

# ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

## АНАЛИЗ НА ФРАКЦИОННИЯ СЪСТАВ НА МИНЕРАЛНИТЕ СУРОВИНИ

Иван Александров

### ВЪВЕДЕНИЕ

Икономическото развитие на всяка страна е тясно свързано с нейните суровинно-енергийни ресурси. Постоянно растящите потребности от въглища, нефт, черни и цветни, редки и благородни метали и различните неметални полезни изкопаеми водят към непрекъснато и интензивно увеличаване на техния добив.

Обогатяването на полезни изкопаеми представлява важен етап в цялостния комплекс от технологията за преработка на минералните суровини. Много суровини е невъзможно да бъдат използвани в различни отрасли на индустрията без предварително обогатяване.

Съвременните обогатителни фабрики представляват високо производителни, механизирани и автоматизирани промишлени комплекси, осигуряващи преработката на полезните изкопаеми чрез съвременни поточни технологии, при което се постига разделяне и концентрация на полезните компоненти в самостоятелни продукти, постъпващи на следващата металургична, химична или друг вид преработка. Технологиите трябва да осигуряват максимално използване на отпадъците от фабриката и чрез предприети мерки да се предотвратяват нежелани последиствия върху околната среда.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

В по-голямата част от рудите (заедно с основните полезни компоненти) се съдържат и малки количества, най-често във вид на изоморфни примеси или друг вид прорастване с основните минерали, един или няколко полезни компонента, наричани съпътстващи или полезни примеси. Например, в медните руди най-често това са злато и сребро, в полиметалните – злато, сребро, кадмий, телур и т.н. В суровините се съдържат и вредни

примеси, които влошават тяхното качество. Например, наличието на сяра, фосфор и арсен в железните руди.

Във впръснатите руди, които имат най-голямо разпространение, частиците на полезните минерали са впръснати в скалната маса (в скалообразуващите минерали). При масивните руди (най-често медно-пиритни и медно-цинково-пиритни) основната част представлява полезни минерали, в които са впръснати неоглямо количество (до 15-30%) скалообразуващи минерали. Характерът на впръснатостта оказва съществено влияние върху зърнометричната подготовка на суровината и избора на метода за обогатяване.

Съвременните методи и теория на обогатяване се основават на новите научни и технически постижения в области, като механика, физика, химия, физико-химия, колоидна химия, минералогия, електротехника, електроника, автоматика и др.

При обогатяването на полезните изкопаеми се използват различията във физичните и физико-химичните свойства на минералите, като плътност, магнитна възприемчивост, електропроводимост, хидрофобност и хидрофилност на минералната повърхност, цвят, блясък, твърдост, радиоактивност, едрина и форма на частиците, коефициент на триене и др.

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 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  $\Delta\xi_i = \xi_{i+1} - \xi_i$ .

За различните методи на обогатяване, например гравитационен, магнитен, флотационен, електрически, радиометричен, съответно се получава: фракция с плътност

$[\rho_i, \rho_{i+1}]$ , фракция с магнитна възприемчивост  $[\chi_i, \chi_{i+1}]$ , фракция с флотуруемост  $[k_i, k_{i+1}]$ , фракция със специфична електропроводимост  $[\sigma_i, \sigma_{i+1}]$ , фракция със специфичен заряд  $[q_i, q_{i+1}]$ , фракция със светимост  $[\varphi_i, \varphi_{i+1}]$ .

Елементарната фракция  $[\xi_i, \xi_i + d\xi_i]$  се получава, когато размера на крайната фракция клони към нула  $\Delta\xi_i = d\xi_i \rightarrow 0$ .

Разделянето в диапазона  $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$  на крайни фракции (класи) може да се извърши с различни стъпки  $\Delta\xi_i$  - равномерни или неравномерни.

Добивът на  $i$ -тата фракция  $[\xi_i, \xi_{i+1}]$  се определя от отношението на масата на частиците в нея  $P_i$  към сумарната маса на частиците от всички фракции  $\sum_{i=1}^n P_i$ . Добивът на  $i$ -тата фракция се описва по два начина:

$$\bar{\gamma}_i = \gamma(\xi_i) \Delta\xi_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{\gamma}_i = \sum_{i=1}^n \gamma(\xi_i) \Delta\xi_i = 1 \quad (2)$$

От израз (1) следва, че

$$\gamma(\xi_i) = \frac{\bar{\gamma}_i}{\Delta\xi_i} \quad (3)$$

В израз (1) добивът на  $i$ -тата фракция е свързан с размера на фракцията  $\Delta\xi_i$  и с функцията на разпределение на частиците  $\gamma(\xi_i)$  по физично свойство  $\xi$ . При  $\Delta\xi_i \rightarrow 0$ ,  $\gamma_{el} = \gamma(\xi)d\xi$  и представлява добива на елементарната фракция  $[\xi, \xi + d\xi]$ .

Размерността на функцията  $\gamma(\xi)$  е винаги обратна на размерността на съответното физично свойство  $\xi$ :

$$[\gamma(\xi)] = \frac{1}{[\xi]}.$$

Например,  $[\gamma(\rho)] = m^3 / t$  при  $[\rho] = t / m^3$ ;  
 $[\gamma(l)] = 1 / mm$  при  $[l] = mm$ .

Функцията  $\gamma(\xi)$  представлява плътността на разпределение на добива по елементарни класи (фракции). Пълният набор от добити класи  $\bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2, \dots, \bar{\gamma}_n$  съвместно със зададените размери на класите е еквивалентен на функцията  $\bar{\gamma}(\xi_i)$ . Тя обобщава този набор при  $\Delta\xi_i \rightarrow 0$  и  $n \rightarrow \infty$ .

Приблизителните стойности на функцията  $\gamma(\xi)$  в дискретните точки  $\xi_i$  могат да се изчислят по известни добиви  $\bar{\gamma}_i$  на крайни класи  $[\xi_i, \xi_i + \Delta\xi_i]$ . Функцията  $\gamma(\xi)$  позволява количествено определяне на зърнометричния състав на концентратите, отчитащи физичните свойства  $\xi$  на частиците.

Втората компонента на физичните свойства на продуктите на обогатяването е съдържанието на ценния компонент  $\beta$ . Във всяка тясна или елементарна фракция  $[\xi_i, \xi_i + d\xi_i]$  отделните частици могат да имат различни съдържания  $\beta$ . Затова е достатъчно да се знае средното съдържание на компонента  $\bar{\beta}_i$

във всяка  $i$ -та фракция, т.е. набора от числа  $\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \dots, \bar{\beta}_n$ . При намаляване размера на фракциите  $\Delta \xi_i \rightarrow 0$  (и съответно при увеличаване на техния брой  $n \rightarrow \infty$ ) в диапазона  $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ , този набор от числа  $\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \dots, \bar{\beta}_n$  се представя с непрекъснатата функция  $\beta(\xi)$ .

Функцията  $\beta(\xi)$  може да бъде заменена с еквивалентно диференциално разпределение на ценния компонент между фракциите  $\gamma_\beta(\xi)$ , подобно на разглежданото разпределение на твърдата фаза по фракции  $\gamma(\xi)$ .

При сложни суровини, когато частиците им се различават по няколко ( $n$ ) физически свойства  $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  и съдържат няколко ( $m$ ) ценни компонента, фракционния състав се характеризира с набор от  $n$ -мерни фракции:  $\gamma(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ ,  $\beta_j(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  ( $j$  - наименование или номер на ценния компонент).

Обогатимостта на рудата е различна и тя оказва влияние в по-голяма степен върху функцията  $\beta(\xi)$  и в по-малка степен върху функцията  $\gamma(\xi)$ . Критерият за обогатимост  $I_o$  представлява число, зависещо от функциите  $\beta(\xi)$  и  $\gamma(\xi)$  и нараства, когато суровината се приближава до идеално обогатимата.

$$I_o = F[\beta(\xi), \gamma(\xi)] \quad (4)$$

Като безразмерен критерий за обогатимост се използва средно квадратичното отклонение на съдържанието на компонента в частиците от средното му съдържание в захранването  $\bar{\beta}_\alpha$ .

$$I_o = \frac{1}{\bar{\beta}_\alpha} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} [\bar{\beta}(\xi) - \bar{\beta}_\alpha(\xi)]^2 \cdot \gamma(\xi) d\xi \quad (5)$$

Изменението на характеристиките  $\gamma(\xi)$  и  $\beta(\xi)$  на суровините е свързано преди всичко с рудоподготовката. Тя трябва да приближи по възможност характеристиките на суровините към идеално обогатимите, т.е. критерия на обогатимост да расте.

Тези рудоподготвителни деформации на функциите  $\beta(\xi)$  и  $\gamma(\xi)$  се достигат с редица методи, като: смилане; обработка на повърхността на частиците с реагенти, като целта е да се влияе върху избирателното прилепване към въздушните мехури и др.; електрически заряд на частиците; увеличаване на магнитната възприемчивост. Следва да се отбележи, че на смилане се подлагат както входната суровина, така и концентрата.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функциите  $\gamma(\xi)$  и  $\beta(\xi)$  са най-точните и пълни характеристики на състава. С тях могат да се определят и други характеристики на продуктите на обогатяването.

Добивът на всяка крайна класа  $[\xi_i, \xi_{i+1}]$  се определя като:

$$\bar{\gamma}_i = \int_{\xi_i}^{\xi_{i+1}} \gamma(\xi) d\xi$$

Средното съдържание на ценните компоненти в крайната класа  $[\xi_i, \xi_{i+1}]$  се определя по формулата:

$$\bar{\beta}_i = \frac{1}{\bar{\gamma}_i} \int_{\xi_i}^{\xi_{i+1}} \beta(\xi) \gamma(\xi) d\xi ,$$

където  $\bar{y}_i$  е относителната маса [%] на твърдото вещество в  $i$ -тата класа, а интегралната функция представлява относителната маса на ценния компонент в тази класа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ковачев К., Г. Клисуранов. Обогаляване на полезните изкопаеми. ИК „Св. Иван Рилски“, София, 1999, с. 247.
- [2]. Гегов 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.
- [3]. 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.
- [4]. Андреев С. Е., В. А. Петров, В. В. Зверевич. Дробление, измелчение и грохочение полезных ископаемых. Недра, М., 1980, с. 416.
- [5]. 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.
- [6]. Парашкевова Д. Съвместно управление на процесите „смилање“ и „флотация“ при обогатяването на медни руди. Национална научно-техническа конференция по автоматика с международно участие „Автоматизация на добива и преработката на енергийни, рудни и нерудни суровини – BULICAMC'06“, 7-8 ноември 2006 г., София, България, с. 109-114, ISBN-10: 954-91547-4-2; ISBN-13: 978-954-91547-4-0.
- [7]. Parashkevova D. Daniela. Delay Equations with a Control Parameter arising in Flotation Processes. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, IJESRT: 7(12), December, 2018, pp. 57-63, ISSN: 2277-9655.
- [8]. Лопатин А. Г., В. Н. Шохин. Гравитационные процессы обогащения. Недра, М., 1980, с. 400.
- [9]. Parashkevova D. Daniela. Delay Neutral Equations with a Control Parameter arising in Mining Industry Processes. International Journal of Recent Scientific Research, IJRSR: Vol.

10, Issue, 12(E), pp. 36573-36576, December, 2019, ISSN: 0976-3031.

- [10]. Parashkevova D., L. Stoykova. Information technology applications for forecasting the parameters in the dressing of mineral commodities. IV International Scientific Technical Conference „Technics. Technologies. Education. Safety’16”, 01-03 June 2016, Veliko Tarnovo, Bulgaria, Vol. 2, pp. 46-49, ISSN: 1310-3946.
- [11]. Стоев С. Гравитационни методи на обогатяване. ДИ „Техника”, София, 1983, с. 321.
- [12]. 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.
- [13]. Глембоцкий В. А., В. И. Классен. Флотационные методы обогащения. Недра, М., 1981, с. 304.
- [14]. Фоменко Т. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. Недра, М., 1965.

## **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)