

С.В. АБГАРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Մոլիբդենի հարստացման գործընթացի համար արգումենտների խմբակային նախնական սերտորոշ իրադրված մոդելի և գործընթացի ինտուիտ լաբորանտի հիման վրա օպտիմալ են հանրառարարից մոլիբդենի կորզման կորուստները պակասեցնող արգումենտները:

На основании модели, построенной методом группового учета аргументов (МГУА) для флотационного процесса молибдена, и последующей оптимизации процесса получены рекомендации, позволяющие снизить потери извлечения молибдена из руды.

Табл. 3. Библиогр. 4 назв.

Recommendations are offered permitting to decrease the losses during molybdenum extraction from the ore. The results obtained allowed to create a model constructed by the method of argument group registration.

Tables 3. Ref. 4.

В связи со сложностью физико-химических процессов, протекающих во флотационной пульпе, механизмы флотационного извлечения из руды редких и драгоценных металлов довольно сложны и недостаточно изучены [1]. Непрерывный технологический процесс обогащения ставит перед оператором-технологом задачу: выбирать в каждой ситуации значения управляющих воздействий. Не пренебрегая и не переоценивая роль оператора в современном производстве, необходимо выбрать из всего многообразия действующих в процессе факторов наиболее важные и необходимые для управления воздействия. Задачу в такой постановке можно решить методом математического моделирования.

Применение существующих в настоящее время методов и способов упрощения моделей непозволительно снижает их точность или же резко ограничивает их возможности. Одним из эффективных способов решения указанных проблем является построение и применение многорядных иерархических моделей [2, 3]. Необходимые данные для построения таких моделей можно получить или путем реализации ряда научных экспериментов непосредственно на действующем производстве, или же используя имеющийся в исследованиях и отчетах богатый материал. Известно, в частности, что содержание молибдена в руде изменяется в достаточно широких пределах (0,042...0,072%), а качественные и количественные показатели готовой продукции - молибденового концентрата - имеют большие разбросы (среднеквадратические отклонения содержания молибдена и массы концентрата составляют

соответственно $\sigma_{\mu}=1,23\%$ и $\sigma_{\epsilon}=934$ кг) [4], которые можно уменьшить применением эффективных методов управления.

Точность классических регрессионных моделей сложных, в особенности обогатительных технологических процессов, когда степень полиномов и структуру модели задает исследователь, относительно невелика [4]. Задача синтеза математических моделей сложных объектов, когда вид функции неизвестен, удачно решается при помощи метода эвристической самоорганизации, основанного на принципе многокритерийной селекции. Алгоритм многоуровневого выбора и основанный на нем метод группового учета аргументов (МГУА) позволяют получить описания, по сложности приближающиеся к процессу с относительно малым числом экспериментальных точек [3,4]. Высокая точность в МГУА достигается за счет оптимизации сложности модели. В его алгоритмах есть генераторы усложняющихся из ряда в ряд комбинаций и пороговые самоотборы лучших из них [3].

Используя один из разновидностей алгоритма МГУА, на основании лабораторных данных обогатительной фабрики, получена модель, связывающая извлечение ϵ с реагентами и промежуточными параметрами измельчения руды:

$$\epsilon = F(\bar{a}, \bar{x}), \quad (1)$$

где \bar{a} - вектор неизвестных параметров: $\bar{x}^T = (x_1, \dots, x_n)$; x_1, x_2 - среднесменный процент содержания гранул класса +20 μ и -74 μ в измельченной руде соответственно; x_3 - среднесменная плотность пульпы, поступающей на коллективную флотацию; x_4, \dots, x_6 - остаточные концентрации извести, сернистого натрия, ксантогената, жидкого стекла, соды и ОПСБ соответственно в флоткамерах; x_{10} - среднесменная плотность доизмельчения; $x_{11} = \alpha$ - содержание M_2 в исходной руде.

Полное описание объекта (1) заменяется несколькими рядами частных описаний, каждое из которых является функцией только двух аргументов.

Первый ряд селекции:

$$y_1 = f(x_1, x_2); y_2 = f(x_1, x_3); \dots y_s = f(x_{s-1}, x_n), \text{ где } s = C_n^2.$$

Второй ряд селекции:

$z_1 = f(y_1, y_2); z_2 = f(y_1, y_3); \dots z_p = f(y_{p-1}, y_s)$, где $p = C_s^2$ и т.д. Исключая промежуточные переменные, можно получить аналог полного описания (1).

Частные описания аппроксимировались квадратичными полиномами

$$r_k = (\xi_0, \xi_1) = \bar{\xi}^T \cdot Q \cdot \bar{\xi} + b^T \cdot \bar{\xi} + c, \quad (2)$$

где r_k - переменные соответствующих уровней ($r_k = y_1, \dots, r_k = \epsilon$);

$\bar{\xi} = [\xi_0, \xi_1]^T$ - вектор переменных соответствующих уровней;

$Q = \{q_{ij}\}$ - матрица размером 2×2 , $q_{ij} = q_{ji}$; $b = [b_1, b_2]^T$; c - свободный член.

Число экспериментальных точек выбрано $N=40$. Анализ среднеквадратической ошибки на проверочной последовательности [3] показал, что оптимальным является соотношение $N_{об}/N_{пр} = 30/10$, где $N = N_{об} + N_{пр} - N_{об}$ - число точек в обучающей последовательности; $N_{пр}$ - число точек в проверочной последовательности.

В качестве критерия регулярности выбрана среднеквадратическая ошибка - $\sigma_{пр}$ на проверочной выборке. Селекция прекращалась на 5-ом уровне. Результаты расчетов на ЭВМ приведены в табл. 1.

Среднеквадратическая ошибка распределена по уровням следующим образом $\sigma_{пр I} = 0,0756745$, $\sigma_{пр II} = 0,0627325$, $\sigma_{пр III} = 0,0563714$, $\sigma_{пр IV} = 0,0542445$, $\sigma_{пр V} = 0,0541745$. Квадрат коэффициента корреляции - $R^2 = 0,98584$.

Как видно из табл. 1, в модель не входит только переменная x_2 , которая учитывается косвенным образом через другие переменные. На переменные накладываются ограничения

$$x_{1max} \leq x_1 \leq x_{1min} \quad (3)$$

приведенные в табл. 2, где x_{ij} - средние значения переменных по выборке.

Таблица 1

$R_i(\xi_i, \xi_{j1})$	c	h_{j1}	h_{j2}	q_{j1}	$2q_{j2}$	q_{j3}
$y_1(x_1, x_{10})$	-315,965	-3,0782	0,5632	0,017350	0,0024360	-0,000125
$y_2(x_1, x_{11})$	-17,7328	0,00202	567,73	0,0000008	-0,326900	-1552,833
$y_3(x_4, x_7)$	0,80111	-0,3608	0,0374	0,022875	0,0024115	-0,0000003
$y_4(x_5, x_8)$	-28,4355	-1,8194	0,0591	-0,01236	0,0016704	-0,0000030
$y_5(x_6, x_9)$	-1,05613	0,3159	0,9055	0,044477	-0,113784	-0,062011
$y_6(x_7, x_{11})$	-3,68952	-0,0113	172,11	-0,000041	0,8035940	-1888,168
$y_7(x_9, x_{11})$	-2,57701	1,22003	0,7262	0	-0,259374	0
$y_8(y_1, y_6)$	-0,04774	-0,1648	1,0058	0,537213	0	-0,130859
$y_9(y_1, y_6)$	-1,13819	1,66902	1,6124	-0,52937	0	0
$z_4(y_4, y_7)$	-0,75426	0,68159	2,7956	0	0	-1,919913
$z_5(y_5, y_1)$	-0,59197	-4,68363	-1,402	-6,88469	5,9491520	-1,0281081
$z_6(y_4, y_7)$	-1,19421	1,50341	2,2864	0	0	-1,203550
$z_7(y_6, y_7)$	-0,63067	1,71063	1,4075	-1,79169	1,2982120	-1,180427
$u_1(z_1, z_6)$	-0,04778	-0,1648	1,0058	0,537213	0	-0,130860
$u_2(z_4, z_7)$	0,000863	0,38197	0,3563	0,886676	-1,718764	1,2170780
$w_1(z_4, z_7)$	0,155354	-0,8187	1,1031	-0,65011	3,7685880	-2,340158
$v_2(u_1, u_1)$	-0,02225	-0,0756	1,0900	0,843003	-0,812956	0
$v_3(u_1, u_1)$	0,031476	1,04464	-0,332	-0,32213	0,1511350	0,5488300
$f(0, u_4)$	0,586165	0,37282	-0,015	-0,08424	0,1075150	0

Таблица 2

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$x_{11} = \alpha$
x_{min}	3,3	1197	3,1	7,3	3,0	28,5	2,3	2,4	1126	0,042
x_{max}	5,9	1252	8,0	14,0	4,4	55,0	4,8	4,4	1169	0,072
$\alpha_{ср}$	4,7	1229	5,3	11,9	4,1	43,2	3,5	3,2	1150	0,053

Определение оптимальных параметров, максимизирующих извлечение (1) с учетом указанных ограничений, сводится к задаче нелинейного программирования. Задача решена с помощью программного пакета MINPACK, входящего в состав прикладных программ EISPACK, ее результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

α	$\epsilon_{ср}$	ϵ_{max}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
0.042	0.714	0.816	5.9	1252	3.1	14.0	3.0	28.5	4.4	2.4	1126	
0.045	0.874	0.857	5.9	1252	3.1	7.3	3.0	33.3	4.8	2.73	1126	
0.049	0.807	0.863	3.3	1252	3.1	14.0	3.0	28.5	4.8	2.4	1126	
0.053	0.832	0.880	3.3	1197	8.0	7.3	3.0	44.2	4.8	2.4	1126	
0.0532	0.832	0.890	3.3	1252	8.0	9.05	4.4	43.7	3.6	2.4	1144	
0.056	0.830	0.888	3.3	1197	8.0	7.3	3.0	45.2	4.8	2.55	1126	
0.060	0.812	0.876	3.3	1197	8.0	7.3	3.0	46.4	4.8	2.4	1126	
0.064	0.767	0.826	3.3	1197	8.0	7.3	3.0	55.0	4.8	2.4	1126	
0.068	0.691	0.730	3.3	1197	3.1	10.2	3.0	55.0	3.7	4.4	1169	
0.072	0.623	0.744	3.3	1252	8.0	11.3	3.0	28.5	2.3	2.4	1169	

Зависимости $\epsilon_{ср} = f(\alpha)$, приведенные в табл. 3, позволяют определить оптимальные значения переменных по выбранному критерию, исходя из процентного содержания молибдена в руде. Эти значения рекомендуется использовать в качестве уставок (задающие воздействия) для регуляторов. Как видно из табл. 3, оптимальным является значение $\alpha = 0.0532$, для которого извлечение $\epsilon = 0.89$. По данным производства Каджаранского медно-молибденового комбината, за 1983-85 гг. извлечение молибдена в концентрат составляло $\epsilon = 0.8223$ для среднего содержания молибдена в руде $\alpha_{ср} = 0.053$ (см. табл. 2). Как следует из результатов оптимизации, среднему содержанию молибдена в $\alpha_{ср} = 0.053$ соответствует $\epsilon_{ср} = 0.88$ (см. табл. 3), то есть технология флотационного процесса на комбинате не осуществлялась оптимальным образом, из-за чего производство несло дополнительные потери молибдена, содержащегося в руде (5,77%).

Результаты, полученные в работе, позволяют довести извлечение до значения $\epsilon = 0.89$ и получить достаточный экономический эффект, если соблюдать оптимальные уставки технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокер Л.В., Швиденко А.А. Управление параметрами флотации. - М.: Недра, 1979. - 232 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 339 с.
3. Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Дмитров В.Д. Принятие решения на основе самоорганизации. - М.: Сов. радио, 1976. - 280 с.
4. Абгарян С.В. Построение математической модели процесса флотации методом группового учета аргументов // Автоматика и вычислительная техника. Сер. XV: Межвуз. сб. науч. тр. / ЕрПИ. - Ереван, 1980. - Вып. 5. - С. 6-9.

ГИУА

30.01.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 1, 1998, с. 71 - 75

УДК 621.311

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Н.Н. ПЕТРОСЯН, С.Р. АБЕЛЯН

ТРАНЗИСТОРНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ИНВЕРТОР С КОМБИНИРОВАННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ուսումնասիրվում են էլեկտրոնային լարման համակարգած կարգավորումով նոր տրանզիստորային ռեզոնանսային ձևափոխիչների սխեման հետ կապված հարգելի վարքագիծը փոքրածախսով և ռեզոնանսային ձևափոխիչների երկու կիսախանրչակավան լարման, որոնք օգնությամբ կրողներով էլ էլեկտրոնային լարման խափանիչ և հաշվարկային կարգավորում, որը հանդես է առնում հաշվարկային հաճախակների կարգավորման փոքրիկ նվազման, ինչը նկատարարություն է ստանալու բավարանելու լարման ձևափոխիչի մոնիթորինգային և ներգծելիական ցուցանիշները:

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой новых транзисторных резонансных преобразователей с комбинированным регулированием выходного напряжения. Устройство содержит две полумостовые схемы резонансных преобразователей, с помощью которых осуществляется фазовое и частотное регулирование выходного напряжения, приводящее к сужению диапазона регулирования рабочей частоты и улучшающее массо-габаритные показатели преобразователя.

Ил. 4. Библиогр.: 2 назв.

Problems on development of new transistor resonance transformers and combined output voltage control are considered. The device contains two semibrige circuits of resonance transformers. They realize phase and frequency output voltage control resulting in narrowing the range of operating frequency control and improving mass-clearance transformer indices.

Ил. 4. Ref. 2.

Наиболее перспективным направлением развития современных транзисторных преобразователей является использование