза. Это объясняется тем, что впервые была модифицирована рассмотренная математическая модель, позволяющая учитывать не только количественные, но и качественные факторы;

- модель линейных дискриминантных функций может быть распространена и на другие трудно поддающиеся надежному прогнозу показатели.

## Библиографический список

1. Бурчаков А.С. Проектирование шахт / А.С. Бурчаков, А.С. Малкин, М.И. Устинов. – М.: Недра, 1985. – 399 с.
2. Задачник по підземній розробці вугільних родовищ / К.Ф. Сатицький, В.Н. Прокоф'єв, І.Ф. Ярембаш та ін. – Донецьк: РВА ДонДТУ, 1999. – 194 с.
3. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1979. – 332 с.
4. Временное руководство по оперативному прогнозированию параметров и показателей работы негазовых антрацитовых шахт и их технологических звеньев / Р.А. Фрумкин, П.С. Ермаченко, А.В. Чернявский, Б.В. Возный. – Коммунарск: КГМИ, 1974. – 69 с.
5. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах / Е.Д. Дубов, И.П. Курченко, О.Л. Колосов и др. – Донецк: ДонУГИ, 2007. – 38 с.
6. Фрумкин Р.А. Методика выбора решений в условиях неопределенности / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 1980. – № 2. – С. 24-30.
7. Афифи А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / А.Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
8. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж. Матерон. – М.: Мир, 1968. – 407 с.

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