

**С.Ш. БАЛАСАНЯН, Э.М. ГЕВОРГЯН**

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕАГЕНТНОГО РЕЖИМА ФЛОТАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ**

*(Капан)*

Рассмотрена задача определения оптимального реагентного режима процесса флотации руды с учетом случайных факторов как задача стохастического программирования. Выявлены законы распределения вероятностей характеристик исходной и измельченной руды (пульпы), с использованием которых построена имитационная модель для оптимизации реагентного режима процесса флотации медно-молибденовой руды. Построенная модель, в отличие от существующих, учитывает влияние случайных изменений характеристик исходной руды и пульпы на эффективность флотации.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, измельчение руды, пульпа, флотация, задача стохастического программирования.

**Введение.** Как показывает практический опыт переработки медно-молибденовых руд [1,2], в среднем 6% потерь ценных компонентов обусловлены нестабильностью характеристик исходной руды и измельченной руды (пульпы), поступающей из системы измельчения руды на флотацию, и отсутствием системы стохастического управления флотационным процессом. Пренебрежение случайных изменений характеристик исходной и измельченной руды (пульпы) заметно снижает точность управления реагентным режимом конечного процесса обогащения руды – флотации. Следовательно, при определении оптимального реагентного режима флотации необходимо учитывать влияние указанных выше случайных факторов.

**Постановка задачи и выбор метода исследования.** Задача оптимизации реагентного режима процесса флотации руды традиционно сводится к детерминированной задаче математического программирования с поиском экстремума показателя эффективности – функции цели  $y = f(u, x)$  и параметров реагентов ( $u$ ) при заданных характеристиках исходной руды и пульпы ( $x$ ) с ограничениями на нижние и верхние значения искомым параметров [3, 4]. Однако как характеристики исходной руды, так и характеристики пульпы, определяющие состояние внешней среды, вследствие воздействия случайных факторов являются случайными величинами. Учитывая это обстоятельство, задачу оптимизации реагентного режима флотации необходимо рассматри-

вать как задачу стохастического программирования, ибо при каждом конкретном значении вектора  $u$  значения случайной функции цели  $\tilde{y} = f(u, \tilde{x})$  зависят от реализаций случайного вектора  $\tilde{x}$ .

Исходя из сказанного, задача оптимизации реагентного режима процесса флотации руды формулируется как задача стохастического программирования [4, 5] и сводится к отысканию экстремума математического ожидания функции цели

$$M[f(u, \tilde{x})] \rightarrow \text{ext} \quad (1)$$

при ограничениях  $u \in U$ .

Выбор показателя эффективности технологического процесса флотации медно-молибденовой руды является одним из важнейших этапов в исследовании эффективности функционирования технологической системы обогащения руды, поскольку он оказывает существенное влияние на интерпретацию свойств системы и результатов исследований. Наибольшему числу требований, предъявляемых к критериям эффективности обогатительных процессов, удовлетворяет прибыль, получаемая от всего производства концентратов [2-4]. Прибыль характеризует эффективность процесса флотации с точки зрения конечной цели производства концентратов, учитывает количественные и качественные характеристики выпускаемой продукции, производственные затраты, степень извлечения полезных компонентов, а также изменение рыночных условий.

Следует отметить, что наряду с прибылью ( $\hat{y}_1$ ) эффективность флотации характеризуется рядом технологических показателей, важнейшими из которых являются среднесменное содержание  $Mo$  в молибденовом концентрате ( $y_2$ ), извлечение молибдена ( $y_3$ ), среднесменное содержание  $Si$  в медном концентрате ( $y_4$ ) и извлечение меди ( $y_5$ ). На эти показатели, которые также зависят от векторов  $u$  и  $x$ , накладываются определенные ограничения. Тогда задача оптимизации реагентного режима процесса флотации медно-молибденовой руды, сформулированная как задача стохастического программирования (2), сводится к максимизации математического ожидания функции цели при ограничениях, наложенных на  $u$  и на технологические показатели  $y_2, y_3, y_4, y_5$ :

$$\begin{cases} M[y_1] = M[f_1(u, \tilde{x})] \rightarrow \max_{u \in U}, \\ y_2 = f_2(u, \tilde{x}) \geq \beta_{Mo}, \\ y_3 = f_3(u, \tilde{x}) \geq \varepsilon_{Mo}, \\ y_4 = f_4(u, \tilde{x}) \geq \beta_{Cu}, \\ y_5 = f_5(u, \tilde{x}) \geq \varepsilon_{Cu}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\beta_{Mo}$ ,  $\varepsilon_{Mo}$ ,  $\beta_{Cu}$ ,  $\varepsilon_{Cu}$  - плановые значения показателей  $y_2, y_3, y_4, y_5$ .

Учитывая сложность поставленной задачи, для ее решения целесообразно использовать метод имитационного моделирования.

**Результаты исследования.** В соответствии с (2) математическая модель процесса флотации руды представляется совокупностью следующих функции цели и ограничений:

$$\begin{cases} \hat{y}_1 = f_1(u, x), \\ \hat{y}_2 = f_2(u, x), \\ \hat{y}_3 = f_3(u, x), \\ \hat{y}_4 = f_4(u, x), \\ \hat{y}_5 = f_5(u, x). \end{cases} \quad (3)$$

Методом экспертной оценки были определены следующие важнейшие входные и управляющие переменные указанной выше модели.

**Входные переменные:**

- *характеристики пульпы:* расход (переработка) руды в течение смены ( $x_1$ , в тоннах), среднесменные содержания класса  $< 80$  мкм в пульпе ( $x_2$ , %), среднесменное значение плотности пульпы ( $x_3$ , г/л);

- *характеристики исходной руды:* среднесменные содержания в руде (%)  $Mo$  общего ( $x_4$ ),  $Mo$  сульфидного ( $x_5$ ),  $Cu$  общей ( $x_6$ ) и  $Cu$  окисленной ( $x_7$ ).

**Управляющие переменные:**

- *цикл коллективной флотации:* среднесменные значения расходов (г/т) извести ( $u_1$ ),  $Na_2S$  ( $u_2$ ), бутилового ксантогената ( $u_3$ ), вспенивателя ОПСБ или Т 92 ( $u_4$ );

- *цикл селективной ( $Mo$ ) флотации:* среднесменные значения расходов (г/т) керосина ( $u_5$ ) и  $Na_2S$  ( $u_6$ );

- цикл селективной (Cu) флотации: среднесменные значения расходов ( $z/m$ ) известны ( $u_7$ ), бутилового ксантогената ( $u_8$ ).

На основании среднесменных значений указанных выходных переменных и входной переменной  $x_{1i}$  значения прибыли для каждой  $i$ -й смены вычисляются по формуле

$$\hat{y}_{1,i} = \frac{y_{1i} \cdot y_{2i}}{100} \cdot C_{Mo} + \frac{y_{4i} \cdot y_{5i}}{100} \cdot C_{Cu} - x_{1i} \cdot C_p - L, \quad (4)$$

где  $x_{1i}, y_{1i}, y_{2i}, y_{4i}, y_{5i}$  - значения соответствующих переменных для  $i$ -й смены;  $C_{Mo}$  и  $C_{Cu}$  - рыночные цены на молибден и медь соответственно;  $C_p$  - затраты на переработку 1 т руды в течение смены;  $L$  - условно-постоянная часть затрат, приведенная к одной смене (в у.е.).

Таким образом, с учетом соотношения (4) флотационный процесс формально можно представить следующим образом (рис. 1).

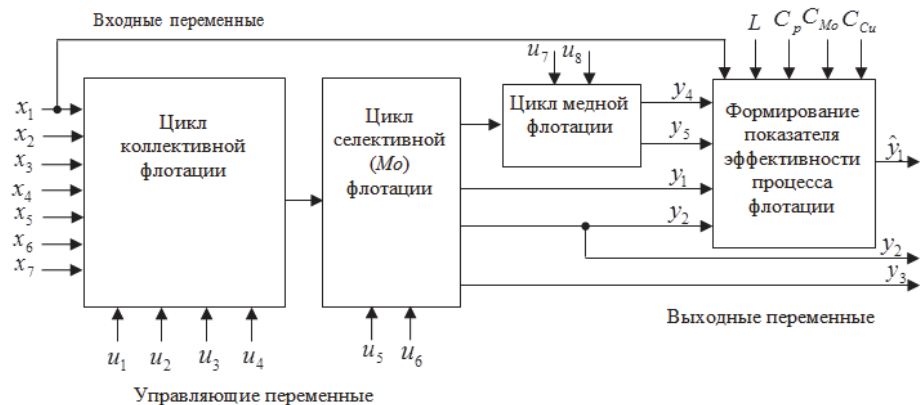


Рис. 1. Формализованная структурная схема процесса флотации

Математическая модель процесса флотации (3) может быть построена методами регрессии, группового учета аргументов или мягкими вычислительными методами [6].

Для имитации воздействий случайных изменений характеристик исходной руды и пульпы необходимо идентифицировать функции распределения указанных характеристик. С этой целью использовались среднесменные статистические данные, полученные при апробировании отделом технического контроля Зангезурского медно-молибденового комбината (ЗММК). На осно-

вании этих данных были построены гистограммы характеристик пульпы и исходной руды (рис. 2-8).

Исходя из вида гистограммы каждой характеристики, было выдвинуто гипотезы о законах распределения. При этом в качестве гипотетических распределений были рассмотрены нормальное и логарифмически-нормальное распределения. Для проверки согласия эмпирических и теоретических распределений использовался критерий  $\chi^2$  Пирсона [7], который особенно мощен при больших выборках ( $n > 100$ ). Все выдвинутые гипотезы о законах распределения характеристик исходной руды были приняты при общем уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

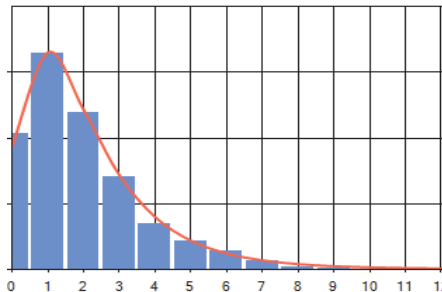
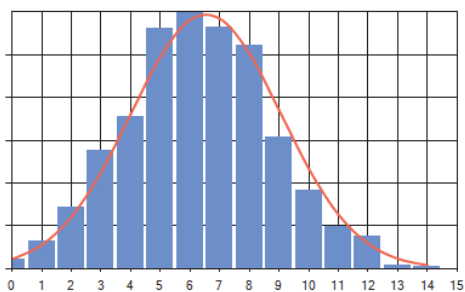


Рис.2. Масса переработанной руды ( $x_1$ ) Рис.3. Содержание класса <80мкм ( $x_2$ )

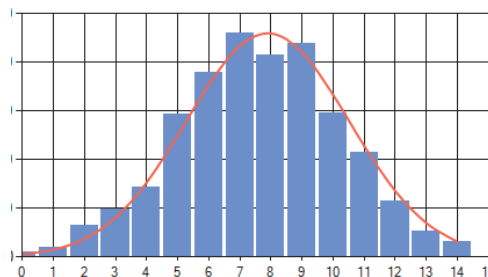
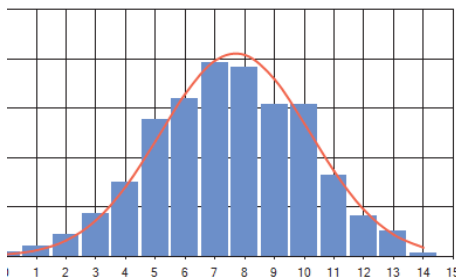


Рис.4. Плотность пульпы ( $x_3$ ) Рис.5. Общее содержание Mo в руде ( $x_4$ )

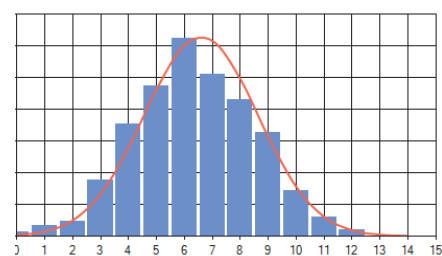
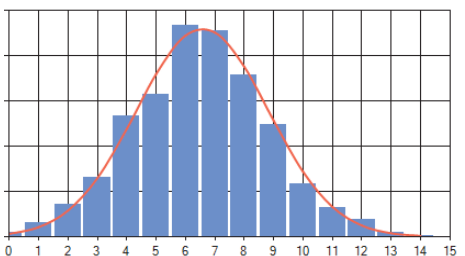


Рис.6. Содержание Mo сульфидного ( $x_5$ ) Рис.7. Общее содержание Si в руде ( $x_6$ )

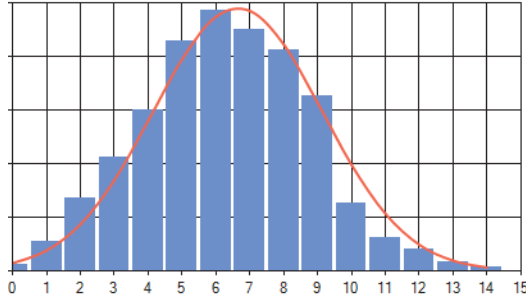


Рис. 8. Содержание  $Cu$ , окисленной в руде ( $x_7$ )

Ниже приведены аналитические выражения плотностей функций распределения характеристик пульпы и исходной руды.

1. Масса переработанной в течение смены руды ( $x_1$ ):

$$f(x_1) = \exp\left(-\frac{(x_1 - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) / \sigma_1 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_1 - 19140)^2}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^6}\right) / 1340\sqrt{2\pi}.$$

2. Среднесменное содержание класса  $< 80$  мкм в пульпе ( $x_2$ ):

$$f(x_2) = \exp\left(-\frac{(\ln x_2 - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) / \sigma_2 \sqrt{2\pi} x_2 = \exp\left(-\frac{(\ln x_2 - 55,5)^2}{2 \cdot 0,4225 \cdot 10^6}\right) / 0,65\sqrt{2\pi} x_2.$$

3. Среднесменное значение плотности пульпы ( $x_3$ ):

$$f(x_3) = \exp\left(-\frac{(x_3 - \mu_3)^2}{2\sigma_3^2}\right) / \sigma_3 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_3 - 1290)^2}{2 \cdot 374,42}\right) / 19,35\sqrt{2\pi}.$$

4. Среднесменное общее содержание  $Mo$  в руде ( $x_4$ ):

$$f(x_4) = \exp\left(-\frac{(x_4 - \mu_4)^2}{2\sigma_4^2}\right) / \sigma_4 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_4 - 0,0325)^2}{2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}}\right) / 0,00866\sqrt{2\pi}.$$

5. Среднесменное содержание  $Mo$  сульфидного в руде ( $x_5$ ):

$$f(x_5) = \exp\left(-\frac{(x_5 - \mu_5)^2}{2\sigma_5^2}\right) / \sigma_5 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_5 - 0,0315)^2}{2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}}\right) / 0,00866\sqrt{2\pi}.$$

6. Среднесменное общее содержание  $Cu$  в руде ( $x_6$ ):

$$f(x_6) = \exp\left(-\frac{(x_6 - \mu_6)^2}{2\sigma_6^2}\right) / \sigma_6 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_6 - 0,233)^2}{2 \cdot 10^{-3}}\right) / 0,0316\sqrt{2\pi}.$$

7. Среднесменное содержание  $Cu$  в руде ( $x_7$ ):

$$f(x_7) = \exp\left(-\frac{(x_7 - \mu_7)^2}{2\sigma_7^2}\right) / \sigma_7 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_7 - 0,0234)^2}{2 \cdot 1,65 \cdot 10^{-5}}\right) / 0,0041\sqrt{2\pi}.$$

Матрица коэффициентов взаимной корреляции  $\|r_{ij}\| (i, j = \overline{1,3})$  характеристик пульпы имеет следующий вид:

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
$\ r_{ij}\  =$	$x_1$	1	-0,24	0,195
	$x_2$	-0,24	1	-0,523
	$x_3$	0,195	-0,523	1

Матрица коэффициентов взаимной корреляции  $\|r_{ij}\| (i, j = \overline{4,7})$  характеристик исходной руды имеет следующий вид:

	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	
$\ r_{ij}\  =$	$x_4$	1	0,9999	-0,4427	0,1310
	$x_5$	0,9999	1	-0,4424	0,1326
	$x_6$	-0,4427	-0,4424	1	0,3592
	$x_7$	0,1310	0,1326	0,3592	1

Укрупненная блок-схема компьютерной модели для оптимизации реагентного режима процесса флотации руды с учетом влияния случайных изменений характеристик исходной руды и пульпы приведена на рис. 9.

Моделирующий алгоритм функционирует следующим образом.

После пуска имитационной программы блок 1 осуществляет ввод исходных данных моделирования, а блок 2 устанавливает начальное значение счетчика-оператора количества прогонов модели. Затем блок 3 в соответствии с планом компьютерного эксперимента генерирует очередное допустимое значение вектора  $u_j = (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{8j})$ . После чего блок 4 устанавливает начальное значение счетчика-оператора количества реализаций модели для оче-

редного  $j$ -го прогона. Затем вступает в действие блок 5, который в соответствии с заданными оценками математических ожиданий  $\mu_i$  и средне-квадратических отклонений  $\sigma_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ) характеристик пульпы  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3$  и их корреляционной матрицей  $\|r_{ij}\|$  ( $i, j = \overline{1,3}$ ) формирует возможные значения  $x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}$  характеристик пульпы.

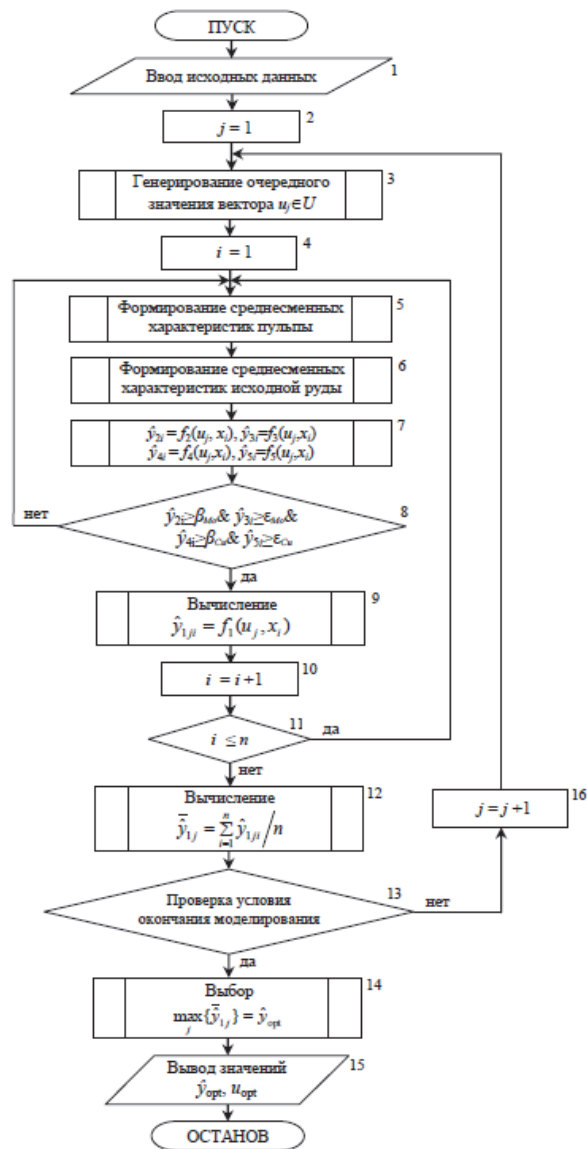


Рис. 9. Укрупненная блок-схема имитационной модели

После чего блок 6 формирует возможные значения  $x_{4i}, x_{5i}, x_{6i}, x_{7i}$  характеристик исходной руды в соответствии с заданными оценками математических ожиданий  $\mu_i$  и среднеквадратических отклонений  $\sigma_i$  ( $i = \overline{4,7}$ ) характеристик пульпы  $\tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6, \tilde{x}_7$  и их корреляционной матрицей  $\|r_{ij}\|$  ( $i, j = \overline{4,7}$ ). Затем для заданных значений векторов  $u_j$  и  $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{7i})$  с помощью математических моделей (3) вычисляются значения технологических показателей  $\hat{y}_{2i}, \hat{y}_{3i}, \hat{y}_{4i}, \hat{y}_{5i}$  (блок 7) и проверяются условия выполнения ограничений  $\hat{y}_{2i} \geq \beta_{Mo}, \hat{y}_{3i} \geq \varepsilon_{Mo}, \hat{y}_{4i} \geq \beta_{Cu}, \hat{y}_{5i} \geq \varepsilon_{Cu}$  (блок 8). Если условия не выполняются, вступают в действие блоки 5 и 6, которые формируют новые возможные значения характеристик  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{7i}$ . При выполнении ограничений блок 9 для заданных  $u_j$  и  $x_i$  с помощью математической модели (3) вычисляет значение прибыли (функции цели)  $\hat{y}_{1ji}$ , получаемой от производства концентратов в течение  $i$ -й смены. Затем блок 10 увеличивает содержимое счетчика количества реализаций модели для  $j$ -го прогона, а блок 11 проверяет условие окончания очередного прогона ( $i \leq n$ ), включающего  $n$  выборочных точек. В случае  $i \leq n$  процесс имитации продолжается для следующей смены. В противном случае, управление передается оператору 12, который определяет статистическую оценку математического ожидания функции цели  $\bar{y}_{1j}$  для данного значения вектора управляющих переменных  $u_j$  по результатам  $j$ -го прогона, включающего  $n$  реализаций модели. Затем проверяется условие окончания моделирования (блок 13). При его невыполнении управление передается счетчику-оператору 16, который увеличивает содержимое счетчика количества прогонов (значений вектора  $u$ ), после чего управление передается блоку 3, который генерирует очередное допустимое значение вектора  $u$ . По окончании моделирования из полученных в результате значений  $\{\bar{y}_{1j}\}$  выбираются максимальное значение  $\bar{y}_{omn}$  и соответствующее значение вектора  $u_{omn}$  (блок 14), после чего осуществляются их вывод (блок 15), а затем и останов модели.

Формирование возможных реализаций векторов характеристик пульпы  $(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)$  и исходной руды  $(\tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6, \tilde{x}_7)$  (блоки 5,6) осуществляется методом невырожденного многомерного нормального распределения, который

получил наиболее широкое распространение благодаря относительной простоте программной реализации, универсальности и возможности обеспечения высокой адекватности [8].

Отметим, что рассмотренная имитационная модель предназначена для перспективного управления процессом флотации. Следовательно, как модель процесса флотации (3), так и функции плотности распределения характеристик исходной руды и пульпы периодически уточняются на основании накопленных статистических данных.

Генерация допустимых значений вектора  $u$  может быть осуществлена в соответствии с планом компьютерного экстремального эксперимента методами полного и направленного перебора вариантов, а также с использованием оптимизационных пакетов программ (например, OptQuest [9]), обеспечивающих нахождение глобальных оптимальных решений задач нелинейного программирования в составе имитационной модели.

Программная реализация компьютерной модели осуществлена с использованием языка C++.

Дискретно-событийный характер и модульная структура разработанной имитационной модели позволили легко применить один из наиболее мощных методов верификации – трассировку. С целью окончательной валидации (проверки адекватности) и верификации (проверки достоверности) имитационной модели проводился компьютерный эксперимент с контрольной математической моделью процесса флотации.

**Выводы.** Показаны необходимость и целесообразность представления задачи оптимизации реагентного режима процесса флотации руды как задачи стохастического программирования.

На основании статистических данных идентифицированы функции плотности распределения вероятностей характеристик исходной медно-молибденовой руды и измельченного продукта (пульпы).

С использованием выявленных функций плотности распределения вероятностей характеристик исходной и измельченной руды разработана имитационная модель, предоставляющая возможность определить оптимальные расходы реагентов процесса флотации с учетом влияния случайных изменений указанных характеристик на ее эффективность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **King R.P.** Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems.- 2nd Edition. – Boston: Butterworth–Heinemann, 2015. – 416 p.
2. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / **В.В. Морозов, В.П. Топчаев, К.Я. Улитенко и др.** – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
3. Оптимизация управления технологическим процессом флотации молибденовой руды / **С. Кюрегян, Б. Мамиконян, С. Абгарян, С. Баласанян и др.** // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научных трудов ГИУА.- Ереван, 2003.- Вып. 6, №1.- С. 86-93.
4. **Баласанян С.Ш.** Стратифицированное моделирование сложных технологических систем. – Саарбрукен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 385 с.
5. **Юдин Д.Б.** Задачи и методы стохастического программирования. – М.: КРАСАНД, 2010. – 392 с.
6. **Jovanović I., Miljanović I., Jovanović T.** Soft computing–based modeling of flotation processes – a Review // Minerals Engineering. – 2015. – Vol. 84. – P. 34–63.
7. **Кузнецова О.С.** Теория вероятности и математическая статистика. Краткий курс. – М.: Изд-во Окей-книга, 2013. – 191 с.
8. **Ермаков С.М.** Метод Монте–Карло в вычислительной математике. Вводный курс. – СПб.: Невский диалект, 2009. – 192 с.
9. **Аверилл М. Лоу, Кельтон В. Девид** Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб: Питер; Киев: Изд. группа BHV, 2004. – 847 с.

## Ս.Շ. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Հ.Մ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

### ՆՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼ ՊՂՆՁԱՄՈՒԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԻ ՖԼՈՏԱՅՄԱՆ ՌԵԱԳԵՆՏԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ԼԱՎԱՐԿՄԱՆ ՀԱՄԱՐ՝ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ

Դիտարկված է պատահական գործոնների հաշվառմամբ պղնձամոլիբդենային հանքանյութի ֆլոտացման ռեագենտային ռեժիմի լավարկման խնդիրը՝ ներկայացված որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր: Բացահայտված են սկզբնական և մանրացված հանքաքարի (խյուսի) բնութագրերի հավանականությունների բաշխման օրենքները, որոնց օգտագործմամբ կառուցվել է նմանակային մոդել, որը նախատեսված է պղնձամոլիբդենային հանքանյութի ֆլոտացման ռեագենտային ռեժիմի լավարկման համար: Մշակված մոդելը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող մոդելների, հաշվի է առնում սկզբնական հանքաքարի և խյուսի բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցությունը ֆլոտացման արդյունավետության վրա:

**Առանցքային բառեր.** նմանակային մոդելավորում, հանքաքարի մանրացում, խյուս, ֆլոտացում, հավանականային ծրագրավորման խնդիր:

S.SH. BALASANYAN, H.M. GEVORGYAN

**A SIMULATION MODEL FOR OPTIMIZATION OF THE REAGENT  
MODE OF COPPER-MOLYBDENUM ORE FLOTATION, CONSIDERING  
THE RANDOM FACTORS**

The problem of determining the optimal reagent mode of ore flotation taking into account the random factors as a stochastic programming problem is considered. The probability distribution functions of characteristics of the original and the grinded ore (pulp) are identified by using which, a simulation model for optimizing the reagent mode of the copper-molybdenum ore flotation process is built. The constructed model, unlike the existing ones, takes into account the influence of random changes in the characteristics of the initial ore and pulp on the efficiency of flotation.

**Keywords:** simulation modeling, ore grinding, pulp, flotation, stochastic programming problem.

ՀՏԴ 005.931.1:621.865

**ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆ Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀԱՅԿ Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**

**ՓՐԿԱՐԱՐԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՆԱԽԱՏԵՍՎԱԾ ՈՌՔՈՏՆԵՐԻ  
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԵՎ ՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՏԵՍԱԿՆԵՐԸ**

Ուսումնասիրելով փրկարարական աշխատանքների համար նախատեսված ռոբոտների կառավարման և տեղաշարժն ապահովող համակարգերը՝ փորձ է արվել առանձնացնել դրանց այն տեսակները, որոնք հնարավոր են կիրառել արտակարգ իրավիճակներում փրկարարական, որոնողափրկարարական, անհետաձգելի վթարավերականգնողական և այլ աշխատանքներում: Փրկարարական աշխատանքներում կիրառվող ռոբոտների աշխատանքի արդյունավետությունը նվազեցնում են հիմնականում դրանց տեղաշարժման ու կառավարման անհնարինությունը որոշակի իրավիճակներում:

**Առանցքային բաներ.** փրկարարական աշխատանքներ, ռոբոտներ, ռոբոտների կառավարման համակարգեր, ռոբոտների տեղաշարժն ապահովող համակարգեր:

Փրկարարական աշխատանքների համար նախատեսված ռոբոտների զարգացման հիմնական և արդիական ուղղություններից կարելի է առանձնացնել դրանց կառավարումը և տեղաշարժն ապահովող համակարգերի համապատասխանեցումը արտակարգ իրավիճակների հետևանքով ստեղծված միջավայրին և պահանջներին: Ռոբոտատեխնիկական համակարգերը ներկայացնում են կառավարվող սարքերի համակարգ, որոնք հնարավորություն ունեն որոշակի հեռավորության վրա ինքնուրույն տեղաշարժվելու և կատարելու որոշակի գոր-