

УДК 621.31

В.Д. ТРИФОНОВ, Д.В. ТРИФОНОВ, канд. техн. наук
(Україна, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ВЫЯВЛЕНИЕ И ОТБОР ПРИОРИТЕТНЫХ ИНФОРМАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Электропотребление предприятий горной промышленности (угольных шахт, обогатительных фабрик, карьеров) можно охарактеризовать значительным количеством факторов: горно-геологическими, климатическими, технологическими, техническими, энергетическими, организационно-экономическими, региональными и др.[1]. Поэтому необходимо выявить и отобрать информативные факторы объекта управления и формализовать их взаимосвязь с помощью различных математических методов (ранговой корреляции, оптимизации и др.). Это, в свою очередь, требует классификации предприятий с учетом технологии, режима работы основных энергоемких агрегатов и объемов электропотребления.

Для шахт Западного Донбасса характерна относительная стабильность показателей технологических процессов и систем разработки, поэтому выбор из них существенных при повышении эффективности электропотребления можно производить с достаточной надежностью и точностью [2]. В этом случае при формализации факторных взаимосвязей угольных шахт наиболее обоснованным является применение экспертно-статистических методов и факторного анализа [1].

В частности, для выявления значимых информативных факторов принят метод ранговой корреляции, в основу которого положена аргументированность суждения высококвалифицированных специалистов в данной отрасли. Состав этих факторов наиболее точно определяется при системном подходе к получению экспертных оценок [3]:

- выделение из сравнительно большой совокупности приоритетных технологических факторов, формирующих электропотребление;
- установление формы проведения опроса (по анкетам, анонимно);
- формирование экспертной группы, в которую входят специалисты, занимающиеся изучением эффективности использования электроэнергии (количественный состав экспертной группы составляет в пределах $5 \leq n \leq 10$);
- формирование правил и порядка работы экспертной группы, основанных на принципах системы экспертных оценок.

Автоматизация та управління процесами збагачення

В связи с этим экспертиза проводилась по специально разработанной опросной анкете, в которую на основании теоретического анализа технологического процесса и оперативных сведений включено 12 информативных факторов: x_1 – годовая добыча; x_2 – общий объем проведенных выработок; x_3 – количество очистных забоев; x_4 – нагрузка на очистной забой; x_5 – мощность пласта; x_6 – приток воды; x_7 – количество метана на 1 тонну добычи; x_8 – численность персонала; x_9 – скорость проведения подготовительных выработок; x_{10} – уровень комбайнового проведения выработок; x_{11} – длина лавы; x_{12} – глубина разработки.

В качестве экспертов выступили ведущие специалисты энергетической и технологической служб, организаторы производства, работники соответствующих отделов ОАО "Павлоградуголь". Причем опрос специалистов-экспертов выполнен в несколько упрощенной форме по сравнению с требованиями классического метода экспертных оценок. В каждой из предложенных анкет шесть экспертов, независимо от своих коллег, качественно оценивали тот или иной фактор электропотребления.

В табл. 1 приведен пример заполнения опросной анкеты для шахты "Терновская". В основу экспертной оценки положена семибальная шкала, согласно которой 12-ти принятым факторам присваивается соответствующий номер (ранг). При этом наиболее значимому фактору приписывается первый ранг, а наименее важному – седьмой. Для удобства последующей обработки полученной от экспертов информации ранги соответствующим факторам присваивались только в виде натуральных чисел (в анкете не должно содержаться нулевых или дробных рангов).

Таблица 1

Первоначальная матрица рангов (мест)												
Эксперт $j = 1, m$	Информативный фактор $i = 1, n$											
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
1	3	6	6	3	4	1	2	3	7	3	2	1
2	1	6	7	3	3	3	2	4	7	3	3	3
3	2	5	4	2	5	1	4	3	6	4	2	3
4	1	5	6	4	4	2	3	3	5	3	2	2
5	1	4	5	3	3	2	4	4	7	4	3	2
6	2	7	4	2	3	3	4	4	5	4	2	1

В табл. 1 по сути приведена первоначальная (исходная) матрица рангов, полученная на основе анкет шести экспертов. Поскольку не все эксперты установили ранговое различие между несколькими смежными факторами (разным факторам присвоен один и тот же ранг), оказалось, что число рангов N не равно числу ранжируемых объектов (факторов) n . В таких случаях объектам приписывают так называемые стандартизированные ранги. С этой целью общее

Автоматизация та управління процесами збагачення

число стандартизованих рангов полагают равным n , а объектам, имеющим одинаковые ранги, присваивают стандартизованный ранг, который представляет собой среднее значение суммы рангов (мест), поделенных между факторами одинакового ранга. Поэтому исходная матрица была преобразована таким образом (табл. 2), чтобы выполнялось условие [4]

$$S_N = \sum x_i = n(n + 1) / 2 ,$$

где S_N – сумма рангов, полученная в результате ранжирования принятых факторов; x_i – ранг (место) i – го фактора среди остальных $(n - 1)$ факторов строки.

Таблица 2

Преобразованная матрица рангов (мест)

Эксперт $j = 1, m$	Информативный фактор $i = 1, n$												W
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
1	6,5	10,5	10,5	6,5	9,0	1,5	3,5	6,5	12	6,5	3,5	1,5	78
2	1	10	11,5	5,5	5,5	5,5	2	9	11,5	5,5	5,5	5,5	78
3	3	10,5	8	3	10,5	1	8	5,5	12	8	3	5,5	78
4	1	10,5	12	8,5	8,5	3	6	6	10,5	6	3	3	78
5	1	8,5	11	5	5	2,5	8,5	8,5	12	8,5	5	2,5	78
6	3	12	8,5	3	5,5	5,5	8,5	8,5	11	8,5	3	1	78
$\sum_{j=1}^m x_{ij}$	15,5	62	61,5	31,5	44	19	36,5	44	69	43	23	19	468
Место	1	11	10	5	8	2	6	9	12	7	4	3	
z_i	5	1,2	1,3	2,4	1,8	4,1	2,1	1,8	1,1	1,1	3,4	4,1	

Групповая экспертная оценка считается достаточно надежной только при условии хорошей согласованности мнений специалистов. Вот почему статистическая обработка информации, полученной от экспертов, должна включать в себя оценку степени согласованности (конкордации) мнений экспертов о влиянии перечисленных выше факторов на процесс электропотребления угольных шахт.

В качестве критерия такой оценки принят коэффициент конкордации Кенделла W , т.е. общий коэффициент ранговой корреляции для группы из m специалистов-экспертов, который рассчитывается как [5]

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где S – сумма квадратов разностей (отклонений) рангов от их среднего

Автоматизация та управління процесами збагачення

значения,

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m x_{ij} - a_{ij} \right]^2 ;$$

где $\sum_{j=1}^m x_{ij}$ – сумма рангов по каждому фактору, полученная от всех экспертов;
 a_{ij} – среднее значение рангов по всей преобразованной матрице,

$$a_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} .$$

Очевидно, что величина S имеет максимальное значение S_{max} в случае, когда все эксперты дают одинаковые оценки, т.е. наблюдается наилучшая согласованность мнений экспертов.

Тогда коэффициент конкордации

$$W = \frac{S}{S_{max}}$$

может изменяться от 0 до 1. Считают, что при $W = 1$ все мнения специалистов-экспертов согласуются полностью и при $W = 0$ – расходятся [4, 6].

При "связанных" рангах, когда какой-либо эксперт не может установить ранговое различие между несколькими смежными факторами и приписывает им одинаковые ранги, коэффициент конкордации

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} ,$$

где $T_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j)$ – число одинаковых (совпавших) рангов в i -м ранжировании.

В рассматриваемом случае для шахты "Терновская" коэффициент конкордации равен 0,88. Поэтому мнения специалистов можно считать согласованными. Значимость коэффициента W проверяют по критерию Пирсона χ^2 [5]. Для этого вычисляется фактический параметр критерия Пирсона $\chi_{\phi}^2 = m(n-1)W$.

Автоматизация та управління процесами збагачення

При "связанных" рангах

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{12S}{m n(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i}$$

Затем находится табличное значение χ_m^2 , которое при заданной доверительной вероятности (надежности) $P = 0,95$ и числе степеней свободы $f = n - 1 = 11$ составляет 4,57 [7].

Как видим, $\chi_{\phi}^2 = 58,1 > \chi_m^2 = 4,57$, т.е. подтверждается достаточно высокая степень согласованности мнений экспертов по всей совокупности рассматриваемых характеристик.

Аналогичные расчеты выполнены для остальных угольных шахт ОАО "Павлоградуголь" и их результаты приведены в табл. 3, из которой следует, что коэффициент конкордации располагается в области положительных значений, отличных от нуля. Это свидетельствует о согласованности мнений экспертов по всем исследуемым угольным шахтам.

Таблица 3

Результаты расчета и проверки коэффициента конкордации W

Шахта	W	χ_{ϕ}^2	χ_m^2
"Благодатная"	0,82	52,80	4,57
им. Героев Космоса	0,84	52,14	4,57
"Днепровская"	0,82	54,12	4,57
им. Сташкова	0,87	57,74	4,57
"Самарская"	0,86	56,48	4,57
"Юбилейная"	0,82	54,20	4,57
"Степная"	0,81	53,40	4,57
"Павлоградская"	0,87	57,70	4,57
"Терновская"	0,88	58,10	4,57
"Западно-Донбасская"	0,80	52,80	4,57

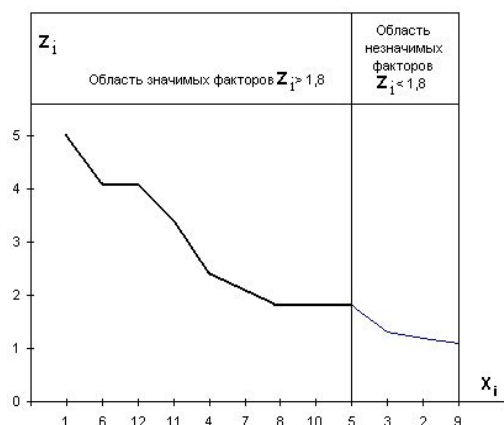
Относительный уровень значимости факторов z_i определен как

$$z_i = \frac{S_n}{\sum_{j=1}^m x_{ij}}$$

Все технологические факторы по значимости их влияния на эффективность работы угольной шахты условно разбиты на две группы: $z_i > 1,81$ – для факторов I (наиболее значимые), $z_i < 1,81$ – для факторов II (менее значимые).

Автоматизация та управління процесами збагачення

Графическая интерпретация разделения z_i представлена на рисунке.



Графическая интерпретация разделения областей Z_i

Анализ показывает, что наиболее существенное влияние на эффективность электропотребления оказывают шесть технологических факторов: годовая добыча, нагрузка на очистной забой, длина лавы, количество метана на 1 тонну добычи, глубина разработки, приток воды в шахту. Однако такие факторы, как приток воды в шахту, количество метана на 1 тонну и глубина разработки, хотя и имеют достаточный вес в общем факторном поле, но могут не учитываться, поскольку являются неуправляемыми.

Таким образом, с помощью экспертно-статистического метода выявлена достаточная согласованность мнений специалистов; произведен выбор совокупности факторов и установлена их предпочтительность; предопределена возможность формирования факторного пространства энергоэффективности угольных шахт на базе управляемых факторов (годовая добыча, нагрузка на очистной забой, длина лавы), которые могут быть использованы при построении многокритериальных оптимизационных моделей объекта управления.

Список литературы

1. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
2. Пивняк Г.Г., Слесарев В.В. Эффективный подход к экономии электроэнергии на шахтах Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1995. – №6. – С. 26–29.
3. Китов Н.И. Групповые экспертные оценки. – М.: Знание, 1975. – 180 с.
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
5. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Физматгиз, 1961. – 364 с.
6. Методика применения экспертных методов оценки качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 120 с.

Автоматизація та управління процесами збагачення

7. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных в эксперименте / Под ред. А.В. Башарина. – Л.: ЛГУ, 1979. – 320 с.

© Трифонов В.Д., Трифонов Д.В., 2005

*Надійшла до редколегії 25.11.2005 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*