

# ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

## ПРОГНОЗНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ИДЕАЛНО РАЗДЕЛЯНЕ НА ОБОГАТИТЕЛНИТЕ ПРОДУКТИ

Иван Александров

### ВЪВЕДЕНИЕ

При обогатяването на полезните изкопаеми в зависимост от тяхната сложност (химичен състав, форма на минералите – фазов състав и впръснатост) може да се използва един или комбинация от няколко обогатителни методи и процеси. Поради усложняване на добиваните суровини и повишаване изискванията по отношение на крайната продукция, в съвременните обогатителни фабрики се прилагат все по-разгърнати схеми, при които се прилагат два или повече методи и процеси на обогатяване.

За оценка на резултатите и ефективността на обогатителните процеси се използват редица технологични показатели на обогатяването – съдържание, добив, извличане, коефициент на съкращаване и коефициент на обогатяване (концентрация). За да се постигнат високи технологични показатели при обогатяването, суровината трябва да се подложи на предварителна подготовка. Целта е да се постигне определен зърнометричен състав, при който съдържащите се в суровината минерали на полезните компоненти са в напълно или близко до свободното състояние и чрез съответния метод могат да се отделят от скалната маса.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Частиците на обогатявания продукт (руда или концентрат) се различават преди всичко по физични свойства  $\xi$ . Особеност на минералните суровини и продуктите на обогатяване е, че стойностите на величините, характеризиращи физичните свойства  $\xi$  на частиците се променят непрекъснато в определен диапазон  $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ , поради наличието на срастъци. Дискретната промяна

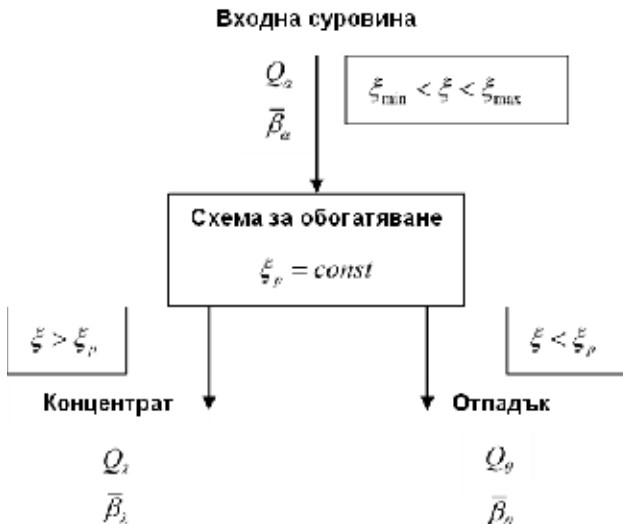
на тези физични свойства е частен случай, например за продукти, състоящи се от чисти минерали.

Крайната фракция (класа)  $[\xi_i, \xi_i + \Delta\xi_i]$  се формира от частици, които са някаква част от твърдата фаза и е в определения диапазон  $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ . Тя е представена само от онези частици, за които физичното свойство се намира между границите на фракцията  $\xi_i < \xi < \xi_i + \Delta\xi_i$  или  $\xi_i < \xi < \xi_{i+1}$ . Размерът на фракцията е  $\Delta\xi_i = \xi_{i+1} - \xi_i$ .

Елементарната фракция  $[\xi_i, \xi_i + d\xi_i]$  се получава, когато размера на крайната фракция клони към нула  $\Delta\xi_i = d\xi \rightarrow 0$ . Разделянето в диапазона  $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$  на крайни фракции (класи) може да се извърши с различни стъпки  $\Delta\xi_i$  - равномерни или неравномерни.



Фиг. 1. Схема на технологична операция



**Фиг. 2.** Технологична схема за обогатяване

Извличането на крайната фракция  $[\xi_i, \xi_{i+1}]$  или  $[\xi_i, \xi_i + \Delta\xi_i]$  в концентрата за отделна технологична операция (фиг. 1) или в схема за обогатяване (фиг. 2) се изразява като отношение на масите на тази фракция в концентрата  $P_{i_\lambda}$  и в захранващия продукт  $P_{i_\alpha}$ :

$$\bar{\varepsilon}_{\lambda_i} = \frac{P_{i_\lambda}}{P_{i_\alpha}} = \frac{Q_\lambda \cdot \bar{\gamma}_{i_\lambda}}{Q_\alpha \cdot \bar{\gamma}_{i_\alpha}} = \frac{Q_\lambda \cdot \gamma_\lambda(\xi_i) \Delta\xi_i}{Q_\alpha \cdot \gamma_\alpha(\xi_i) \Delta\xi_i}, \quad (1)$$

където:

$Q_\lambda$  - пълна производителност по твърдо вещество в концентрата [t/h];

$Q_\alpha$  - пълна производителност по твърдо вещество в захранването [t/h];

$\gamma_\lambda(\xi_i)$  - характеризира разпределението на частиците между фракциите в концентрата;

$\gamma_\alpha(\xi_i)$  - характеризира разпределението на частиците между фракциите в захванването.

При  $\Delta\xi_i \rightarrow 0$ ,  $n \rightarrow \infty$  се получава непрекъснатата функция, която описва разделителната характеристика:

$$\varepsilon_\lambda(\xi) = \frac{Q_\lambda \cdot \gamma_\lambda(\xi) d\xi}{Q_\alpha \cdot \gamma_\alpha(\xi) d\xi} = \bar{\gamma}_\lambda \frac{\gamma_\lambda(\xi)}{\gamma_\alpha(\xi)}, \quad (2)$$

където  $\bar{\gamma}_\lambda = \frac{Q_\lambda}{Q_\alpha}$  е добив на концентрат в относителни единици.

Разделителната характеристика на технологична операция (фиг. 1) или схема (фиг. 2) е непрекъснатата функция  $\varepsilon_\lambda(\xi)$ , показваща извличането на елементарни фракции  $[\xi, \xi + d\xi]$  в концентрата.

В специализираната литература непрекъснатата функция  $\varepsilon_\lambda(\xi)$ , освен като разделителна характеристика, се дефинира като: функция на разделяне, която се означава като крива на разделителните числа; Т-крива на Тромп или разделителна крива [5]; основна технологична характеристика на сепаратора; крива на извличане на фракцията в концентрата и др.

Разделителната характеристика на отпадъка  $\varepsilon_\theta(\xi)$  се получава от  $\varepsilon_\lambda(\xi)$  по формулата:

$$\varepsilon_\lambda(\xi) + \varepsilon_\theta(\xi) = 1 \quad (3)$$

От (3) следва, че е достатъчно да се знае само една от характеристиките  $\varepsilon_\lambda(\xi)$  и  $\varepsilon_\theta(\xi)$ .

Материалният баланс за всяка елементарна фракция  $[\xi, \xi + d\xi]$  в продуктите на обогатяването се описва:

$$q_\lambda(\xi) + q_\theta(\xi) = q_\alpha(\xi); \quad (4)$$

$$q_\lambda(\xi) = \varepsilon_\lambda(\xi) \cdot q_\alpha(\xi),$$

където:

$$q_\lambda(\xi) = Q_\lambda \cdot \gamma_\lambda(\xi) d\xi;$$

$$q_\theta(\xi) = Q_\theta \cdot \gamma_\theta(\xi) d\xi; \quad (5)$$

$$q_\alpha(\xi) = Q_\alpha \cdot \gamma_\alpha(\xi) d\xi.$$

В (4) и (5) с  $q_\lambda(\xi)$ ,  $q_\theta(\xi)$  и  $q_\alpha(\xi)$  са означени производителностите на фракцията  $[\xi, \xi + d\xi]$  в концентрата, отпадъка и във входния продукт.

Идеалната разделителна характеристика  $\varepsilon_{id}(\xi)$  се описва с единична функция  $\bar{I}(\xi - \xi_p)$  - функцията на Хевисайд:

$$\varepsilon_{id}(\xi) = \bar{I}(\xi - \xi_p) = \begin{cases} 1 & \text{за } \xi > \xi_p \\ 0.5 & \text{за } \xi = \xi_p \\ 0 & \text{за } \xi < \xi_p \end{cases}, \quad (6)$$

където  $\xi_p$  е разделителната едрина. В случая  $\xi_p = const$  и е точката, в която  $\xi$  преминава в единица.

При неидеалната единична характеристика с изменението на  $\xi$  са възможни различни криви. Реалните сепаратори и технологични схеми имат неидеални разделителни характеристики.



Фиг. 3. Идеална разделителна характеристика

Границата на разделение  $\xi_p = const$  съответства на елементарната фракция в концентрата, а другата половина - в отпадъка (фиг. 3).

$$\varepsilon_{\lambda}(\xi_p) = 0.5 \quad (7)$$

Продуктите на обогатяването се характеризират с двете функции  $\gamma(\xi)$  и  $\beta(\xi)$ , а обогатителната операция с  $\varepsilon_{\lambda}(\xi)$ . Тези характеристики се използват както за прогнозиране на технологичните показатели на обогатителния процес, така и за прогнозиране на зърнометричния състав в концентрата и отпадъка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на рудоподготвителния процес смилане физическото свойство на рудния пулп „зърнометричен състав”  $l$  се изменя обикновено в границите  $l_{\max} = 200\mu k$  и  $l_{\min} = 60\mu k$ . С помощта на функциите  $\gamma(l)$  и  $\beta(l)$  се изчисляват средните съдържания на компонентата във входния поток, концентрата и отпадъка при идеален разделителен процес.

$$\bar{\beta}_\alpha = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} \gamma_\alpha(l) \beta(l) dl$$

$$\bar{\beta}_\lambda = \frac{1}{\bar{\gamma}_\lambda} \int_{l_{\min}}^{l_p} \gamma_\alpha(l) \beta(l) dl$$

$$\bar{\beta}_\theta = \frac{1}{\bar{\gamma}_\theta} \int_{l_p}^{l_{\max}} \gamma_\alpha(l) \beta(l) dl$$

$$\bar{\gamma}_\lambda = \int_{l_{\min}}^{l_p} \gamma_\alpha(l) dl$$

$$\bar{\gamma}_\theta = \int_{l_p}^{l_{\max}} \gamma_\alpha(l) dl ,$$

където  $l < l_p$  са фракции на леките частици.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барский Л. Л., В. З. Козин. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. Недра, М., 1978.
2. Гайдарджиев С., В. Глембоцкий. Състояние и развитие на флотацията. Техника, София, 1985.
3. Parashkevova D. Daniela. On the Qualitative Analysis of Certain Flotation Processes. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, IJESRT: 9(11), November, 2020, pp. 91-99, ISSN: 2277-9655.
4. Петров Т., Д. Парашкевова, К. Любенов. Изследване на промяната на концентрации в процеса на флотация на медна руда. Международна научно-техническа конференция „Минералните ресурси и човекът”, 17-19.IX.2002 г., Варна, България, том 2, с. 151-156.
5. Tromp K. Neue Wege fur die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen. Gluckauf, No 37, 1937.
6. Parashkevova D. Daniela. A new model describing the column processes corresponding to higher order of flotation kinetics. American Journal of Engineering Research, AJER: Volume-11, Issue-11, November 2022, pp. 124-131, e-ISSN: 2320-0847.
7. Гергов Е., Д. Парашкевова, Т. Петров, К. Любенов. Подход за моделиране и управление на флотацията на медни руди. Международна научно-техническа конференция „Минералните ресурси и човекът”, 17-19.IX.2002 г., Варна, България, том 2, с. 49-55.
8. Parashkevova D. Daniela. On the Analysis of Certain Flotation Processes with Velocities Depending on Time and Height of the Column. European Journal of Engineering and Technology Research, Volume-6, Issue-6, September 2021, pp. 8-13, ISSN: 2736-576X.
9. Ковачев К., Г. Клисуранов. Обогащаване на полезните изкопаеми. ИК „Св. Иван Рилски”, София, 1999, с. 247.
10. Любенов К., Д. Парашкевова, Т. Петров. Имитационно моделиране на флотационни технологични схеми. Международна научно-техническа конференция „Минералните ресурси и човекът”, 17-19.IX.2002 г., Варна, България, том 2, с. 110-115.
11. Парашкевова Д. Прогнозно управление на процес медна флотация. IX-та Национална конференция по открит и подводен добив на минерали с международно участие „Открит и подводен добив на полезни изкопаеми-висока ефективност, екологично производство”, 10-14 септември,



- 2007 г., Варна, България, с. 415-422, ISBN: 978-954-91547-8-8.
12. Георгиев Цв., К. Ковачев. Относно избора на показатели и критерии при проектирането на флотационни схеми. Годишник на ВМГИ, том XXXIII, свитък IV, 1986-1987, с. 253-261.
  13. Parashkevova D., K. Lyubenov, T. Petrov, A. Shehtov. Structure of intelligent system for control of flotation processes. Proceedings of the X Balkan Mineral Processing Congress „Mineral Processing in the 21<sup>st</sup> Century”, June 15-20, 2003, Varna, Bulgaria, pp. 496-499, ISBN: 954-9748-54-5.
  14. Парашкевова Д. Управление на процеса медна флотация чрез методите на изчислителната интелигентност. Геология и минерални ресурси, 2008, бр. 4, с. 6-12, ISSN: 1310-2265.
  15. Рубинщейн Ю. Б., А. Филипov. Кинетика флотации. Недра, М., 1980.
  16. Сорокер Л. Б., А. А. Швиденко. Управление параметрами флотации. Недра, М., 1979.

## **АВТОР**

инж. хим. Иван А. Александров, Р-л Отдел „Обследване на нови технологии за извличане на метал”, „Елаците-Мед” АД;  
[i.a.aleksandrov@ellatzite-med.com](mailto:i.a.aleksandrov@ellatzite-med.com)