

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

ПРОГНОЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ОБОГАТЯВАНЕТО НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ С РАЗЛИЧЕН ФРАКЦИОНЕН СЪСТАВ

Иван Александров

ВЪВЕДЕНИЕ

Обогатителните методи имат за цел от входната минерална суровина да се отделят определени минерали в концентрата въз основа на различните им физични свойства ξ (едрина - l ; плътност - ρ ; магнитна възприемчивост - χ ; флотирруемост - k ; специфична електропроводимост - σ ; специфичен заряд - q ; светимост - φ).

В работните зони на обогатителните машини под въздействието на определени физични сили $\sum_{i=1}^m F_i$ частиците се разделят, като частиците с едно физично свойство $\xi > \xi_p$ (ξ_p - граница на разделяне) насочено се движат към ед-ната част на работната зона (концентрат), а частиците с други свойства $\xi < \xi_p$ - към другата (отпадъка).

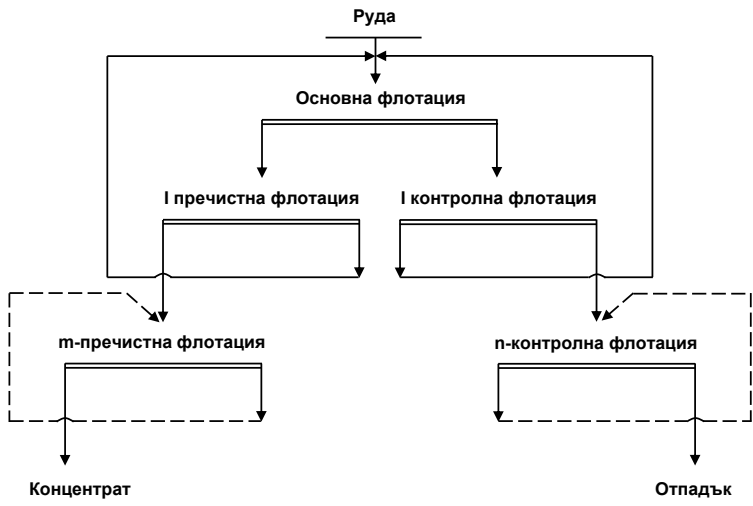
С физичните свойства ξ на всяка минерална частица е свързан и съдържащия се в нея ценен компонент β : с нарастването на ξ се увеличава β (и обратно). Следователно в концентрата ($\xi > \xi_p$) средното съдържание на ценния компонент $\bar{\beta}_\lambda$ е по-високо, отколкото във входния поток руда $\bar{\beta}_\alpha$ и още повече в отпадъка ($\xi < \xi_p$), т.е. $\bar{\beta}_\lambda > \bar{\beta}_\theta$.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В промишлената практика при флотационното обогатяване на полезни изкопаеми се използват разнообразни схеми. Дори при еднотипна руда (например медна) схемите на флотация могат да се различават съществено както по броя и характера на флотационните операции, така и по характера на технологичния режим. Основните фактори, които влияят върху схемата на флотация, са вида на обогатяваната суровина, фазовия състав, флотационната активност, характера на впръснатост на полезните минерали, тяхната склонност към шламообразуване, наличието и характера на първични и вторични шламове, разтворими соли и др. Всяка флотационна схема включва три вида флотационни операции: основни, контролни и пречистни.

Броят на етапите и циклите на обогатяване определят най-важните особености на схемата за флотация. Основен фактор, определящ броя на етапите в схемите за флотация, е характерът на впръснатост на полезния минерал (или полезните минерали) в скалната маса, а също така тяхната склонност към шламообразуване. При неравномерна впръснатост на полезните минерали и особено, когато те са склонни към шламообразуване, се въвеждат два или повече етапа на зърнометрична подготовка и следваща флотация. Това намалява енергийните разходи за разкриване на минералите и осигурява получаването на по-добри технологични показатели, поради намаляване на загубите на полезни компоненти с фините частици (т.нар. шламове). При въвеждането на повече от един етап на обогатяване се цели още в началото на схемата да се отдели основната част от отпадъка, а на следващата зърнометрична преработка да постъпи продукт с по-малка маса – колективен или груб концентрат (междинен продукт). Само в случаите, когато полезните минерали са склонни към шламообразуване, във втория или третия етап на обогатяване постъпва отпадъка от предходния етап.

Построяването на схемите на флотация, вътре в даден цикъл на обогатяване, е свързано и с определяне на мястото на връщане на получаваните междинни продукти, представляващи пенни продукти от контролните операции и камерни продукти от пречистните операции (фиг. 1).



Фиг. 1. Технологична схема за флотационно обогатяване на минерални суровини

Най-често при нормални изисквания, по отношение на качеството на крайния концентрат, добра флотиремост и голяма ценност на полезните минерали, междинните продукти се връщат в началото на предходната операция. При много големи изисквания, по отношение на качеството на получавания концентрат и висока флотационна активност на минералите, междинните продукти се връщат по-далеч от мястото на получаване на готовия продукт (например в основна флотация).

В повечето случаи ценният компонент се намира не само в концентрата ($\xi > \xi_p$), но и в отпадъка ($\xi < \xi_p$), макар и с ниско съдържание. Поради това, дори при идеално разделяне, когато всички частици с $\xi > \xi_p$ без изключение попадат само в концентрата, а всички частици с $\xi < \xi_p$ - само в отпадъка, част от ценния компонент се губи в отпадъка.

Продуктите на обогатяването се характеризират с двете функции $\gamma(\xi)$ и $\beta(\xi)$, а обогатителната операция с $\varepsilon_\lambda(\xi)$, където:

$\gamma(\xi)$ е непрекъснатата функция, чрез която се определя плътността на разпределение на добива по елементарни класи (фракции), отчитаща физичните свойства ξ на частиците;

$\beta(\xi)$ - непрекъснатата функция, чрез която се определя съдържанието на ценния компонент по елементарни класи;

$\varepsilon_\lambda(\xi)$ - разделителна характеристика, която е непрекъснатата функция, показваща извличането на елементарни фракции $[\xi, \xi + d\xi]$ в концентрата в зависимост от техните физични свойства ξ .

Тези функции се използват както за прогнозиране на технологичните показатели на обогатителния процес, така и за прогнозиране на зърнометричния състав в концентрата и отпадъка.

При идеален разделителен процес чрез прилагане на функциите $\gamma(\xi)$ и $\beta(\xi)$ се изчисляват средните съдържания на компонентата във входния поток α , концентрата λ и отпадъка θ

$$\bar{\beta}_\alpha = \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \gamma_\alpha(\xi) \beta(\xi) d\xi \quad (1)$$

$$\bar{\beta}_\lambda = \frac{1}{\bar{\gamma}_\lambda} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_p} \gamma_\alpha(\xi) \beta(\xi) d\xi \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_\theta = \frac{1}{\bar{\gamma}_\theta} \int_{\xi_p}^{\xi_{\max}} \gamma_\alpha(\xi) \beta(\xi) d\xi \quad (3)$$

$$\bar{\gamma}_\lambda = \int_{\xi_{\min}}^{\xi_p} \gamma_\alpha(\xi) d\xi \quad (4)$$

$$\bar{\gamma}_\theta = \int_{\xi_p}^{\xi_{\max}} \gamma_\alpha(\xi) d\xi, \quad (5)$$

където $\xi < \xi_p$ са фракции на леките частици.

Формулите (1) – (5) характеризират идеалното обогатяване, при което разделителната характеристика се описва с единична функция Хевисайд $\bar{I}(\xi - \xi_p)$.

Формулите за прогнозиране на технологичните показатели при обогатяването на руда с различни класи по зърнометричен състав имат вида:

$$\bar{\gamma}_\lambda = \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \varepsilon_\lambda(\xi) \gamma_\alpha(\xi) d\xi = \sum_{i=1}^n \varepsilon_\lambda(\xi_i) \gamma_\alpha(\xi_i) \Delta\xi_i, \quad (6)$$

$$\bar{\beta}_\lambda = \frac{1}{\bar{\gamma}_\lambda} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \varepsilon_\lambda(\xi) \beta(\xi) \gamma_\alpha(\xi) d\xi = \sum_{i=1}^n \varepsilon_\lambda(\xi_i) \beta(\xi_i) \gamma_\alpha(\xi_i) \Delta\xi_i / \bar{\gamma}_\lambda \quad (7)$$

В сравнение с идеалния разделителен процес, в (6) и (7) се прилага интегриране в диапазона $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ и се въвежда разделителната характеристика $\varepsilon_\lambda(\xi)$. С помощта на функцията

на разделяне се определя качеството на разделителния процес – т.нар. „острота на разделяне“. Колкото повече се отклонява функцията на разделяне $\varepsilon_\lambda(\xi)$ от идеалното ξ_p , толкова по-лош е резултата от разделителния процес.

Границите на интегриране могат да се вземат от $(-\infty, +\infty)$ но това няма да промени резултата, тъй като извън диапазона $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$ $\gamma_\alpha(\xi) = 0$. Ако в (6) и (7) се замести $\varepsilon_\lambda(\xi) = \varepsilon_{id}(\xi) = \bar{1}(\xi - \xi_p)$, то се получава формулата за идеално разделяне на фракциите и се явява като частен случай. За формула (6), когато $\varepsilon_\lambda(\xi) = 1$ при $\xi > \xi_p$ и $\varepsilon_\lambda(\xi) = 0$ при $\xi < \xi_p$, и $\gamma_\alpha(\xi)$ е в интервала $\xi > \xi_p$, е достатъчно да се интегрира от $[0, 1]$. Същите разсъждения се отнасят и за (7).

Обосновка на формулите (6) и (7).

Потокът на произволна елементарна фракция $[\xi, \xi + d\xi]$ в концентрата се изразява с:

$$Q_\lambda \gamma_\lambda(\xi) d\xi = Q_\alpha \varepsilon_\lambda(\xi) \gamma_\alpha(\xi) d\xi \quad (8)$$

Това следва от дефиницията на понятието „разделителна характеристика“. Интегрирайки равенство (8) от $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$, което съответства на сумирането на всички потоци от елементарни фракции в концентрата, се получава общия поток на твърдата фаза в концентрата:

$$Q_\lambda = Q_\alpha \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \varepsilon_\lambda(\xi) \gamma_\alpha(\xi) d\xi \quad (9)$$

Като се вземе предвид условието за нормализиране на функцията за разделяне на концентрата

$$\int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \gamma_{\lambda}(\xi) d\xi = 1 \quad (10)$$

и това, че добива на концентрат е $\bar{\gamma}_{\lambda} = \frac{Q_{\lambda}}{Q_{\alpha}}$ - се получава формула (6).

Потокът с ценен компонент $\beta(\xi)$, прехвърлен към концентрата от произволна елементарна фракция $[\xi, \xi + d\xi]$, се изразява с:

$$\frac{\beta(\xi)}{100} Q_{\lambda} \gamma_{\lambda}(\xi) d\xi = \frac{\beta(\xi)}{100} Q_{\alpha} \varepsilon_{\lambda}(\xi) \gamma_{\alpha}(\xi) d\xi, \quad (11)$$

където:

$\beta(\xi)$ е процентното съдържание на ценния компонент в елементарната фракция;

$\beta(\xi) / 100$ - масовата част на ценния компонент.

Интегрирайки (11) от $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$, което съответства на сумирането на всички елементарни потоци с компонента $\beta(\xi)$, се получава общия поток на $\beta(\xi)$ в концентрата:

$$\frac{Q_{\lambda}}{100} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \beta(\xi) \gamma_{\lambda}(\xi) d\xi = \frac{Q_{\alpha}}{100} \int_{\xi_{\min}}^{\xi_{\max}} \varepsilon_{\lambda}(\xi) \beta(\xi) \gamma_{\alpha}(\xi) d\xi \quad (12)$$

Като се вземе предвид, че интегралът от лявата страна е равен на средното съдържание на ценния компонент в концентрата $\bar{\beta}_\lambda$, се получава формула (7). Приведените разсъждения обясняват и физическия смисъл на формули (6) и (7).

Следователно:

- за да се изчисли добива на концентрат $\bar{\gamma}_\lambda$ е необходимо да се интегрира произведението на двете функции $\varepsilon_\lambda(\xi)$ и $\gamma_\alpha(\xi)$;
- за да се получи средното съдържание на ценния компонент в концентрата $\bar{\beta}_\lambda$, е необходимо да се интегрира произведението на трите функции $\varepsilon_\lambda(\xi)$, $\beta(\xi)$ и $\gamma_\alpha(\xi)$ в границите $[\xi_{\min}, \xi_{\max}]$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фракционният състав на концентрата и отпадъка се изчисляват по формулите:

$$\gamma_\lambda(\xi) = \frac{\varepsilon_\lambda(\xi)\gamma_\alpha(\xi)}{\bar{\gamma}_\lambda};$$

$$\gamma_\theta(\xi) = \frac{\varepsilon_\theta(\xi)\gamma_\alpha(\xi)}{\bar{\gamma}_\theta}.$$

Функцията $\beta(\xi)$ е инвариантна както за идеален, така и за реален разделителен процес и за нея е в сила равенството:

$$\beta_\lambda(\xi) = \beta_\theta(\xi) = \beta_\alpha(\xi) = \beta(\xi)$$

Функциите $\gamma_{\alpha}(\xi)$, $\beta(\xi)$ и $\varepsilon_{\lambda}(\xi)$ се използват както за прогнозиране на технологичните показатели $\bar{\gamma}_{\lambda}$ и $\bar{\beta}_{\lambda}$ на обогатителния процес, така и за прогнозиране на зърнометричния състав в концентрата и отпадъка.

ЛИТЕРАТУРА

17. Глембоцкий В. А., В. И. Классен. Флотационные методы обогащения. Недра, М., 1981, с. 304.
18. Tromp K. Neue Wege fur die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen. Gluckauf, No 37, 1937.
19. 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 21st Century”, June 15-20, 2003, Varna, Bulgaria, pp. 496-499, ISBN: 954-9748-54-5.
20. 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.
21. Несторова П., П. Щирков, Н. Владков, К. Касабова, Н. Петрова, Г. Фурнаджиев, Л. Русчева. Технология за комплексно извличане на медта и съпътстващите полезни компоненти от порфирни руди със съдържание на мед под 0.2%. Минно дело, №11, 1985.
22. 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.
23. 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.

24. Сорокер Л. Б., А. А. Швиденко. Управление параметрами флотации. Недра, М., 1979.
25. 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.
26. Парашкевова Д. Съвместно управление на процесите „смилане” 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.
27. Андреев С. Е., В. А. Петров, В. В. Зверевич. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Недра, М., 1980, с. 416.
28. 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.
29. 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.
30. Стоев С. Гравитационни методи на обогатяване. ДИ „Техника”, София, 1983, с. 321.
31. Ковачев К., Г. Клисуранов. Обогатяване на полезните изкопаеми. ИК „Св. Иван Рилски”, София, 1999, с. 247.

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