

**А.А. ЛЫСЕНКО,**  
**И.К. МЛАДЕЦКИЙ, П.И. ПИЛОВ** д-ра техн. наук,  
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ВДГМК

Как известно, измерение показателей качества потоков обогатительных процессов производится с определенной погрешностью. Чем меньше погрешность (больше точность), тем дороже измерительный процесс. В технологической линии обогащения производится опробование множества параметров для контроля их значений. Некоторые параметры весьма чувствительны к изменению технологического регламента, или обогатительным признакам, другие малочувствительны. Очевидно, в зависимости от чувствительности процесса необходимо применять различную точность измерения.

Как правило, высокочувствительные процессы имеют более широкие допустимые пределы изменения, по сравнению с малочувствительными. Для малочувствительных процессов весь малые отклонения являются значимыми и поэтому точность измерения их показателей должны быть высокой.

Сами же показатели могут измеряться точнее или грубее в зависимости от ценности полезного ископаемого и назначения информации о нем.

Так для управления процессом, когда важным оказывается только направление изменения, можно вести измерение с малой точностью. Для расчета с потребителем концентратов – точнее. Таким образом, промежуточные продукты можно измерять грубее, а концентрат – точнее.

Введем понятие чувствительности и погрешности технологического процесса.

Если в результате изменения технологического показателя произошло отклонение показателя качества на величину  $\Delta X_{II}$ , при этом первоначальное значение показателя качества  $X_{II}$ , то величина

$$\delta = \frac{\Delta X_{II}}{X_{II}},$$

будет определять точность процесса

$$\tau = \frac{1}{|\delta|} = \frac{X}{\Delta X}.$$

Если в результате измерения технологического показателя допускается погрешность  $\sigma_{II}$ , при этом первоначальное значение показателя качества  $X_{II}$ , то величина

$$\delta = \frac{\sigma_{II}}{X_{II}},$$

будет определять точность измерения

$$\tau = \frac{1}{|\delta|} = \frac{X_{II}}{\sigma_{II}}.$$

Таким образом, точность измерения  $\sigma_{II}$  величины должна быть выше точности технологического процесса  $\sigma_{II}$ , т.е.

$$\sigma_{II} < \sigma_{II}.$$

При этом значение величины  $X_{II}$  с погрешностью  $\sigma_{II}$  должно соответствовать значению технологического процесса  $X_{II}$ :

$$X_{II} \approx X_{II}.$$

Неравенство может быть с малым отличием или значительным.

Для объективного выбора степени неравенства необходимо воспользоваться характеристиками поведением технологического процесса. Воспользуемся в этом случае показателем чувствительности. Изменение качественных показателей при изменении режимных параметров или показателей обогатительных признаков определяет чувствительность. С этой целью нами было проведено исследование изменения качества промежуточных продуктов к изменению упомянутых показателей. Исследование проводилось численно с помощью детерминированной модели технологического процесса. В качестве технологического процесса была принята схема обогащения россыпей Вольногорского горно-металлургического комбината. Результаты исследований составили таблицу, в которой была проверена математическая модель на адекватность и получены оценки производных для всех точек технологии и для изменения содержаний ценных минералов: циркона, ильменита, ставролита, дистена, рутила. Таблица имеет значительные размеры и приводить ее в данной статье мы посчитали излишним, поэтому остановимся на некоторых обобщающих ее показателях.

Поскольку в режиме эксплуатации технологии все показатели режимов и обогатительных признаков действуют одновременно, то из результатов исследований мы выбрали наибольшие по абсолютному значению производные. Как и следовало ожидать, больших значений производных не наблюдалось, так как это привело бы к неустойчивым состояниям технологии. Можно считать, что пределы изменения производных:

$$-2,0 \leq \frac{d\beta}{dx_i} \leq 2,0.$$

В среднем производные составляют значение около  $\frac{d\beta}{dx_i} = 0,5$ .

Чем выше значение производной, тем больше изменение качества при малых изменениях режимов, тем грубее может быть измерительная оценка этого качества. И наоборот: тем меньше изменение качества при малых изменениях режимов, тем точнее должна быть измерительная оценка этого качества.

Для выбора требуемой точности измерения необходима привязка к некоторым устойчивым показателям технологического процесса. Это могут быть среднее значение мода, медиана и др. Исследование технологического процесса методом Монте-Карло показало, что распределение показателей качества промпродуктов во всех точках схемы равномерное, поэтому мы воспользуемся средним его значением –  $\bar{X}_{II}$ . Тогда выражение, которое связывает погрешности технологии и измерения можно записать в виде:

$$\frac{X_{II}}{\sigma_{II}} - \frac{X_{II}}{\sigma_{II}} = \frac{\kappa}{f^1},$$

где  $\kappa$  – согласующий размерности коэффициент.

Можно представить  $X_{II} = X_{II} + \sigma_{II}$ . Тогда:

$$\frac{X_{II} + \sigma_{II}}{\sigma_{II}} - \frac{X_{II}}{\sigma_{II}} = \frac{\kappa}{f^1},$$

или

$$X_{II} \left( \frac{1}{\sigma_{II}} - \frac{1}{\sigma_{II}} \right) = \frac{\kappa}{f^1} - 1.$$

В результате имеем

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_{II}}{1 + \frac{\sigma_{II}}{X_{II}} \left( \frac{\kappa}{f^1} - 1 \right)}.$$

Таким образом, когда отношение среднего квадратического отклонения к среднему значению у технологического процесса достаточно мало, то погрешность измерения может быть равна погрешности технологического процесса, т.е. измерение показателей концентратов может производиться с погрешностью, которой обладает технологический процесс. Измерения величин в начале технологии должно производиться с точностью большей точности технологического процесса. В тоже время, когда производная технологического показателя достаточно мала, то погрешность измерения должна быть существенно снижена.

## **Випробування та контроль**

Обогатительные процессы имеют большую долю случайной составляющей и поэтому являются полигармоническими, в которых неслучайная составляющая в значительной степени подавлена помехами. С целью выделения такой неслучайной составляющей пользуются спектральным разложением случайного процесса. По одной, достаточно длинной реализации стационарного случайного процесса спектральная функция вычисляется с помощью соотношения [1]

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K_{xx}(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $K_{xx}(\tau)$  – корреляционная функция случайного процесса;  $\omega$  – частота.

Таким образом, задаваясь частотой  $\omega$  и производя интегрирование (1) находим значение спектральной функции. Задаваясь множеством значений  $\omega$  определяем всю функцию  $S(\omega)$ .

Любой динамический объект преобразует спектр входного процесса  $S_x(\omega)$  в спектр выходного процесса  $S_y(\omega)$  в соответствие со своей частотной характеристикой  $\Phi(j\omega)$  ( $j = \sqrt{-1}$ ), согласно выражения [2]

$$S_y(\omega) = |\Phi(j\omega)|^2 S_x(\omega). \quad (2)$$

Таким образом, если известна частотная характеристика технологической линии, то, находя квадрат ее модуля, определим спектр выходного процесса. А так как дисперсия процесса  $D_x$  есть

$$D_x = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega, \quad (3)$$

то будет найдена и дисперсия выходного процесса.

Частотная характеристика находится на основании передаточных функций аппаратов в соответствии с правилами преобразования структурных схем [5].

Величина  $X_{II}$  определяется на основании сепарационных характеристик аппаратов, путем составления системы балансовых уравнений по каждому продукту

$$\beta_{11}\gamma_1 + \beta_{12}\gamma_2 + \beta_{13}\gamma_3 + \dots + \beta_{1n}\gamma_n = \alpha_1;$$

$$\beta_{21}\gamma_1 + \beta_{22}\gamma_2 + \beta_{23}\gamma_3 + \dots + \beta_{2n}\gamma_n = \alpha_2;$$

$$\beta_{m1}\gamma_1 + \beta_{m2}\gamma_2 + \beta_{m3}\gamma_3 + \dots + \beta_{mn}\gamma_n = \alpha_m;$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots + \gamma_n = 1.$$

Здесь будет  $n$  – количество концентратов;  $m$  – количество компонентов.

Так для всей технологической линии получения дистена система уравнений имеет 147-й порядок. Сопоставление результатов решения с результатами опробования дало максимальное расхождение не более 5%. На этом основании было принято решение об адекватности методики вычисления выходных показателей обогащения – выхода и содержания ценного минерала.

С помощью такого моделирования были получены и производные для показателей качества промежуточных продуктов и концентратов:

$$\frac{\partial \beta_i}{\partial \alpha_j} \approx \frac{\beta_{i \max} - \beta_{i \min}}{\alpha_{j \max} - \alpha_{j \min}} = f^1.$$

Таким образом, имеются все переменные величины для определения требуемой погрешности измерения промежуточных продуктов и концентратов.

С помощью данной методики для технологии обогащения дистена, который производят на Вольногорском ГМК (схема обогащения на рис. 1 и 2) получены дисперсии вдоль технологической линии (таблица), в которой обозначено:  $D_i$  номер точки технологической линии, а нижних графах значения дисперсий в соответствующих точках.

Как следует из таблицы дисперсии показателей качества вдоль технологической линии снижаются и чем больше количество аппаратов, тем существеннее это уменьшение. Начиная с 17-й точки, требуемая точность контроля технологических параметров существенно увеличивается и должна иметь порядок  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ %. Добиться такой точности при единичном измерении проблематично, поэтому необходимо увеличивать измерительный объем  $V$  который, как известно [4], зависит от отношения точности измерительного устройства  $C$  и требуемой точности  $\varepsilon$  что численно выражается как отношение средних квадратических отклонений:

$$V = \left( \frac{3C}{\varepsilon} \right)^3 d^3.$$

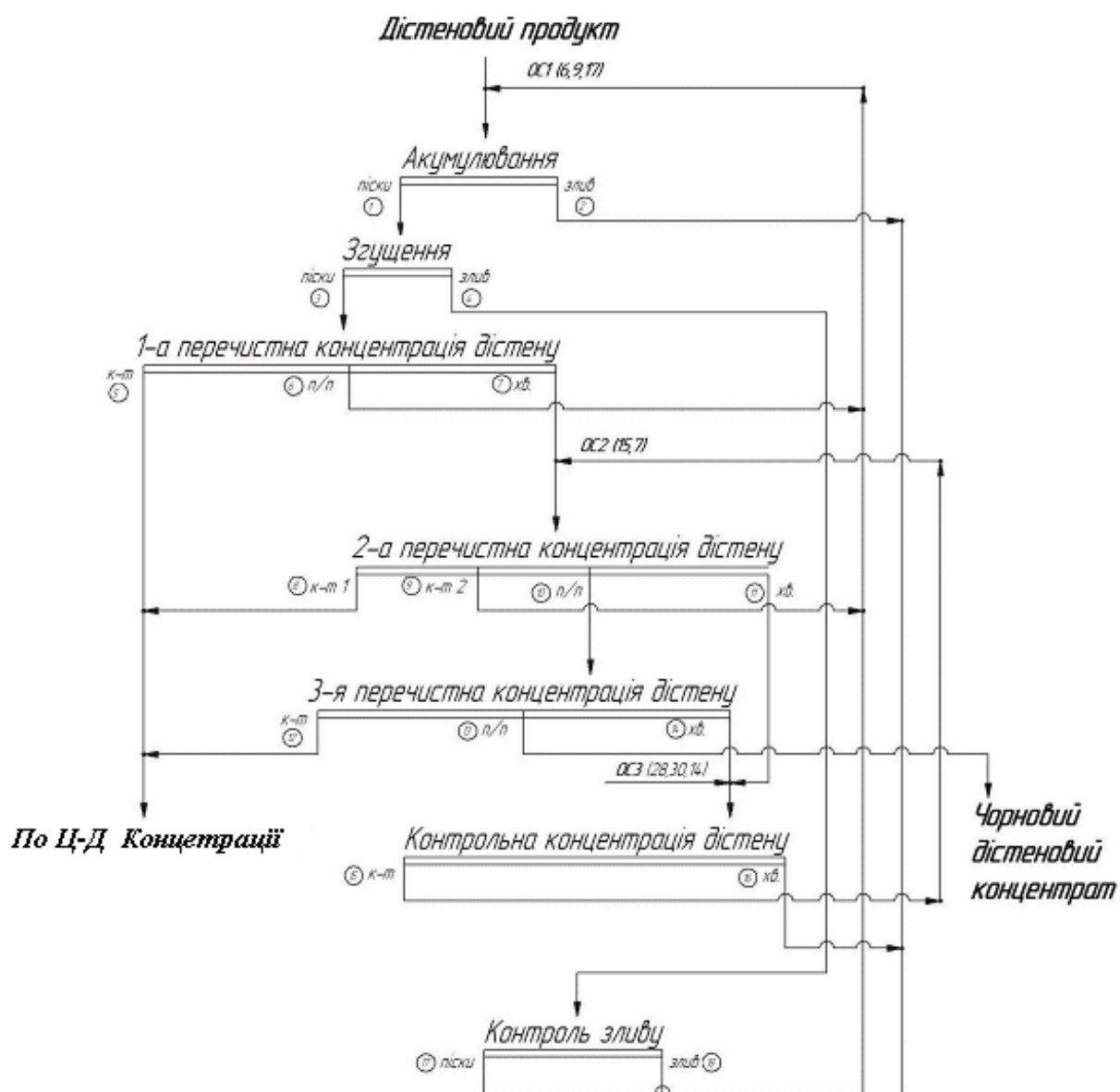


Рис. 1. Схема виділення дістена, часть 1

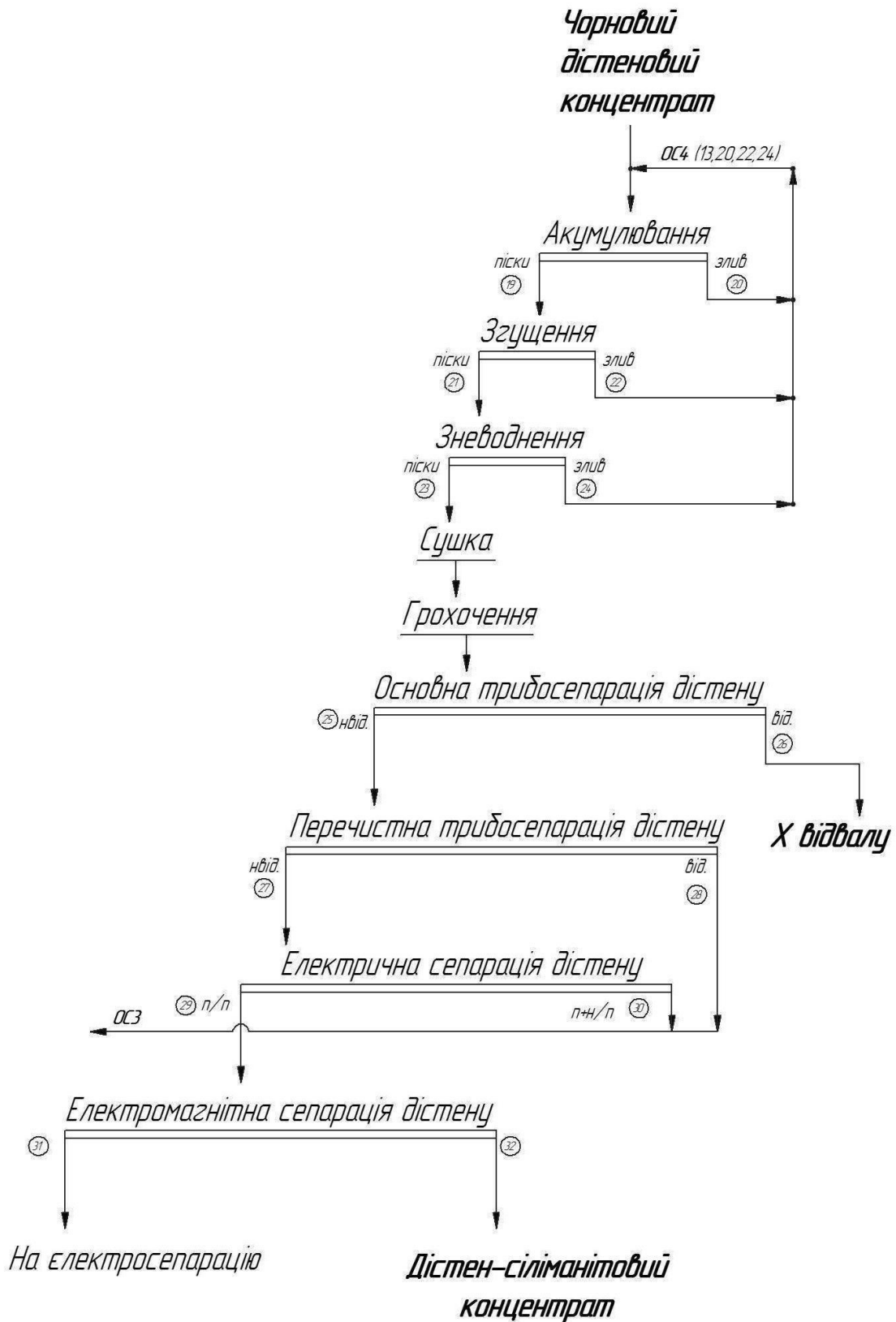


Рис. 2. Схема виділення дістена, часть 2

## **Випробування та контроль**

Значения дисперсий технологических показателей в схеме выделения дистена.

Дисперсия							
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
0,92	0	0,934	$3,237 \cdot 10^{-5}$	0,46	1,181	0,703	0,081
D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
0,087	0,252	0,232	0,017	0,058	0,014	$2,544 \cdot 10^{-3}$	$7,965 \cdot 10^{-4}$
D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24
$1,721 \cdot 10^{-7}$	0	$3,619 \cdot 10^{-3}$	0	$3,076 \cdot 10^{-4}$	0	$7,116 \cdot 10^{-5}$	0
D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	D32
$1,402 \cdot 10^{-5}$	$2,584 \cdot 10^{-6}$	$2,145 \cdot 10^{-7}$	$2,512 \cdot 10^{-6}$	$1,39 \cdot 10^{-9}$	$1,908 \cdot 10^{-9}$	$5,528 \cdot 10^{-12}$	$3,384 \cdot 10^{-12}$

### **Список литературы**

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Росин М.Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления. – М.: Машиностроение, 1981. – 312 с.
3. Бесекерский В.А. Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1963. – 517 с.
4. Козин В.З. Опробование и контроль процессов обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 374 с.

© Лысенко А.А., Младецкий И.К., Пилов П.И., 2013

*Надійшла до редколегії 10.09.2013 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*