УДК 622.26.001:622.03

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

МЕТОД ОГРАНИЧЕННОГО ПЕРЕБОРА ВАРИАНТОВ СЕТЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ИХ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКЕ

Наведено обґрунтування методики визначення оптимальних варіантів мереж гірничих виробок.

***Ключові слова**: мережа гірничих виробок, оптимальні варіанти.*

Приведено обоснование методики определения оптимальных вариантов сетей горных выработок.

***Ключевые слова**: сеть горных выработок, оптимальные варианты.*

При выборе оптимального варианта сети горных выработок необходимо, чтобы функционирование каждой из них в отдельности обеспечивалось с минимальными эксплуатационными и капитальными затратами в заданных геологических условиях. В этом случае резко увеличивается число расчетных подвариантов для каждого варианта сети горных выработок.

Например, если принять общее число выработок 10 и 2 различных способа их проведения, то количество расчетных вариантов только по этому показателю составит около 1030, т.е. обостряется проблема размерности. Для ее разрешения предложен метод ограниченного перебора вариантов СГВ при их стоимостной оценке. Он предусматривает предварительный поиск оптимальных сочетаний технологических факторов, обеспечивающих минимальные значения стоимостных показателей для каждой выработки, а затем уже нахождение оптимального варианта СГВ. В математическом смысле задача ставится следующим образом.

Пусть имеется техническая система (выработка), свойства которой описываются морфологическими классами.

$$
\begin{aligned}
&x(1) = \{x_{11}, x_{12}, \ldots, x_{1n_1}\} \\
&x(2) = \{x_{21}, x_{22}, \ldots, x_{2n_2}\} \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&x(m) = \{x_{m1}, x_{m2}, \ldots, x_{mn_m}\}.
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Сформированное с помощью морфологического анализа морфологическое пространство Λ содержит векторы

$$y = (x_{1k_1}, x_{2k_2}, \ldots, x_{mk_m}). \qquad (2)$$

Его элементы (признаки) берутся из различных классов.

Задается целевая функция

$$Z = F(a_1, a_2, \ldots, a_n), \qquad (3)$$

аргументы которой определены на множестве векторов пространства Λ, т.е. $a_i = G_i(y)$.

Требуется найти такой вектор $y^* \in \Lambda$, при котором целевая функция Z имеет экстремум (наименьшее или наибольшее значение).

Основная идея метода решения этой задачи заключается в пошаговом приближении к экстремуму. На первом шаге фиксируются все признаки вектора y, кроме первого, принадлежащего классу $x(1)$. Далее путем перебора x_{1i} выбирается тот признак, при котором целевая функция имеет экстремальное значение, т.е.

$$F_1(x_{1*}) = \min(\max) F(y), \quad x_{1i} \in x(1). \qquad (4)$$

На следующих шагах из класса $x(1)$ берется только признак x_{1*}.

Второй шаг предусматривает фиксацию всех элементов, кроме x_{2i} и определяется оптимальный элемент x_{2*}

$$F_2(x_{2*}) = \min F(y), \quad x_{2i} \in x(2). \qquad (5)$$

На последующем k-ом шаге фиксируются все признаки, кроме x_{ki}, причем предыдущие (k-1) признаки вектора y принимаются оптимальными, выбранными на предшествующих шагах. Определяем по аналогии оптимальный признак

$$x_{k*} = F_k(x_{k*}) = \min F(y), \quad x_{ki} \in x(k). \qquad (6)$$

На шаге m выбираем по аналогии оптимальный признак x_{m*}. В результате получаем оптимальный вектор $y_* = (x_{1*}, x_{2*}, \ldots, x_{m*})$, обеспечивающий минимум (максимум) целевой функции Z и состоящий из оптимальных признаков

$$Z_{\min(\max)} = F(y_*) = \min(\max) F(y), \quad x_{1i} \in A. \tag{7}$$

Предложенный метод позволяет существенно сократить количество оценок вариантов, поскольку оно определяется по формуле

$$N_{o1} = \sum_{i=1}^{m} n_i\,, \tag{8}$$

а не по формуле $N_o = \prod_{i=1}^{m} n_i$, в которой учитывается произведение n_i.

Он имеет определенную область применения, которая зависит как от вида целевой функции, так и характера зависимостей ее значений от элементов различных классов. В связи с этим его использование возможно в следующих случаях:

а) целевая функция сепарабальна

$$Z = \sum_{i=1}^{m} f_i(a_i)\text{, а} \tag{9}$$

$$f_i(a) = f_i\big(g_i(x(i))\big), \tag{10}$$

тогда

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^{m} \min f_i(a_i) = \sum_{i=1}^{m} f_i\big(g_i(x_{i*})\big); \tag{11}$$

б)

$$Z = \prod_{i=1}^{m} f_i(a_i). \tag{12}$$

При выполнении условия (10)

$$Z_{\min} = \prod_{i=1}^{m} \min\, f_i(a_i); \tag{13}$$

в)

$$Z = F(a_1, a_2, \ldots, a_m). \tag{14}$$

При выполнении условия (10) целевая функция является монотонной относительно каждой из переменных $a_1,\ \ldots, a_m$ в области изменения элементов, определенной векторами $y \in \Lambda$;

г) наиболее общее условие применения, когда выполняются условия (10) и (14), а целевая функция обладает тем свойством, что критические точки по ее частным производным и знаки производных не зависят от других переменных, т.е. решение уравнения $dZ/da_i = 0$ в области задания $a_1,\ \ldots, a_m$ не зависят от a_k при $k \neq i$.

В этом случае

$$\begin{aligned} &Z_{\min} = \min(\min \ldots (\min F(y))\ldots) \\ &x_{\min} \in x(m);\, x_{(m-1)} \in x_{(m-1)};\, x_{1i} \in x(1). \end{aligned} \tag{15}$$

Например, целевая функция является номиналом относительно $a_1, \ldots, a_m$, при условии, что все коэффициенты номинала положительны;

д) рассмотренное выше условие может быть расширено в случае, когда

$$Z = F(a_1, a_2, \ldots, a_S), \tag{16}$$

где каждый морфокласс определяет (без влияния других морфоклассов) один или несколько коэффициентов a_i.

Критические точки целевой функции по переменным a_i не зависят от тех переменных a_j, которые определяются элементами других классов x.

Рассмотренные условия применения метода ограниченного перебора вариантов показывают, что он может применяться для выбора оптимальных решений в частных случаях, когда целевая функция учитывает один вид затрат. Например, выбор оптимальной технологии проведения выработки по стоимости ее сооружения, способа охраны – по стоимости поддержания, средств основного транспорта – по затратам на доставку горной массы и т.д.

В тех же случаях, когда для оптимизации применяется комплексная целевая функция, учитывающая разнородные виды затрат, указанный метод не применим из-за нарушения пунктов г) и д).

Поэтому для расширения области применения данного метода была разработана его модифицированная версия. Ее сущность заключается в следующем.

Пусть $$Z = F(a_1, a_2, \ldots, a_S, a_{S+1}, \ldots, a_{S+e}), \tag{17}$$

где при фиксированных $a_{S+1}, \ldots, a_{S+e}$ функция F и $a_1, a_2, \ldots, a_S$ удовлетворяют условию (10) и пункту д).

Тогда вначале находится оптимальное значение $x_{1*}, x_{2*}, \ldots, x_{S*}$ по методу ограниченного перебора. Затем определяются остальные e переменные по методу полного перебора $x_{(S+1)}, \ldots, x_{(S+e)}$.

Если имеется несколько групп таких переменных ρ, то задача решается аналогично. При этом полный перебор производится только по каждой группе в отдельности при фиксированных значениях переменных других групп.

Количество оцениваемых вариантов в этом случае равно

$$N_{o2} = \sum_{i=1}^{S} n_i + \prod_{i=S+1}^{S+e} n_i \,. \tag{18}$$

Эффективность разработанных методов была проверена на регрессионных моделях укрупненных стоимостных показателей, по которым ранее были разработаны соответствующие распознающие системы и уравнения [1].

Для этого в результате полного перебора всех сочетаний учтенных в моделях факторов были установлены оптимальные значения стоимостных показателей для различных видов горных работ. Затем эти же значения показателей были определены по изложенным выше методам и при этом было подсчитано количество выполняемых оценочных расчетов (циклов). Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица – Результаты оценки количества циклов оценочных расчетов

Массив	Количество циклов расчетов			Коэффициент уменьшения циклов оценочных расчетов
	N_o	N_{o1}	N_{o2}	
1	48	-	-	-
2	288	-	-	-
3	180	-	26	6,9
4	288	-	38	7,6
5	432	-	54	8,0
6	64	-	12	5,3
7	924	-	84	11,0
8	243	15	-	16,2
9	792	32	-	24,8
10	81	12	-	6,8
11	81	12	-	6,8
12	108	13	-	8,3

Продолжение таблицы

Массив	Количество циклов расчетов			Коэффициент уменьшения циклов оценочных расчетов
	N_o	N_{o1}	N_{o2}	
13	972	19	-	51,2
14	972	19	-	51,2
15	162	14	-	11,6
16	972	19	-	51,2
17	162	24	-	6,15
18	162	24	-	6,75
19	486	27	-	18,0
20	36	10	-	3,6
21	864	-	21	41,1
22	36	10	-	3,6
23	108	13	-	8,3
24	81	-	-	-
25	243	-	84	2,9
26	216	15	-	14,4
27	216	15	-	14,4
28	324	16	-	20,20
29	972	19	-	51,2
30	144	14	-	10,3
31	324	-	-	-
32	864	-	-	-
33	90	33	-	2,7

Приведенные в ней данные показывают, что предложенные методы наиболее эффективны при больших количествах вариантов, сформированных по методу сплошного перебора. Для них коэффициент снижения трудоемкости расчетов превышает 40, т.е. количество циклов расчетов уменьшается не менее, чем в 40 раз. В то же время было установлено, что оба предложенных метода не применимы в случаях, когда имеются взаимосвязи между элементами различных классов, отражающиеся на значениях целевой функции. Например, в случае, когда лучший вариант по затратам на поддержание, при варьировании элементов одного класса, не является лучшим по затратам на проведение при варьировании элементов другого класса при фиксированном значении первого.

Поиск оптимального варианта в этом случае возможен только в результате их полного перебора.

Библиографический список

1. Окалелов В.Н. Методика прогнозирования укрупненных стоимостных показателей горных работ в условиях рынка / В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2001. – № 10. – С. 44-46.