

**И.К. МЛАДЕЦКИЙ**, д-р техн. наук,

**А.А. ЛЫСЕНКО**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА В ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

При измерении физических величин главным показателем измерения является его точность при единичном измерении. Проверить точность можно многократным измерением в стационарных условиях одной и той же величины. И чем меньше будет дисперсия совокупности измерений, тем точнее устройство измерения. С другой стороны, чем больше дисперсия измерений, тем больше должна быть совокупность для оценки значения величины. Это правила статистических испытаний. Отсюда следует, что тем точнее измерительное устройство тем оно дороже. Причем стоимость измерения при увеличении точности его возрастает по параболической зависимости. Малое увеличение точности увеличивает стоимость устройства в несколько раз. Чаще всего в литературе решают задачу: что необходимо сделать, чтобы как можно точнее оценить измеряемый показатель. Вопрос о достаточности точности решается субъективно путем выбора доверительной вероятности. Рекомендации в таком случае существуют такие: для оптимистической точности принимают большую доверительную вероятность, а для пессимистической оценки – меньшую. Существует правило, что для технологических управлений достаточно оценить тенденцию изменения показателя качества с тем, чтобы принять решение о необходимости применения управления. Для товарных расчетов считается, что точность оценки товарных показателей должна быть как можно высшей. Общих рекомендаций в статистике по объективной оценке выбора требуемой точности измерения нет. Выбор требуемой точности измерения производится методом экспертных оценок.

Известно, что метод экспертных оценок достаточно дорогостоящий и его можно использовать для уникальных измерений. Следовательно, для технологических измерений в обогащении полезных ископаемых должен быть найден объективный метод обоснования требуемой точности измерения показателей качества для любой точки технологической линии обогащения.

Известно, что изменение обогатительных признаков исходного сырья вызывает существенные изменения показателей качества в начальных операциях обогатительного процесса, а в конце технологического процесса, изменения становятся малозначительными. Кроме того, среднемесячные или, тем более среднегодовые, настолько мало отличаются друг от друга, что они существенно меньше точности их измерения. Однако эти отклонения являются закономерными, и предприятие гордится, если произошло даже незначительное увеличение качественно-количественных показателей.

Измерение величин является вторым этапом после опробования и подготовки пробы к дальнейшему анализу. Суть измерения заключается в получении числа, которое количественно выражает определенную характеристику. В нашем случае такими характеристиками являются содержание ценного компонента в полезном ископаемом, содержание ценного компонента в некоторой фракции, крупность частиц, средняя крупность частиц, содержание определенного класса крупности и т.п.

Далее стоит вопрос о том, чтобы это число как можно более соответствовало истинному значению технологического параметра. Для этого необходимо его сравнивать с некоторыми константами, т.е. эталонами, которые наиболее точно численно отражают измеряемую величину. Эталонными показателями принято считать теоретические значения, которые получают на основании аналитического исследования обогатительных процессов. Достижение требуемой точности измерения достигается, согласно законам теории вероятностей, измерением избыточного количества показателя технологического процесса.

Допустим, производим измерение толщины проволоки. При отсутствии измерительного инструмента требуемой точности измерение производят следующим образом. На стержень некоторого диаметра наматывают плотно, виток к витку некоторое количество витков. Количество витков принимают такое, когда длина намотки может быть измерена существующим инструментом. Предположим, мы располагаем линейкой с ценой деления 1 мм. Намотали 5 витков и измерили длину намотки. Она оказалась между 5 и 6 мм. Более точно сказать не можем, т.к. шкала линейки имеет минимальное деление, соответствующее одному миллиметру. Очевидно, что нужно намотать столько витков, чтобы длина намотки была бы кратной 1 мм, или, чтобы одним миллиметром можно было бы пренебречь.

Когда намотали 20 витков, то длина намотки оказалась 21 мм. Тогда толщина проволоки:

$$d_{II} = \frac{21}{20} = 1,05, \text{ мм.}$$

Толщина риски деления при отсчете тоже оказывает влияние на погрешность. А так как точнее чем 1 мм получить показания нельзя, то погрешность составит:  $\Delta_d = \frac{1}{21} \approx 0,05$ . Поскольку диаметр проволоки имеет значащие цифры в третьем разряде, то точность измерения должна быть выше этой погрешности, т.е. в третьем разряде после запятой в оценке точности измерения должен быть ноль.

Выполним намотку в 2 раза больше, т.е. 42 мм. Имеем 40 витков. Погрешность измерения в этом случае  $\Delta_d = \frac{1}{42} \approx 0,024$ , т.е. опять недостаточная. Достаточная точность измерения толщины проволоки, по крайней мере,  $\Delta_d = 0,005$ . Для достижения такой точности должна быть длина намотки:

**Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 44(85)**

## **Випробування та контроль**

$$1 = 0,005 \times L_{HT}; L = \frac{1}{0,005} = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м!}$$

Таким образом, требуемое количество показателя определяется как отношение точности измерения инструмента к требуемой точности измерения:

$$L = \frac{\sigma_{ИЗМ}}{\Delta_{dT}}$$

Следующий пример. Необходимо определить средний размер частиц полезного ископаемого, которые составляют узкий класс крупности. Измерительный инструмент – штангенциркуль, имеющий погрешность 3 мм, а размер частиц 10 мм. Для достаточно точного измерения необходимо определенное количество показателя. С этой целью требуется выложить частицы одна за другой без промежутков между частицами длинной, например, 20-25 см и измерить общую длину такой цепочки, а затем это общее измерение разделить на количество частиц в такой цепочке и тогда получим среднее значение крупности частиц в совокупности. Погрешность измерения составит, как отношение погрешности инструмента к общей длине цепочки частиц.

Когда получают большие выборки измеряемой величины (или чрезвычайно малые) всегда возникают сомнения в целесообразности такого пути измерения: занимает много времени и средств. Таким образом, следует сделать вывод: избранный инструмент для таких измерений применять нецелесообразно. Необходимо взять более точный, например, штангенциркуль с нониусом или микрометр.

Однако следует и другой вывод: если имеем, какой угодно измерительный инструмент, то можно провести измерение с, практически, любой точностью, если увеличивать количество измеряемой величины в одном измерении.

На этой основе доказывается теорема Чебышева о требуемом количестве измерений  $N$  для достижения заданной, меньшей дисперсии  $\sigma_3^2$  измерений случайной величины, если измерение производится с точностью  $\sigma_{II}^2$ . Согласно

этой теореме:  $\sigma_3^2 = \frac{\sigma_{II}^2}{N}$ . Из этой формулы часто делают неправильный вывод:

проводят множество единичных измерений малого количества величины и уже, потом усредняют измерения.

Главный вывод получаем такой: чувствительный элемент измерителя должен быть достаточно большим с тем, чтобы в нем размещалось достаточно большое количество элементов, которые измеряются. Таким образом, измеряя неточным устройством некоторую величину необходимо, чтобы измеренное значение большой совокупности  $\bar{X}$  было бы значительно больше точности  $\sigma_X$ , с которой производится измерение

$$\frac{\sigma_X}{X} \ll 1.$$

Это значит, что при условии измерения крупности частиц необходимо, чтобы в область измерения попадало множество кусков.

Достаточность подбирается по приемлемой точности, а точность подбирается экспериментально из экономических соображений: чем дороже получаемый концентрат, тем большую точность измерений необходимо производить.

Отсюда следует, что чем меньше чувствительность технологического процесса к изменениям показателей обогатительных признаков, тем точнее должно быть измерение этой величины в данной точке технологической линии обогащения. Или же должна быть выработано правило набора объема измеряемой величины, чтобы точность измерения была бы выше дисперсии показателя в данной точке. Таким образом, сама технология определяет требуемую точность контроля.

Тенденции развития промышленности, имеющие направленность на повышение качества продукции, вызывают неуклонное повышение требуемой точности измерений. При этом все более высокие требования предъявляются к точности измерений, выполняемых не только на стадиях научных исследований, разработки изделий и технологических процессов их изготовления. Существенным образом повышаются требования к точности измерений, выполняемых в процессе изготовления, испытаний и эксплуатации продукции.

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. Окончательную оценку точности этих последних измерений осуществляют в процессе их выполнения, при этом по результатам оценки могут быть сделаны существенные изменения метода, средств, процедуры измерительных операций и обработки результатов. Конечно, и лабораторные измерения предварительно

## **Випробування та контроль**

также прорабатываются, планируются. Однако планирование технических измерений в силу того, что при этом определяют окончательную оценку погрешности будущих измерений, имеет и свою специфику, и неизмеримо более важное значение.

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. При этом речь идет не только о задачах планирования непосредственно измерительного эксперимента, как это принято в теории эксперимента. Планирование технических измерений в современном представлении включает в себя весь комплекс вопросов, связанных с подготовкой и проведением измерений, с обеспечением необходимой точности измерений: анализ и оценку априорной информации об объекте измерений, выбор методов и средств измерений, разработку технологии измерений, расчетную или экспериментальную оценку точности измерений до проведения самих 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.

Далее переходят к формированию технологии измерений с учетом условий, в которых они проводятся: выбор метода, установление требований к средствам измерений и их выбор, разработка алгоритма подготовки и проведения измерительного эксперимента и обработки результатов, процедуры обслуживания средств измерений. На этом этапе решают вопрос о том, к какой группе будут относиться измерения – к прямым или косвенным. Результаты косвенных измерений вычисляют по известной зависимости между искомой величиной и величинами, определяемыми путем прямых измерений, например, как опреде-

ляется выход продукта при сепарации. Необходимость прибегнуть к косвенным измерениям может существенно усложнить планирование измерений, так как увеличивается номенклатура измеряемых величин и необходим анализ констант, входящих в зависимость между искомой величиной и результатами прямых измерений.

Одной из важнейших задач планирования измерений является оценка погрешности измерений. Ее можно выполнять на различных стадиях планирования измерений, начиная от "прикидочной" оценки при установлении номенклатуры измеряемых величин до оценки погрешности с большой степенью достоверности при аттестации методик выполнения измерений или при исследованиях, связанных с их стандартизацией.

Естественно, что наличие определенной априорной информации позволяет решить только часть указанных задач планирования измерений. Примером может служить ГОСТ 8.051-73 "ГСП, Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров от 1 до 500 мм", в котором приведены нормы точности измерений в зависимости от допускаемых отклонений контролируемых размеров. Рассмотрим характерные особенности этих измерений в аспекте задач планирования. При этом необходимо иметь в виду, что речь идет о технических измерениях (в том условном понимании, как сформулировано выше).

Результаты измерений, выполняемых при контроле показателей обогащения, должны дать ответ по существу на один вопрос: находятся ли значения контролируемых параметров в заявляемых 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 получения 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. Исходным при разработке методики выполнения измерений является определение измеряемой величины как параметра модели исследуемого объекта. Наиболее простой случай, когда измеряемой величиной является естественный параметр, например, содержание ценного минерала, крупность частиц, плотность пульпы.

Задача всегда усложнена в тех случаях, когда измеряемой величиной по определению является функция каких-либо параметров модели объекта или

## **Випробування та контроль**

функціонал каких-либо функций: среднее значение выход обогащенного продукта.

При выборе модели исследуемого объекта необходимо учитывать также условия, в которых находится объект. На его свойства могут влиять некоторые факторы окружающей среды: механические, климатические, электромагнитные и др.; это должно быть учтено в модели объекта. Особое значение окружающая среда имеет для объектов и процессов новой техники, работающих в экстремальных условиях: сверхвысоких и сверхнизких температурах, при весьма высоких механических воздействиях одновременно в нескольких направлениях, с высокими скоростями, агрессивной среде. Таким образом, при планировании измерений, проводимых с целью контроля свойств объектов (процессов), 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.

Приведем соображения по установлению требований к точности измерений, типичных для управления и контроля.

*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 выполняются 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 существенно зависит от случайных погрешностей, имеющих малое время корреляции.

Наиболее простым является указание границ интервала суммарной погрешности измерения. Если эти интервалы определены с доверительной вероятностью, настолько близкой к единице, что их можно принять в качестве наиболее возможных интервалов, то для получения погрешности определения ТЭП придется прибегнуть к арифметическому суммированию предельных погрешностей измерений отдельных параметров. Но полученная таким способом оценка погрешности определения ТЭП значительно превышает ее возможные значения в рабочих условиях и не может быть использована в подавляющем большинстве случаев. Поэтому при измерениях, связанных с вычислением

ТЭП, целесообразно использовать такой способ выражения показателей точности измерений, который позволит достаточно корректно оценить точность определения ТЭП, например срединные ошибки или средние квадратические отклонения.

Более детальный анализ характера использования результатов измерений может потребоваться, если в управляющей системе предусматривается та или иная процедура обработки результатов измерений с целью повышения достоверности измерительной информации, необходимой для управления производством. ТЭП вычисляют по результатам измерений многих величин, имеющих свои значения погрешностей. Усреднением за определенный интервал времени, применением метода балансов и другими приемами первичная информация, полученная в результате измерений, "фильтруется" с целью уменьшения погрешности определения ТЭП.

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 измерений, 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.

Для того, чтобы уловить даже самые малые изменения в технологическом процессе необходимо проводить детерминированное моделирование технологического процессе. Экспериментальные исследования в данном случае неприемлемы.

Метод моделирования с помощью статистических испытаний сравним с детерминированным методом. По результатам такого моделирования оценки математических ожиданий дадут надежную оценку отклонения показателей качества за счет отклонения обогатительных признаков.

Следовательно, используя сепарационные характеристики и математическое моделирование, т.е. объединяя детерминированный метод и метод статистических испытаний можно добиться положительного результата в оценке поиска требуемой точности контроля технологических параметров.

Допустим, имеется технология обогащения полезного ископаемого (рисунок).



## **Випробування та контроль**

Рассчитаем показатели обогащения с помощью сепарационных характеристик. Для этого задаемся функцией распределения частиц  $F(\alpha)$  (табл. 1) по содержанию в них ценного компонента  $\alpha$ , а также сепарационной характеристикой  $P(\alpha)$ , которая для всех аппаратов одинакова (табл. 1).

Таблица 1

$\alpha$	0	0,125	0,325	0,625	0,875	1,0
$P(\alpha)$	0,12	0,14	0,37	0,75	0,9	0,92
$\Delta F(\alpha)$	0,13	0,4	0,15	0,08	0,12	0,12

Результаты расчета приведены в табл. 2, где номер столбца  $j$  соответствует номеру технологической точки на рисунке, а номер строки – номеру фракции  $\alpha_i$ . Остальные ячейки включают распределение фракций в соответствующих точках схемы.

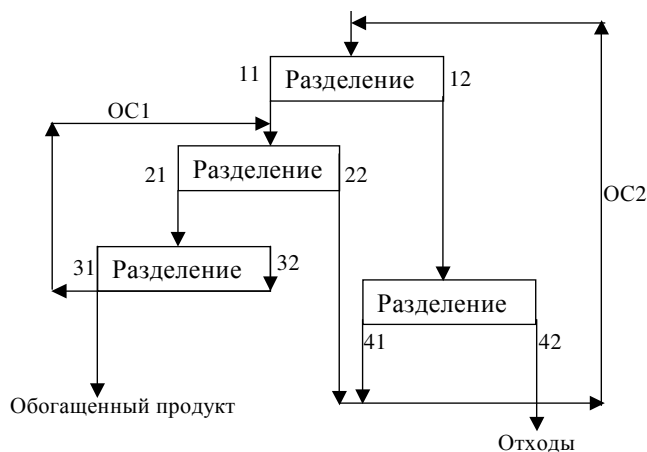


Схема технологического разделительного блока со сложными обратными связями

Таблица 2

$\alpha_i$	Номер точки технологической схемы $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
0	0,002	0,21	0,003	0,34	0,002	0,22	0,001	0,1
0,125	0,049	0,28	0,05	0,297	0,03	0,195	0,016	0,09
0,375	0,135	0,31	0,1	0,24	0,07	0,16	0,033	0,07
0,625	0,2	0,136	0,21	0,14	0,14	0,09	0,066	0,044
0,875	0,32	0,08	0,28	0,07	0,184	0,04	0,088	0,022
1,0	0,5	0,03	0,33	0,02	0,216	0,1	0,1	0,006

Для определения выхода какой-либо фракции  $i$  необходимо просуммировать элементы соответствующей строки  $i$  матрицы решения. Для определения качественных показателей требуется элементы строки перемножить на показатели качества фракций (первый столбец табл. 2) и полученные произведения сложить.

Строка матрицы решения соответствует распределению фракции по всем продуктам схемы. Сумма элементов столбца дает общий выход продукта в точ-

## Випробування та контроль

ке схеми технології. Для визначення якісного показателя  $\beta$  в будь-якій точці  $i$  схеми достатньо кожен елемент  $j$  стовпця  $i$  помножити на якісний показник  $\alpha_j$  і отримані результати додати (табл. 3).

Таблиця 3

$\alpha_i$	Номер точки технологічної схеми $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
$\gamma_j$	1,386	1,046	0,973	1,107	0,642	0,805	0,304	0,332
$\beta_j$	0,798	0,32	0,76	0,26	0,76	0,26	0,76	0,26

Таким чином, для будь-якого складного випадку з'єднання завжди можна отримати розрахункові значення якісно-кількісних показників.

Продукт під номером 31 представляє собою збагачений, а під номером 42 – обеднений. Сума виходів цих продуктів дорівнює одиниці, що і отримано в результаті розрахунку.

На чисельні значення кінцевих показників збагачення звичайно наложено обмеження, які продиктовані або замовником, або світовими досягненнями галузі, наприклад  $\beta - \Delta\beta \leq \beta \leq \beta + \Delta\beta$ .

Априорно відомо, що чим вище точність контролю якісних показників, тим точніше буде визначення кількісних показників.

З диференціального числення випливає, що похибка функції  $\sigma_\gamma^2$  визначається на основі похибок аргументів  $\sigma_{\beta_i}^2$ , т.е.

$$\sigma_\gamma^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \gamma}{\partial \beta_i} \right)^2 \sigma_{\beta_i}^2,$$

де  $n$  – кількість змінних функції  $\gamma = f(\vec{\beta}) = f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ , на основі яких визначається вихід продукту.

Для складних технологічних схем функцію  $\gamma = f(\vec{\beta})$  отримати практично не вдасться, тому має сенс скористатися чисельним диференціюванням, яке полягає в тому, щоб отримати кінцеве приращення функції  $\Delta\gamma$  і віднести його до кінцевого приращення аргумента  $\Delta\beta$ . З цією метою даємо приращення входній величині  $\Delta\alpha$ , перетворюємо його в зміну виходу, і знайдемо вектори виходів і якісних показників  $\vec{\alpha}$ ,  $\vec{\beta}$  (табл. 4). Вектор приращень показників якості наведено в третій рядку табл. 4 і має вигляд:  $\Delta\beta_i = \vec{\beta}^{(1)} - \vec{\beta}^{(2)}$ .

Таблиця 4

$\alpha_i$	Номер точки технологічної схеми $j$							
	11	12	21	22	31	32	41	42
$\gamma_j$	1,26	1,2	1,0	1,02	0,655	0,522	0,281	0,441
$\beta_j$	0,7982	0,289	0,767	0,298	0,769	0,383	0,763	0,193
$\Delta\beta_j$	0,0002	0,031	0,007	0,038	0,009	0,123	0,003	0,067
Ранг точності	1	5	3	6	4	8	2	7

## **Випробування та контроль**

Допустимые отклонения, а значит, и требуемая точность контроля этих параметров составит величину:

$$\sigma_{TP} \leq \sigma_{\beta i} = \frac{\Delta\beta_i}{4}.$$

Приращение содержания ценного минерала в исходном продукте соответствует изменению функции распределения сростков.

Расчет дает показатели, приведенные в табл. 4. Последняя строка под таблицей – допустимые отклонения соответствующих параметров.

Как видно по отклонениям, их значения зависят от схемы соединения аппаратов. Так поток для точки 32 может быть определен приближенно с допустимым отклонением более 10%.

Осуществление контроля связано со значительными затратами. Излишняя информация убыточна и практически не может способствовать улучшению качества продукции. Таким образом, при проведении опробования и контроля необходимо обоснование следующего вопроса: в каких точках технологической схемы это целесообразно осуществлять. Контролю должны подвергаться только те показатели, допустимые отклонения которых минимальны. Кроме того, полученные величины  $\Delta\beta_j$  дают требуемую точность контроля этих показателей. Наивысшая точность контроля должна быть для точки 11. Параметры точки 32 могут оцениваться весьма приближенно. Ранжирование по точности контроля указано цифрами в последней строке табл. 4.

© Младецкий И.К., Лысенко А.А., 2011

*Надійшла до редколегії 12.03.2011 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*