

*А.А. ЛЫСЕНКО*, асп., ГВУЗ «Национальный горный университет»,  
Днепропетровск

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В зависимости от точности процесса и требуемых точностей контроля исходной руды и концентрата определяется точность контроля в заданной точке технологической линии обогащения.

**Ключевые слова:** точность измерений, технологический процесс, планирование измерений, модель объекта, представление результатов.

Особенностью современных требований к измерениям является необходимость правильной оценки точности измерений. Важно не только, а иногда даже не столько повысить точность измерений, сколько уметь правильно ее оценить.

При рассмотрении вопросов планирования измерений целесообразно учитывать уже давно принятое разделение всего множества разнообразных измерений на две группы. Одна из этих групп условно была названа "техническими" измерениями, другая – "лабораторными". Однако даже в те годы (1949 г), когда эти названия были приняты, они фактически соответствовали группам измерений, разделенным не по области использования, а по другим определенным признакам, в настоящее время приобретающим еще большее значение, чем прежде.

К "техническим" обычно относят измерения, проводимые в типовых технологических процессах. Характерной особенностью этих измерений является то, что оценку или контроль их точности в процессе измерений или после их окончания не производят. Точность технических измерений устанавливается заранее, до выполнения измерений, на основе предварительных исследований. Задачи обеспечения необходимой точности измерений (разработка методик, выбор средств измерений и др.) решаются до выполнения измерений. В этом главное отличие технических измерений от "лабораторных", уникальных. также прорабатываются, планируются.

Планирование технических измерений в силу того, что при этом определяют окончательную оценку погрешности будущих измерений, имеет и свою специфику, и неизмеримо более важное значение.

© А.А. Лысенко, 2013

На условность этих терминов указывает также и то, что и при научных исследованиях часто приходится проводить рутинные и заранее планируемые измерения, которые подпадают под определение "технических". В то же время в технической практике не исключены непредвиденные ситуации, когда нельзя заранее определить точность проводимых измерений.

Указанная специфика технических измерений, а также общая тенденция к повышению точности вынуждают более тщательно проводить подготовку к измерениям, комплексно решать все вопросы обеспечения необходимой точности измерений. Большое значение приобретает планирование технических измерений. Целью планирования измерений является создание всех необходимых предпосылок для выполнения измерений с требуемой точностью.

Рассмотрим основные задачи, характерные для планирования измерений.

Прежде всего – это формирование представления о модели объекта, параметры или характеристики которого количественно оценивают с помощью измерений. Полученное представление о модели объекта и характеристиках, подлежащих количественному определению, позволяет перейти к установлению в определенном смысле оптимальной номенклатуры измеряемых величин.

Другой основной задачей является установление требований к точности измерений. При этом определяют также способ (форму) представления результатов измерений и выражения показателей точности. Эти требования формулируют на основе анализа задач, для решения которых используют результаты измерений и сведения об их точности. Разработка перечня измеряемых величин и требований к точности измерений является, обязательным этапом при создании объекта.

Результаты измерений, выполняемых при контроле показателей обогащения, должны дать ответ по существу на один вопрос: находятся ли значения контролируемых параметров в заданных пределах. При этом условия измерений во многом определяются, как правило, жестко нормированными условиями контроля и испытаний параметров, а возможные значения измеряемых величин – допусками на параметры. Таким образом, для планирования измерений имеется весьма конкретная априорная информация об объекте и условиях измерений.

*Анализ объекта измерений* Измерения выполняют с целью изучения или оценки каких-либо свойств некоторых объектов или процессов. Для получе-

ния результатов измерений, адекватных представляемым интерес свойствам, необходимо установить, какие параметры объекта или процесса отражают в необходимой степени эти свойства и, следовательно, должны быть приняты в качестве измеряемых величин. Для этого необходимо установить (выбрать) модель объекта (процесса) и ее параметры. Анализ может показать, что в качестве измеряемой величины надо выбрать производный параметр, представляющий собой некоторую функцию параметров модели, например, среднее значение качества или дисперсию его. Прежде всего, необходимо составить модель объекта, адекватную интересующим свойствам объекта и условия, в которых он находится, установить ее параметры, принимаемые в качестве измеряемых величин, и дать им четкое определение.

Подход к установлению требуемой точности измерений. Как указывалось выше, установление требований к точности измерений следует основывать **на** анализе задач, для решения которых используют результаты измерений.

Задачи управления. Прежде всего, необходимо проанализировать задачи управления с целью установить, какой показатель точности измерения необходимо нормировать. Надо иметь **в** виду, что довольно часто измерения выполняют для расчета показателей работы **того или иного** оборудования, показателей - критериев эффективности управления. В таких случаях необходимо выявить характер связи измеряемых величин с показателями эффективности управления. **Так**, при определении технико-экономических показателей (ТЭП) обогатительного производства проводят измерения ряда параметров в течение достаточно длительного времени, а результаты измерений усредняют при расчете ТЭП. Естественно, что в таких случаях точность определения ТЭП **в** большей степени зависит от систематических погрешностей измерений **и** несущественно зависит от случайных погрешностей, имеющих малое время корреляции.

Рассмотрим теперь вопрос установления требований к погрешности измерений (нормирование точности измерений).

Исходя из общих положений об экономической эффективности в сфере материального производства, оптимальная норма точности измерений должна соответствовать минимуму суммарных приведенных затрат.

Суммарные затраты, в основном, определяются двумя группами затрат:

во-первых, различного рода потерями при проектировании, изготовлении и эксплуатации (применении) продукции, вызваны погрешностью изме-

рений, во-вторых, затратами на разработку и реализацию методики выполнения измерений с заданной точностью (так называемые метрологические затраты).

Как правило, увеличение погрешности измерений соответствует повышению затрат первой группы и уменьшению затрат второй группы ("метрологических" затрат). Для нахождения связи затрат с погрешностью измерений используют зависимости потерь от изменений параметров, полученных из литературных источников, на основе результатов моделирования технологических процессов и режимов оборудования. Принимается такая точность, которая соответствует минимуму приведенных затрат.

Таким образом, для определения числовых показателей требуемого измерения необходимо определиться со средними значениями предполагаемых показателей измерения, их дисперсиями (средними квадратическими отклонениями), затем выбрать подходящую точность измерения этих показателей, что обычно связывается с дисперсией источника измерения.

Эксплуатация любой обогатительной технологии показывает, что дисперсия показателей качества входного потока полезного ископаемого постепенно снижается по мере прохождения его через технологический процесс. Наименьшая дисперсия этих показателей в концентрате. И это уменьшение тем существеннее, чем длиннее технологическая линия.

Дисперсия показателей качества влияет на выбор способа их измерения, чем меньше дисперсия технологического процесса, тем точнее должно быть измерение или тем выше точность измерительного устройства.

Таким образом, возникает задача оценить дисперсии технологических показателей, которая может быть решена таким образом.

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 соответствии 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.

Определимся с частотной характеристикой. Она является динамическим показателем объекта и находится на основании передаточных функций этих объектов  $W(p)$ , которые представляют собой дифференциальные уравнения объектов, записанных в символической форме [3]. Если известна передаточная функция объекта  $W(p)$ , то частотная характеристика находится путем формальной замены аргумента  $p$  на аргумент  $j\omega$  -  $p \rightarrow j\omega$ , с дальнейшими тождественными преобразованиями, направленными на выделение действительной  $A(\omega)$  и мнимой  $jB(\omega)$  частей.

Передаточная функция всей технологической линии обогащения складывается из передаточных функций отдельных аппаратов. Большинство аппаратов имеют одну емкость и поэтому могут быть представлены математическими в виде соотношения [4].

$$W(p) = \frac{Y}{T p + 1}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – выход продукта,  $T$  – постоянная времени переходного процесса  $T = \frac{V}{Q}$ ,  $V$ -объем аппарата [ $M^3$ ],  $Q$  – объемная производительность аппарата [ $M^3/c$ ].

В зависимости от схемы соединения аппаратов и в соответствии с законами этих соединений [5] получают передаточную функцию технологической линии обогащения.

Рассмотрим пример. Имеется обогатительная технология, представленная схемой на рисунке.

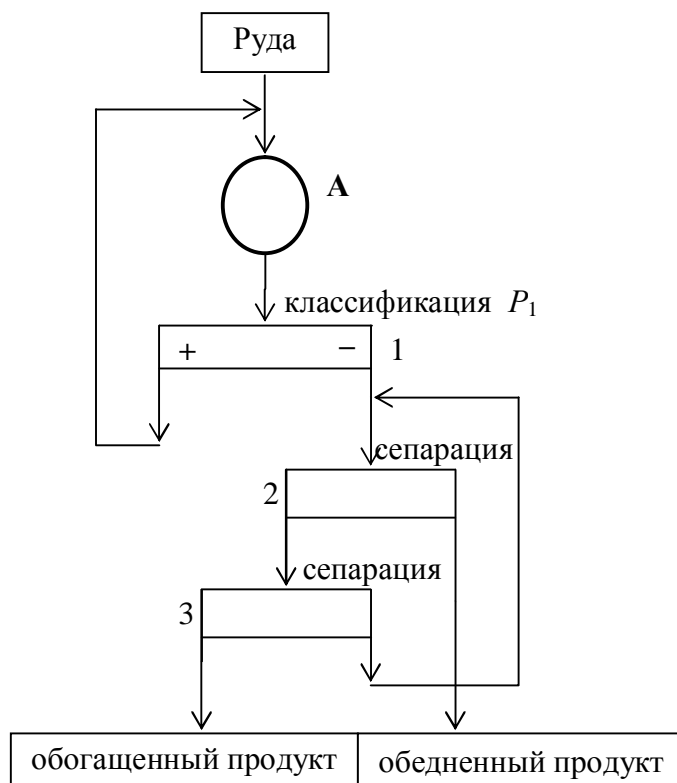


Рисунок – Схема обогатительного технологического блока

Каждый аппарат имеет системную характеристику, в соответствии которой осуществляется преобразование показателей качества входного потока.

Для измельчения это измельчительная характеристика  $A$ , а для разделительных аппаратов – это сепарационные характеристики  $P_i$ .

В соответствии с законами соединения аппаратов получаем характеристику соединения

$$P_c = \frac{AP_1 P_2 P_3}{(1-A(1-P_1))(1-P_2(1-P_3))}. \quad (5)$$

Передаточные функции аппаратов имеют вид:

$$W_A = \frac{1}{T_{np+1}}; W_1 = \frac{Y_1}{T_{1p+1}}; W_2 = \frac{Y_2}{T_{2p+1}}; W_3 = \frac{Y_3}{T_{3p+1}}; T_M = \frac{V_M}{Q_M}; T_1 = \frac{V_1}{Q_1}; T_2 = \frac{V_2}{Q_2}; T_3 = \frac{V_3}{Q_3}.$$

Подставляем в выражение (5) вместо  $P_i$  передаточные функции, получаем:

$$W_1(p) = \frac{W_A W_1 W_2 W_3}{1 - W_2(1 - W_3) - W_A(1 - W_1) + W_A W_2(1 - W_3)(1 - W_1)}. \quad (6)$$

После подстановки в (6) выражений для передаточных функций и некоторых тождественных преобразований имеем:

$$W_1(p) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3}{(\gamma_1 p + 1 - \gamma_1)(\gamma_2 p + 1 - \gamma_2)(\gamma_3 p + 1) - (\gamma_1 p + 1 - \gamma_1)(\gamma_1 p + 1)(\gamma_2 p + 1) + \gamma_2(\gamma_2 p + 1 - \gamma_2)(\gamma_1 p + 1 - \gamma_1)}.$$

Раскрывая скобки в знаменателе и приводя подобные члены, получаем выражение

$$W_1(p) = \frac{a_0}{a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5}, \quad (7)$$

где:  $a_0 = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$ ;  $a_1 = T_1^2 T_3 T_M$ ;  $a_2 = T_1 T_3 T_M + T_1^2 T_M + T_1^2 T_M \gamma_3 + T_1 T_2 T_M - T_1 T_3 T_M + 2T_1^2 T_3$ ;  $a_3 = 2T_1 T_3 + T_1 T_M(1 + \gamma_1 + \gamma_1 \gamma_3) + T_1^2 T_M(1 + \gamma_3) + T_3 T_M + T_1 T_M - 2T_3 T_M \gamma_1 + T_1^2 + 2T_1 T_3 - T_1 T_3(\gamma_2 - \gamma_1)$ ;  
 $a_4 = T_1(4 + 2\gamma_3 + \gamma_1 \gamma_3 + \gamma_2 - \gamma_2 \gamma_3) + T_M(1 + 2\gamma_1 + \gamma_3) + T_3(1 + \gamma_1)$ ;  
 $a_5 = 2 + \gamma_3 + \gamma_1 + \gamma_1 \gamma_3 + 2\gamma_2 + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 - \gamma_1 \gamma_2$ .

Теперь для получения частотной характеристики вместо  $p$  подставляем  $j\omega$  в (7). Имеем:

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0}{a_1(j\omega)^4 + a_2(j\omega)^3 + a_3(j\omega)^2 + a_4 j\omega + a_5}. \quad (8)$$

После возведения в степень аргумента  $j\omega$  получаем комплексное число в знаменателе

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0}{a_1(j\omega)^4 + a_2(j\omega)^3 + a_3(j\omega)^2 + a_4 j\omega + a_5} = \frac{a_0}{a_1 \omega^4 - a_2 \omega^3 + a_3 \omega^2 + j(-a_2 \omega^3 + a_4 \omega)}.$$

Избавляемся от комплексности в знаменателе, получаем:

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0(a_1\omega^4 - a_2\omega^2 + a_2 + j(-a_2\omega^3 + a_4\omega))}{(a_1\omega^4 - a_2\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} - \frac{a_0a_1\omega^4 - a_0a_2\omega^2 + a_2a_0}{(a_1\omega^4 - a_2\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} - j \frac{-a_2\omega^3 + a_4\omega}{(a_1\omega^4 - a_2\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} = A(\omega) - jB(\omega).$$

Таким образом, имеем частотную характеристику для точки 1 технологической схемы. Для других точек необходимо составить соответствующие передаточные функции и перейти к частотным характеристикам. Так для точки 3 передаточная функция будет:

$$W_3(p) = \frac{W_A W_1}{1 - W_A(1 - W_1)};$$

Для точки 2:

$$W_2(p) = \frac{W_A W_1 W_2}{(1 - W_A(1 - W_1))(1 - W_2(1 - W_3))}$$

Модуль частотной характеристики представляет собой :

$$|\Phi(j\omega)| = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)};$$

следовательно:  $|\Phi(j\omega)|^2 = A^2(\omega) + B^2(\omega)$ .

Вычислив выходной спектр дисперсии процесса измельчения  $S_y(\omega)$  определим дисперсию.

Среднее значение показателей качества известны на основании технологических опробований или с помощью математической модели, составленной на основании системных моделей технологических аппаратов. Итак, мы располагаем объективными показателями качества обогатительного процесса в каждой его точке  $\bar{x}_T$  и  $\sigma_{xT}$ . На основании этих величин введем понятие точности технологического процесса

$$\tau_{\Pi} = \frac{1}{|\delta|} = \frac{\bar{x}_T}{\sigma_{xT}}.$$

Чем больше точность технологического процесса, тем больше должна быть точность измерения  $\frac{x_H}{\sigma_H}$  качественных показателей в данной точке, т.е.



$$\frac{x_{\text{н}}}{\sigma_{\text{н}}} = k \frac{\bar{x}_{\text{т}}}{\sigma_{\text{хт}}}$$

Известно также, что относительная погрешность измерения тем меньше, если измеряемая величина находится ближе к концу шкалы измерения  $x_{\text{махи}}$  устройства контроля. Цена деления шкалы  $\Delta x_{\text{н}}$  определяет погрешность измерения. Тогда относительная погрешность измерения составляет

$$\delta_{\text{н}} = \frac{\Delta x_{\text{н}}}{x_{\text{махи}}}$$

В результате требуется искать два параметра  $\Delta x_{\text{н}}$  и  $x_{\text{махи}}$ .

Качественные показатели в обогащении полезных ископаемых измеряют химическими или рентгеновскими методами. И получают погрешность в абсолютном отклонении: если два соседних измерения не отличаются друг от друга на  $\Delta x_3$ , то оценка качества проведена удовлетворительно, т.е. соответствует стандарту. Таким образом, объектом поиска служит  $\Delta x_3$ .

Кроме того, перед проведением анализа ориентировочно имеют оценку среднего значения показателя качества  $\bar{x}_{\text{т}}$ . В результате искать достаточно одну величину  $\Delta x_3$ , т. к.  $\bar{x}_{\text{н}} = \bar{x}_{\text{т}}$ .

Для поиска зависимости необходимо какое-либо известное граничное условие. Это может быть заданная точность измерения качества концентрата –  $\sigma_{\text{к}}$  и исходного продукта  $\sigma_{\alpha}$ .

$$\frac{\sigma_{\alpha} - \sigma_{\text{к}}}{\sigma_{\alpha} (\Delta x_{\text{к}} - \Delta x_{\alpha})} = \frac{\sigma - \sigma_{\text{к}}}{\sigma (\Delta x_{\text{к}} - \Delta x_{\alpha})}$$

откуда требуемая точность измерения

$$\Delta x = \Delta x_{\text{к}} - \frac{\sigma_{\alpha} (\Delta x_{\text{к}} - \Delta x_{\alpha})}{\sigma_{\alpha} - \sigma_{\text{к}}} \left(1 - \frac{\sigma_{\alpha}}{\sigma}\right).$$

Таким образом, в зависимости от точности процесса:  $\sigma$  и требуемых точностей контроля исходной руды и концентрата определяется точность контроля в заданной точке технологической линии обогащения.

**Список литературы:** 1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / *Е.С. Вентцель*. – М.: Наука, 1969. – 576 с. 2. *Росин М.Ф.* Статистическая динамика и теория эффективности систем управления /

*М.Ф. Росин.* – М.: Машиностроение, 1981. – 312 с. **3.** *Бесекерский В.А.* Теория систем автоматического регулирования / *В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.* – М.: Наука, 1975. – 767 с. **4.** *Младецкий И.К.* Динамические характеристики объектов технологии обогащения полезных ископаемых / *И.К. Младецкий, П.И. Пилов, В.А. Святошенко* // Горн. Информ.-аналит. бюллетень. – 2003. – № 8. – С. 178 – 179.

*Поступила в редколлегию 21.08.13*

УДК 622

**Определение характеристик точности технологических процессов / А.А. ЛЫСЕНКО //** Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 57 (1030). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 56 – 65. – Бібліогр.: 4 назв.

У залежності від точності процесу та необхідних точностей контролю вихідної руди та концентрату визначається точність контролю у заданій точці технологічної лінії збагачення.

**Ключові слова:** точність вимірювання, технологічний процес, планування вимірювань, модель об'єкту, представлення результатів.

Depending on the accuracy of the process and the required precision control of the original ore and concentrate control accuracy is determined by a given point in the production line enrichment.

**Key words:** accuracy, process, planning, measurement, object model, representation of the results.

УДК 661.842: 678.5

**А.Н. РАССОХА**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

**С.П. КРИВИЛЕВА**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

## **ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ СТРУКТУРИРОВАНИИ ГИБРИДНЫХ ПОЛИМЕРКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ**

В статье проведен анализ областей использования и механизмов структурирования существующих композиционных материалов медико-технического назначения, проанализированы их недостатки. Разработан перспективный гибридный полимеркерамический материал на основе фосфата кальция, изучен механизм его структурирования.

**Ключевые слова:** гибридный композит, полимеркерамический материал, структурирование, фосфат кальция, сополимер.

© А.Н. Рассоха, С.П. Кривилева, 2013

