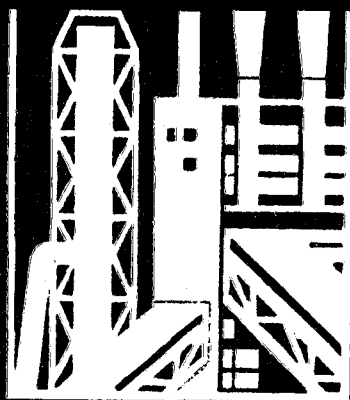


В. З. КОЗИН

# ОПРОБОВАНИЕ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ



Рецензент канд. техн. наук Ш. Ш. Кипнис

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года коренное повышение качества продукции определено как важнейший фактор интенсификации экономики и более полного удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства.

Повышение качества продукции на обогатительных фабриках возможно лишь при условии достоверного контроля качества руд и продуктов обогащения, а также надежно действующей системы технического контроля. В связи с этим возрастает значение опробования и контроля технологических процессов.

С опробованием как методом получения информации о свойствах перерабатываемых масс связан любой работник обогатительной фабрики. Количественная мера этих свойств, которую получают путем опробования, характеризует работу технологических аппаратов, отдельных рабочих и целых коллективов. Поэтому опробованию на фабриках отводится особое место. Отдельные группы работников фабрик, объединяемые в отдел технического контроля (ОТК), насчитывающий обычно несколько десятков человек, заняты только опробованием и обработкой его результатов. К этой группе работников примыкают сотрудники экспресс-лаборатории и в значительной мере группы АСУП. Наконец, оперативное опробование проводят технологи, ведущие процесс, и сотрудники исследовательских лабораторий. Только часть этого персонала (в ОТК, экспресс-лаборатории и часть сотрудников цеха КИПиА) составляет от 5 до 10 % всего персонала фабрики. Результатом деятельности всех этих сотрудников обогатительных фабрик является информация о составе, массах входных и выходных продуктов как отдельных аппаратов и их соединений, так и всей фабрики, в том числе информация о поступающей руде и отгружаемых концентратах.

С развитием техники опробования, снижением стоимости получения информации опробованием и увеличением возможностей ее оперативной обработки повышались требования к объему и качеству этой информации. На современных обогатительных фабриках число проб составляет тысячи в сутки, а число элементоопределений может быть в 2—3 раза больше, составляя 5—10 миллионов элементоопределений в год.

Получение такого объема информации связано с большими капитальными и эксплуатационными затратами. То, что фабрики идут на такие затраты, все увеличивающиеся к настоящему времени, свидетельствует о важности опробования, его прямом влиянии на экономические результаты работы. Однако опробование само по себе является весьма специфичным процессом получения объективной информации об опробуемых массах любой величины,

**Козин В. З.**  
К59 Опробование на обогатительных фабриках.— М.: Недра, 1988.— 287 с.: ил.

ISBN 5—247—00110—9

Изложена теория опробования полезных ископаемых и продуктов их обогащения. Описаны виды опробования, способы отбора проб от неподвижных и движущихся материалов, способы подготовки этих проб, пробоотбиратели и проборазделочные машины. Освещены практика и особенности опробования руд и продуктов переработки цветных, черных и благородных металлов, угля, неметаллических полезных ископаемых. Даны методы составления, расчета и анализа технологического и товарного балансов, а также расчета и оптимизации параметров опробования.

Для производственно-технических работников горно-обогатительных предприятий.

К.  $\frac{250500000-106}{043(01)-88}$  298—88

ББК 33.4

ISBN 5—247—00110—9

© Издательство «Недра», 1988

состоящим в том, что эту информацию в итоге получают, анализируя навеску массой 1 г и менее. Для того чтобы такая масса, например 1 г, соответствовала массе, например 1000 т, необходимо соблюдение многих правил реализации отбора, подготовки и анализа проб. Очевидно, что произвольное уменьшение массы в  $10^9$  раз не может привести к удовлетворительным результатам.

Особенность современного состояния опробования — широкое развитие способов его реализации, отклоняющихся от традиционной схемы «отбор пробы — ее подготовка — анализ навески». Бурно развивающиеся геофизические методы опробования (аппаратурные методы) чаще всего исключают среднее звено — подготовку пробы, а отбор пробы заменяют выделением ее в опробуемом массиве без физического изъятия, само же выделение объединяется с анализом [8, 15, 18, 21]. Развитие геофизических методов стимулируется существенным снижением стоимости единицы информации при их применении. Так, по данным Абаканского рудоуправления [22], с применением аппаратурных методов стоимость одного элементопределения снижается в 4—5 раз. Большое достоинство геофизических методов опробования — их способность объединить в единое целое оперативное опробование всей технологической цепи от добычи полезного ископаемого до отгрузки концентрата.

Элементы теории опробования развивались в течение многих лет. Несмотря на то что многие проблемы, связанные с опробованием, обсуждались, полной теории до сих пор не существовало. Это связано прежде всего с тем, что опробование не рассматривалось в целом, не увязывались закономерности распределения характеристик опробуемых массивов, закономерности образования и преобразования проб. Не существовало расчетного метода параметров опробования. Существовал набор формул либо правил, объединяя которые можно было обосновать эти параметры, но не более. Основные теоретические результаты сконцентрированы вокруг фундаментального понятия минимальной массы. Сама по себе минимальная масса в расчетах не используется, а лишь служит некоторым ориентиром в теоретических и практических построениях [26, 32].

Закономерности распределения массовой доли компонентов в точечных пробах изучались экспериментальным образом. Показано, что возможны как правоасимметричные, так и левоасимметричные распределения. Доказано на многих примерах, что изменение массы точечной пробы приводит к изменению закона распределения массовой доли определяемого компонента. Исследования опробования продуктов, содержащих благородные металлы [11, 12], привели к практической необходимости учета асимметрии распределений в расчетах числа точечных проб. Однако общие принципиальные закономерности формирования и эволюции распределения массовой доли компонентов в точечных пробах высказаны не были.

Закономерности образования проб связаны прежде всего

с трактовкой понятия минимальной массы пробы. Несмотря на исключительно широкое распространение формулы минимальной массы пробы  $q = kd^2$ , она не позволяет выполнить анализ существующих систем опробования и перейти к их синтезу. В формулу минимальной массы должна в явном виде входить допустимая погрешность, связанная с пробой. Такие формулы существуют [16, 29, 34, 35]. Рассмотрим формулу минимальной массы пробы, предложенную П. Жи [34]:

$$q = (\alpha^2 / s_{\alpha \text{ доп}}^2) f e c L d^3,$$

где  $q$  — минимальная масса пробы;  $\alpha$  — определяемое значение массовой доли;  $s_{\alpha \text{ доп}}$  — допустимое среднее квадратическое отклонение определяемого значения массовой доли  $\alpha$ ;  $f$  — коэффициент формы ( $f = 0,3 \div 0,7$ , в среднем  $f = 0,5$ );  $e$  — коэффициент, связанный с гранулометрическим составом опробуемой массы ( $e = 0,25$  для неклассифицированного материала,  $e = 0,25 \div 0,75$  для материала разной степени классификации);  $c$  — показатель, зависящий от минерального состава опробуемой массы;  $L$  — коэффициент, связанный с вкрапленностью опробуемого материала ( $L = 0,05 \div 0,8$ , чем ближе размер вкрапленности к крупности кусков опробуемой массы, тем  $L$  больше);  $d$  — максимальная крупность опробуемого материала, равная размеру ячейки квадратного сита, через которое проходит 95 % опробуемого материала.

Показатель  $c$  определяют по формуле

$$c = (1 - \alpha) [\rho_n + \rho_m (1 - \alpha) / \alpha],$$

где  $\rho_n$ ,  $\rho_m$  — плотность соответственно породы и минерала.

Недостаток этой формулы — использование качественных характеристик опробуемой массы, в частности оценки вкрапленности, что приводит к субъективизму в расчетах.

П. Жи [34] учитывает все этапы работы с пробой — отбор пробы, ее подготовку и анализ — и показывает, что в результате должна учитываться суммарная погрешность. П. Жи, по существу, сформулировал требование равнопредставительности элементов опробуемого массива (потока). Однако общей увязки погрешностей отбора, подготовки и анализа с параметрами опробования П. Жи не сделал. Нет также привязки этой формулы к условиям отбора и подготовки проб и выделения допустимой погрешности на каждом этапе, следовательно, она также может быть использована в основном для общих соображений.

Закономерности преобразования проб и формулирование погрешности результата в целом изучались в основном только экспериментально. Важным событием стал выход в свет в 1961 г. книги М. Ф. Локонова «Опробование на обогатительных фабриках», в которой отражен весь накопленный к тому времени опыт опробования. Аналогичная книга для геологов написана М. Н. Альбовым [4]. Однако отсутствие теоретической базы не позволяло делать какие-либо общие выводы. Значительным шагом в этом направлении является работа Ю. А. Ткачева и А. А. Шеина [30].

Государственные и международные стандарты дают не методики расчетов, а ряд правил и утверждений, выполнение которых обеспечивает приемлемый в среднем результат. Методики полного расчета, связывающего допустимую погрешность с параметрами опробования не существует. В данной книге сделана попытка не только осветить теоретические вопросы опробования, но и показать особенности и взаимосвязь всех существующих способов опробования.

Особенность современного подхода к опробованию — использование для описания объектов опробования принципиально асимметричных распределений массовой доли компонентов в точечных пробах. На основе такого представления формируются закономерности распределения массовой доли в точечных пробах, объясняющие вид и эволюцию законов распределения в зависимости от массы точечной пробы и массовой доли компонента в опробуемом массиве. На основе нового понятия вероятной систематической погрешности объясняются факты занижения доли компонентов бедных продуктов, дополнительные систематические погрешности технологического и товарного балансов.

Фундаментальное понятие минимальной массы пробы развито для однородного и неоднородного массивов. Минимальная масса пробы является сложной функцией размера кусков опробуемой массы и зависит от размера куска от третьей степени для кусков малого размера до степени, стремящейся к нулю, для кусков большого размера. Суммарный показатель степени в формуле минимальной массы при размере кусков и размере зерен минерала всегда равен трем. Минимальная масса для неоднородного массива всегда больше минимальной массы для однородного массива.

Существует теоретически оптимальный пробоотбор. Это новое понятие непосредственно приводит к разработке нового класса пробоотбирателей с активным воздействием на куски опробуемой массы.

Минимальная масса для ситового анализа является функцией размеров сит или выходов определяемых классов.

Преобразование проб и их подготовка связаны с привнесением дополнительных погрешностей, резко возрастающих с переходом к малым массам даже при небольшой крупности их кусков. Доля относительной погрешности в отборе аналитической навески может составлять десятки процентов. Геофизические методы, исключая преобразование проб, а также позволяющие выполнить анализ масс, обычно заметно превышающих массы навесок для химического анализа, часто обладают поэтому меньшей погрешностью, могут превосходить по точности традиционные методы.

Общая формула погрешности результата опробования позволяет поставить и решить задачи аналитического расчета существующих технологий и схем опробования на любой обогатительной фабрике, задачи синтеза схемы и параметров опробования для промежуточных точек и, наконец, задачу оптимизации опробова-

ния в целом. Основные экспериментальные данные при таких расчетах — дисперсии точечных проб и дисперсии покускового опробования различных классов продуктов обогащения. В книге даны экспериментальные методики и особенности их определения.

Общие закономерности распределения массовой доли, закономерности формирования и преобразования проб позволяют дать обоснованную классификацию методов и средств пробоотбора, пробоподготовки и анализа. Особо выделяются способы извлечения элементов потока и способы активного воздействия на куски при отборе проб.

Оценка погрешности технологического и товарного балансов позволяет указать рациональные варианты их расчета и анализа. Роль ведущего, наиболее контрастно разделяемого компонента, оказывается решающей при расчете. Детальный анализ невязки показывает, что существует диапазон массовых долей опробования, при которых формируется положительная невязка.

Современная разнообразная и сложная техника опробования, возможности оперативного использования информации для управления технологическими процессами и их оптимизации многократно увеличивают роль общих закономерностей опробования, методов расчета погрешностей и анализа результатов. На основе цельного общего представления о закономерностях опробования расчеты параметров опробования могут быть созданы экономичные методики опробования на обогатительных фабриках, нормативные документы и техника отбора, подготовки и анализа проб.

## **1. ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ**

### **1. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАСС**

Масса продукта на обогатительной фабрике — необходимая характеристика, используемая во всех расчетах и оценках продуктов.

Непосредственным способом измерения массы является взвешивание, суть которого сводится к сопоставлению измеряемой массы с эталонной, на устройствах, называемых весами. Наиболее широко распространены рычажные весы. Высокое качество и отработанная технология их изготовления позволяют достигать высокой точности измерения масс.

Достижимая относительная погрешность взвешивания на технических весах составляет от 1 до 0,01 %, погрешность технических взвешиваний повышенной точности 0,001 %.

Способы и средства определения масс, используемые на обогатительных фабриках, представлены в табл. 1.

## Способы определения массы

Массы	Область применения	Технические средства	Пределы измерения	Относительная погрешность, %	Прочие технические характеристики	
Малые от 0,0001 мг до 100 кг	Техническое взвешивание повышенной точности Техническое взвешивание аналитических навесок, лабораторных проб	Аналитические лабораторные и торговые весы многих марок				
Большие	Взвешивание: вагонов, автомашин	Вагонные циферблатные РС-150Ц13В	До 150 т	$\pm 1,5$ (до 150 т); $\pm 1$ (до 100 т)	Цена деления шкалы 50 кг	
		075П200	10—200 т	$\pm 1$ (до 50 т); $\pm 2$ (до 200 т)	Цена деления шкалы 100 кг	
		Электротензометрические Э72Т200	20—200 т	$\pm 0,5$	Цена деления шкалы 1 т	
	скипов, мельниц Взвешивание продуктов, перемещаемых конвейером	Ваттметры, амперметры Ленточные ЛТМ-1	— 6,4·10 <sup>-3</sup> — 0,5 т/м	— $\pm 1$	— $\pm 1$	— Ширина ленты конвейера 200—400 мм, скорость ленты до 2,5 м/с, угол наклона ленты 0—20°
		Весонизмеритель ВЛ-1058	0,1 т/м	$\pm 1,5$	—	—
			Конвейерные электротензометрические: 576Д 200 577Д 400 578Д 1000 579Д 1250 580Д 1600	0,032 т/м 0,064 т/м 0,16 т/м 0,2 т/м 0,25 т/м	— $\pm 3-5$	—
			Гамма-весы ГКВ-1	0,025—0,1 т/м	$\pm 4$	—
Взвешивание пульпы			С помощью расходомеров	0,4—400 м <sup>3</sup> /ч	5—15, в том числе погрешность измерения расхода до 2,5, плотности пульпы до 4—2, плотности твердого до 3	Необходимо измерение расхода пульпы либо ее объема, плотности пульпы и плотности твердого
		С помощью пробоотбирателей	До 5000 м <sup>3</sup> /ч	—	—	
Очень большие	Определение массы в бункере, штабеле, отвале	Маркшейдерские измерения: мерной рейкой рулеткой инструментальная съемка		5 6—14 1,5—4	Допустимая относительная погрешность определения насыпной плотности должна быть 2—5%. Необходимо измерение насыпной плотности и влажности	

Разработаны и используются способы и устройства косвенного измерения массы, которые связаны чаще всего с невозможностью непосредственного взвешивания массива вследствие его больших размеров, со стремлением измерить массу способом, исключая механическое воздействие массива на инструмент, с тесной корреляцией какой-либо легко измеряемой величины с массой. Как правило, косвенные методы измерения массы обладают более высокой погрешностью измерения, чем взвешивание.

Способы косвенного измерения массы:

с помощью маркшейдерских измерений объема при известной насыпной плотности;

путем взвешивания проб, для которых известен коэффициент пропорциональности между массой пробы и массой опробуемого массива;

путем измерения силы тока или мощности приводного двигателя, перемещающего измеряемую массу;

путем измерения интенсивности проникающего излучения.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС

На обогатительных фабриках маркшейдерские измерения широко используют для определения масс продуктов, находящихся в неподвижном состоянии (руда, находящаяся на всех видах складов — перегрузочных, усреднительных, накопительных, буферных, во всех видах бункеров, в отвалах, концентраты в сгустителях, на складах, в бункерах, промпродукты в технологических емкостях либо в специальных складах).

Суть любого маркшейдерского измерения сводится к измерению объема  $V$ , а также определению насыпной плотности продукта  $\rho_n$  и вычислению массы по формуле

$$M = \rho_n V, \quad (1)$$

где  $\rho_n$  — средняя для всего объема насыпная плотность массива, чаще всего подразумеваемая по твердому, т/м<sup>3</sup>.

Как правило, необходимо учитывать влажность  $W$ . Поэтому вариантами формулы (1) для определения сухой массы будут формулы:

для сыпучих тел

$$M = \rho_n (1 - W) V;$$

для жидких продуктов

$$M = \rho (\delta - 1) V / (\rho - 1),$$

где  $\rho$  — плотность твердого в пульпе;  $\delta$  — плотность пульпы.

Если измеряемый массив не находится в емкости известной конфигурации (это чаще всего отвалы), то всегда стремятся представить этот массив в виде какой-либо известной геометрической фигуры (или совокупности таких фигур). Измерив затем характерные для выбранной фигуры параметры, вычисляем объем. Наиболее распространенными фигурами, выбираемыми для этой цели, являются конус, пирамида, призма. Для этих фи-

гур обычно нужно измерить параметры основания (диаметр, длину, ширину) и высоту.

Для измерения используют инварные проволоки, стальные и тесьмяные рулетки, ленты, а также дальномеры. Для измерения высот — отвесы, мерные рейки, нивелиры.

Хотя точность измерения линейных величин высока, обычно не она предопределяет погрешность определения объема. Эту погрешность предопределяет погрешность геометрической аппроксимации формы тела измеряемого массива.

Точность определения объема отвалов зависит от способа измерения, формы и размеров отвалов и штабелей. По фактическим данным сравнения результатов точных и обычных измерений средние квадратические погрешности определения объема одного отвала составляют, %:

Измерение рулеткой (для отвалов объемом 400—7000 м <sup>3</sup> ) . . . . .	±6—14
Инструментальная-тахеометрическая съемка (для штабелей объемом 3000—6000 м <sup>3</sup> ) . . . . .	±1,5—4
Измерение профилей . . . . .	±3,5

Определение объема выполняется точнее, если массив оконтурен какими-либо границами, т. е. находится в емкости (например, в бункерах, складах). Для таких условий обычно бывает достаточно определить не все геометрические размеры тела, а только некоторые, например уровень поверхности материала в емкости. Для известных геометрических характеристик емкости по измеренному уровню непосредственно делают вывод об объеме тела. С этой целью выполняют предварительные расчеты и используют таблицу либо график, позволяющие в производственных условиях делать нужные сопоставления сразу.

Так, опытный мастер ОТК, визуально оценив уровень материала (например, концентрата) на складе, мгновенно называет массу концентрата, имеющегося на складе, в тоннах.

При определении массы материала в протяженных емкостях используют метод профилей, когда измеряется уровень не в одной точке массива, а в нескольких. При этом снимается профиль, по которому, также используя предварительные расчеты, определяют объем массива (либо сразу его массу).

Имеются случаи, когда объем массива известен заранее, например для сгустителей и для других заполненных технологических емкостей.

## 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СЫПУЧИХ ТЕЛ

Обычно при определении насыпной плотности сыпучих тел взвешивают часть массива определенного объема и насыпную плотность определяют по формуле

$$\rho_n = m/V,$$

где  $m$  — измеренная (взвешенная) масса части массива;  $V$  — объем этой части.

Для этого либо извлекают материал строго ограниченного объема из массива и взвешивают его, либо наполняют этим материалом емкость известного объема, которую затем взвешивают.

Первый способ предпочтительнее, так как при его реализации учитываются характер и степень уплотненности массива, и всегда должен применяться, если только можно правильно измерить, объем материала, выбранный в пробу. Это относится ко всем слежавшимся продуктам. Если продукт весьма сыпуч либо текуч, например влажные и сухие концентраты, то целесообразно использовать второй способ.

Насыпную плотность во многих случаях достаточно определить заблаговременно для типичных условий и использовать в последующем как постоянную величину.

В соответствии с Межотраслевой инструкцией по определению и контролю добычи и вскрытия на карьерах допустимые погрешности определения объема отвала и насыпной плотности полезного ископаемого составляют:

Объем отвала, тыс. м <sup>3</sup> . . . . .	До 20	20—50	50—200	Свыше 200
Допустимая относительная погрешность определения, %:				
объема отвала . . . . .	8	5	3	2
насыпной плотности . . . . .	5	5	4	2

Если с помощью имеющихся средств достичь допустимой погрешности однократным измерением нельзя, то используют многократные измерения и усреднение полученных данных.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ

Плотностью пульпы  $\delta$  называют массу пульпы в единице объема

$$\delta = M_{п}/V_{п} = (M_{тв} + M_{в}) / (M_{тв}/\rho + M_{в}), \quad (2)$$

где  $M_{п}$  — масса пульпы;  $V_{п}$  — объем пульпы;  $M_{тв}$  — масса твердого в пульпе;  $M_{в}$  — масса воды;  $\rho$  — плотность твердого.

Обычно взвешивают известный заранее объем пульпы, задаваемый так называемой мерной кружкой ( $V_{п} = 0,5 \div 1$  дм<sup>3</sup>). Такое измерение с использованием формулы (2) сопровождается погрешностью 1,5—2 %.

Применение мерных кружек (рис. 1) распространено повсеместно благодаря простоте конструкции. Мерные кружки применяют даже при наличии автоматических плотномеров как контрольный инструмент.

Автоматические плотномеры имеются почти на любой обогатительной фабрике. В табл. 2 дана характеристика наиболее распространенных плотномеров.

Измерение малых плотностей (концентраций твердого) пульпы имеет некоторые особенности. Продуктами с малыми содержаниями твердого являются сливы сгустителей, фильтраты, фугаты.

Рис. 1. Мерная кружка (а) и мерная кружка-пробоотбиратель (б)

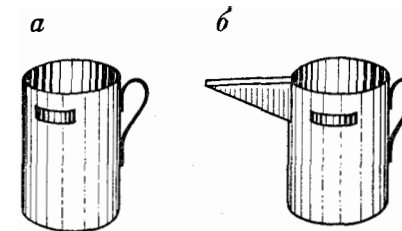


Таблица 2

#### Характеристика плотномеров

Плотномер	Принцип измерения	Относительная погрешность, %	Особенности
Поплавковый	Взвешивание с помощью поплавка, полностью погруженного в пульпу	$\pm 1$	Простота, возможность измерения плотности в малом объеме, чувствительность к движению пульпы. Плотность пульпы 1—2 г/см <sup>3</sup>
Пьезометрический	Измерение разности давления воздуха в двух трубках, погруженных на разную глубину в пульпу	$\pm 2$	Трубки могут зарастать твердыми частицами, необходимо иметь источник сжатого воздуха. Плотность пульпы 1—2 г/см <sup>3</sup>
Гидростатический	Измерение давления постоянного столба пульпы. Постоянство столба обеспечивается переливом	Погрешность зависит от высоты столба пульпы и может быть весьма малой	Значительная высота датчика
Радиоактивный	Измерение интенсивности прошедших через пульпу гамма-лучей изотопов <sup>60</sup> Со и <sup>137</sup> Сs в трубопроводах диаметром 100—300 мм	$\pm 2$	Отсутствие контакта с потоком, наличие радиоактивных источников, необходимость обеспечения полного заполнения трубы. Плотность пульпы 1—3 г/см <sup>3</sup>
Весовой	Взвешивание определенного объема пульпы в трубе, труба должна быть заполнена полностью	$\pm (1,5 \div 2,5)$	Простота, легкость проверки, измерение плотности потока, необходимость отбора потока. Плотность пульпы 1—2,5 г/см <sup>3</sup>

ние твердого в сливе. Если содержание твердого больше 5—10 г/л, то плотность контролируют с помощью мерной емкости объемом 10 л, взвешивая ее.

Погрешности таких определений зависят в основном от качества пробоотбора. Обеспечить высокое качество отбора проб пульпы благодаря хорошей возможности турбулизации потоков жидкости с малыми концентрациями твердого сравнительно не сложно.

Из инструментальных методов чаще используется нефелометрический. Метод основан на зависимости интенсивности проходящего через слой среды света от концентрации в ней твердых частиц. Интенсивность  $J$  прошедшего через слой  $l$  среды света

$$J = J_0 e^{-kl},$$

где  $J_0$  — первоначальная интенсивность светового потока;  $k$  — коэффициент поглощения света, зависящий от состава вещества, содержания и свойств твердых частиц.

При стабильном  $l$  разность логарифмов первоначальной и измеренной интенсивностей равна оптической плотности и пропорциональна концентрации поглощающего вещества.

Оптические датчики могут быть установлены на вертикальных участках трубопроводов. С противоположных сторон трубы располагают источник освещения и приемник излучения. Недостатки таких приборов — зависимость показаний от вещественного состава твердых частиц и распределения их по крупности, а также загрязнение со временем стенок датчика. Чтобы избежать последнего недостатка, стремятся создавать приборы без оконтуривающих поток жидкости стенок, контролируя сформированную и пролегающую между чувствительными элементами струю либо помещая их непосредственно в поток жидкости или газа.

Погрешности нефелометров как измерителей составляют 2—5 %.

### 5. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ПУЛЬПЫ

Пульпа характеризуется рядом параметров, массой, массой твердого и воды, объемом, объемом твердого и воды, а также плотностью и относительными характеристиками — отношением жидкого к твердому по массе и отношением масс и объемов твердого к массе и объему пульпы. Соотношения между этими параметрами приведены в табл. 3. Формулы удобны для записи, если  $\lambda$ ,  $T$  измеряются в долях единицы. Если они выражены в процентах, то нужно перейти к долям единицы либо преобразовать формулы, представив вместо  $\lambda$  или  $T$  соответственно  $\lambda/100$  или  $T/100$ .

Формулы (см. табл. 3) пригодны для определения расходов. При этом все массовые и объемные параметры должны иметь размерности расходов.

Пример. Определим расход твердого  $Q_{тв}$ , если известен расход пульпы  $Q_{п}$ . В соответствии с табл. 3 находим

$$Q_{тв} = Q_{п} (\delta - 1) \rho / (\rho - 1) = 600 \cdot (1,33 - 1) \cdot 3 / (3 - 1) = 300 \text{ т/ч}$$

$$\text{или } Q_{тв} = Q_{п} \delta T = 600 \cdot 1,33 \cdot 0,375 = 300 \text{ т/ч,}$$

$$\text{или } Q_{тв} = Q_{п} \rho / (1 + \lambda \rho) = 600 \cdot 3 / (1 + 1,67 \cdot 3) = 300 \text{ т/ч.}$$

### 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТВЕРДЫХ ПРОДУКТОВ

Расход, т. е. массу продуктов, проходящих через какое-либо сечение технологического потока за единицу времени, определяют при конвейерном транспорте с помощью конвейерных весов.

На обогатительных фабриках СССР применяют весы типа ЛТМ, снабженные механическим интегратором с кинематической парой (фрикционный диск-ролик). Имеются конвейерные весы с фотоэлектрическим и тензометрическим интеграторами. Рассмотрим принцип действия весов ЛТМ (рис. 2).

Масса материала на ленте воспринимается грузоприемной платформой 21 и передается через рычаги 18—20, квадрант 17, тягу 12 указателю веса 13, воздействующему на концевые выключатели 14, 16 для сигнализации предельных нагрузок весов (сигнализатор 15).

Суммарная масса груза  $M$ , прошедшего через весы за определенный промежуток времени:

$$M = \int_{t_1}^{t_2} q(t) v(t) dt, \quad (3)$$

где  $q(t)$  — удельная производительность;  $v(t)$  — скорость ленты;  $t_2 - t_1$  — интервал времени интегрирования.

Чтобы обеспечить интегрирование, весы ЛТМ (см. рис. 2) снабжены роликом 1, который вращается благодаря соприкосновению с лентой, вращение ролика 1 передается цепной 2, а затем зубчатыми передачами 3—5 горизонтальному диску 6. На диске находится ролик 7, перемещаемый синхронно с указателем нагрузки на ленте конвейера радиально относительно диска 6. Частота вращения ролика 7 таким образом зависит от частоты вращения диска, а значит, от скорости ленты  $v(t)$  конвейера и удельной производительности  $q(t)$ . Частота вращения вала ролика 7 пропорциональна произведению этих величин.

Следовательно, при интегрировании частоты вращения ролика 7 (счетчик 11) осуществляется интегрирование расхода руды по формуле (3).

Так как при такой конструкции весы должны показывать даже нулевую нагрузку лишь при вращающемся ролике 7, они снабжаются дифференциалом, позволяющим при нулевой нагрузке поставить ролик на некоторое расстояние от центра диска, а возникшее при этом вращение ролика 7 компенсировать на валу интегратора противоположным вращением выходного вала, передаваемое



Связь между параметрами пульпы (пример расчета для условий  $M_{ТВ} = 300$  т;  
 $M_B = 500$  т;  $\rho = 3$  т/м<sup>3</sup>)

Определяемый параметр пульпы	Основная формула	Дополнительные формулы, содержащие параметры		
		$\lambda$ , доли ед.	$\delta$ , т/м <sup>3</sup> или г/см <sup>3</sup>	$T$ , доли ед.
Отношение массы жидкого к массе твердого $\lambda$ , доли ед.	$\lambda = M_B / M_{ТВ} = 500/300 = 1,67$	—	$\lambda = \frac{\rho - \delta}{\rho(\delta - 1)} = \frac{3 - 1,33}{3(1,33 - 1)} = 1,67$	$\lambda = (1 - T)/T = (1 - 0,375)/0,375 = 1,67$
Масса твердого $M_{ТВ}$ , т	—	$M_{ТВ} = M_B / \lambda = 500/1,67 = 300$ $M_{ТВ} = V_{п\rho} / (1 + \lambda\rho) = 600 \cdot 3 / (1 + 1,67 \cdot 3) = 300$	$M_{ТВ} = V_{п}\delta T = 600 \cdot 1,33 \times 0,375 = 300$ $M_{ТВ} = V_{п}(\delta - 1)\rho / (\rho - 1) = 600 \cdot (1,33 - 1) \cdot 3 / (3 - 1) = 300$	$M_{ТВ} = M_B T / (1 - T) = 500 \times 0,375 / (1 - 0,375) = 300$ $M_{ТВ} = \frac{V_{п\rho} T}{T + (1 - T)\rho} = \frac{600 \cdot 3 \cdot 0,375}{0,375 + (1 - 0,375) \cdot 3} = 300$
Масса воды $M_B$ , т	—	$M_B = M_{ТВ}\lambda = 300 \cdot 1,67 = 500$	$M_B = V_{п}\delta(1 - T) = 600 \cdot 1,33 \cdot (1 - 0,375) = 500$	$M_B = M_{ТВ} \frac{(1 - T)}{T} = \frac{300 \cdot (1 - 0,375)}{0,375} = 500$
Масса пульпы $M_{п}$ , т	$M_{п} = M_{ТВ} + M_B = 300 + 500 = 800$	$M_{п} = V_{п\rho}(1 + \lambda) / (1 + \lambda\rho) = \frac{600 \cdot 3(1 + 1,67)}{1 + 3 \cdot 1,67} = 800$	$M_{п} = V_{п}\delta = 600 \cdot 1,33 = 800$	$M_{п} = M_{ТВ} / T = 300 / 0,375 = 800$
Объем пульпы $V_{п}$ , м <sup>3</sup>	$V_{п} = M_{ТВ} / \rho + M_B = 300/3 + 500 = 600$	$V_{п} = M_{ТВ} \left( \frac{1}{\rho} + \lambda \right) = 300 \left( \frac{1}{3} + 1,67 \right) = 600$ $V_{п} = M_B \left( 1 + \frac{1}{\rho\lambda} \right) = 500 \left( 1 + \frac{1}{3 \cdot 1,67} \right) = 600$	$V_{п} = M_{ТВ}(\rho - 1) / \rho(\delta - 1) = \frac{300 \cdot (3 - 1)}{3(1,33 - 1)} = 600$ $V_{п} = M_{ТВ} / \delta T = 300 / (1,33 \cdot 0,375) = 600$	$V_{п} = M_{ТВ} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{1 - T}{T} \right) = 300 \left( \frac{1}{3} + \frac{1 - 0,375}{0,375} \right) = 600$ $V_{п} = M_B \left[ \frac{T}{\rho(1 - T)} + 1 \right] = 500 \times \left[ \frac{0,375}{3(1 - 0,375)} + 1 \right] = 600$
Объем твердого $V_{ТВ}$ , м <sup>3</sup>	$V_{ТВ} = M_{ТВ} / \rho = 300/3 = 100$	$V_{ТВ} = V_{п} / (1 + \lambda\rho) = 600 / (1 + 1,67 \cdot 3) = 100$	$V_{ТВ} = V_{п}(\delta - 1) / (\rho - 1) = 600 \cdot (1,33 - 1) / (3 - 1) = 100$	$V_{ТВ} = V_{п} \frac{T}{T + (1 - T)\rho} = 600 \frac{0,375}{0,375 + (1 - 0,375) \cdot 3} = 100$
Плотность пульпы $\delta$ т/м <sup>3</sup> или г/см <sup>3</sup>	$\delta = M_{п} / V_{п} = 800/600 = 1,33$	$\delta = \frac{(1 + \lambda)\rho}{1 + \lambda\rho} = \frac{(1 + 1,67) \cdot 3}{1 + 1,67 \cdot 3} = 1,33$	—	$\delta = \frac{\rho}{T + (1 - T)\rho} = \frac{3}{0,375 + (1 - 0,375) \cdot 3} = 1,33$
Отношение массы твердого к массе пульпы $T$ , доли ед.	$T = M_{ТВ} / M_{п} = 300/800 = 0,375$	$T = 1 / (1 + \lambda) = 1 / (1 + 1,67) = 0,375$	$T = \frac{\rho}{\rho - 1} \cdot \frac{\delta - 1}{\delta} = \frac{3}{3 - 1} \cdot \frac{1,33 - 1}{1,33} = 0,375$	—
Отношение объема твердого к объему пульпы $T_{об}$ , доли ед.	$T_{об} = V_{ТВ} / V_{п} = 100/600 = 0,167$	$T_{об} = 1 / (1 + \rho\lambda) = 1 / (1 + 3 \cdot 1,67) = 0,167$	$T_{об} = (\delta - 1) / (\rho - 1) = (1,33 - 1) / (3 - 1) = 0,167$	$T_{об} = \frac{T}{T + (1 - T)\rho} = \frac{0,375}{0,375 + (1 - 0,375) \cdot 3} = 0,167$

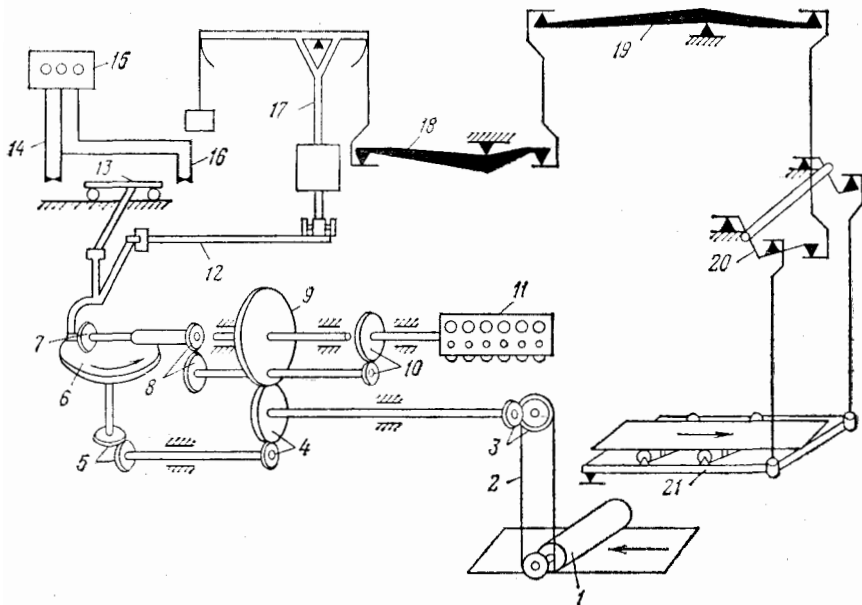


Рис. 2. Кинематическая схема весов ЛТМ

мым от ролика 1. В состав дифференциала входят зацепления 8—10.

В соответствии с ОСТ 48.137.0—78 «Руды цветных металлов. Нормы взвешивания на вагонных весах» точность взвешивания концентратов должна составлять  $\pm 0,5\%$ , руд  $\pm 1\%$ .

*Определение расхода с помощью проникающего  $\gamma$ -излучения.* Известная связь между интенсивностью проникающего излучения  $J$  и толщиной слоя материала  $l$  между источником и приемником излучения  $J = J_0 e^{-\mu l}$  положена в основу работы гамма-весов. Здесь  $J_0$  — интенсивность источника излучения;  $\mu$  — массовый коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения.

Толщина слоя материала, например на конвейере, пропорциональна его расходу

$$l = kQ.$$

Следовательно

$$J = J_0 e^{-\mu kQ}.$$

Отсюда

$$Q = [\ln(J_0/J)] / (\mu k). \quad (4)$$

Отклонения от принятых в расчете по формуле (4) значений  $k$ ,  $\mu$  и изменения условий измерения приводят к тому, что гамма-весы всегда обладают более высокой погрешностью, чем рычажные.

*Определение массы с помощью измерения параметров нагруженного привода.* Если измеряемая масса перемещается, то расходуемая активная мощность привода может быть хорошо коррелирована с перемещаемой массой, т. е. может быть выполнено соотношение

$$P - P_{x.x} = b_P M,$$

где  $P$  — мощность, потребляемая приводом при перемещении массы;  $P_{x.x}$  — мощность, потребляемая приводом при перемещении пустого сосуда (холостой ход);  $b_P$  — коэффициент пропорциональности;  $M$  — измеряемая масса.

Отсюда

$$M = (P - P_{x.x}) / b_P. \quad (5)$$

Погрешность таких измерений может быть большой, особенно когда  $P$  и  $P_{x.x}$  близки между собой, например для мельниц. Понимая это, идут на упрощение, определяя массу по потребляемому приводом току  $I$  с учетом тока холостого хода  $I_{x.x}$  и коэффициента пропорциональности между током и массой  $b_I$ :

$$M = (I - I_{x.x}) / b_I. \quad (6)$$

Такой способ иногда является одним из немногих возможных способов измерения массы, например руды в скипах при выдаче ее из рудника. Благодаря простоте, он в таких условиях широко используется, причем не только для оперативного контроля выдачи руды, но и для балансовых расчетов фабрики с рудником.

Так как влажность руды, выдаваемой каждым скипом, измерить практически невозможно, она устанавливается ориентировочно в среднем для длительных условий эксплуатации и, естественно, колебания массы влаги в скипе приводят к появлению больших погрешностей при измерении сухой массы. В этих условиях использование косвенного способа измерения массы с помощью измерения мощности либо силы тока вполне оправдано.

Для определения коэффициентов  $b_P$ ,  $b_I$  в формулах (5) и (6) необходимо с помощью других устройств, например весов, определить массу  $M$  и зафиксировать при подъеме (перемещении) этой массы потребляемые мощность либо ток. Обычно такое определение следует выполнять несколько раз.

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТВЕРДОГО В ПУЛЬПАХ

Расход твердого в пульпе определяют по формуле

$$Q_{тв} = Q_{п} (\delta - 1) \rho / (\rho - 1), \quad (7)$$

где  $Q_{п}$  — расход пульпы;  $\delta$ ,  $\rho$  — плотность соответственно пульпы и твердого.

Расход пульпы измеряют щелевыми и электромагнитными (индукционными) расходомерами. Принцип работы щелевых расходомеров основан на измерении высоты уровня жидкости в баке, в который она постоянно поступает и из которого вытекает через

калиброванное щелевое отверстие. Основные элементы расходомера — сосуд с перегородкой, отверстие истечения специальной формы и измеритель уровня. Расход пульпы  $Q_{п}$  определяют как функцию уровня пульпы  $H$ .

Индукционные расходомеры пригодны для измерения расхода жидкостей и пульп в закрытых заполненных трубопроводах. Датчик расходомера пульпы представляет собой отрезок трубы, покрытый изнутри резиной. При прохождении электропроводной жидкости через однородное магнитное поле в ней, как в движущемся проводнике, наводится эдс  $E$ , пропорциональная расходу пульпы.

Электромагнит, полюса которого расположены с противоположных сторон трубы, создает внутри участка немагнитной трубы равномерное магнитное поле; эдс, наведенная в жидкости, пересекающей магнитное поле, снимается с помощью двух электродов, установленных в стенках трубопровода датчика диаметрально противоположно.

Погрешность определения объемного расхода всех типов расходомеров составляет 1,5—2,5 %. Существенно влияет на погрешность определения расхода твердого наличие в пульпе воздушных пузырьков. Кроме того, определение расхода по формуле (7) также выполняется с погрешностями.

В итоге погрешность определения расхода твердого в пульпах составляет 5—10 %, иногда и больше. Конкретная погрешность какого-либо расходомера твердого может быть установлена экспериментально путем прямых измерений прошедших масс, однако это очень сложная работа, которая выполняется обычно лишь в исследовательских целях.

Проще использовать формулу сводного показателя, определив погрешность расхода твердого  $s_{Q_{ТВ}}^2$ :

$$s_{Q_{ТВ}}^2 = (\partial Q_{ТВ} / \partial Q_{п})^2 s_{Q_{п}}^2 + (\partial Q_{ТВ} / \partial \delta)^2 (s_{\delta}^2 + s_{п}^2) + (\partial Q_{ТВ} / \partial \rho)^2 s_{\rho}^2 + s_{выч}^2,$$

где  $s_{Q_{п}}$ ,  $s_{\delta}$  — средняя квадратическая погрешность соответственно расходомера и плотномера;  $s_{п}$  — среднее квадратическое отклонение плотности пульпы за счет колебаний аэрированности;  $s_{\rho}$  — среднее квадратическое отклонение колебаний плотности твердого;  $s_{выч}$  — погрешность вычисления.

Для формулы (7)

$$s_{Q_{ТВ}}^2 = [(\delta - 1) \rho / (\rho - 1)]^2 s_{Q_{п}}^2 + [Q_{п} \rho / (\rho - 1)]^2 (s_{\delta}^2 + s_{п}^2) + [Q_{п} (\delta - 1) / (\rho - 1)]^2 s_{\rho}^2.$$

Пример. Примем значения параметров  $Q_{п} = 200$  м<sup>3</sup>/ч;  $\delta = 1,4$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho = 3$  г/см<sup>3</sup>. Относительные погрешности измерения составляют: для расхода пульпы  $\pm 2$  %; для плотности пульпы (с учетом погрешности аэрированности)  $\pm 3$  % и для плотности твердого  $\pm 1,8$  %. Следовательно, абсолютные значения погрешности составят  $\pm 4$  м<sup>3</sup>/ч;  $\pm 0,042$  г/см<sup>3</sup> и  $0,054$  г/см<sup>3</sup>. Если считать, что это доверительные интервалы с 95 %-ной доверительной вероятностью, то  $s_{Q_{п}} = 2$  м<sup>3</sup>/ч;  $s_{\delta} = 0,021$  г/см<sup>3</sup> и  $s_{\rho} = 0,027$  г/см<sup>3</sup>.

Расход твердого составит

$$Q_{ТВ} = 200 \cdot (1,4 - 1) \cdot 3 / (3 - 1) = 120 \text{ т/ч.}$$

Дисперсия расхода твердого

$$s_{Q_{ТВ}}^2 = 1,44 + 59,69 + 0,29 = 41,42 \text{ (т/ч)}^2.$$

Погрешность  $s_{Q_{ТВ}}$  для указанных условий будет 6,43 т/ч.

Доверительные интервалы погрешности составят 12,86 т/ч, т. е. расход твердого будет таким способом определяться с относительной погрешностью  $\pm 10,7$  %.

Обратим внимание на свойства формулы (7). На рис. 3 показаны изменения расхода твердого при приблизительно одинаковых относительных изменениях величин, входящих в формулу (7). Самое большое влияние на результат оказывает погрешность измерения плотности пульпы. Это влияние больше влияния погрешностей измерения расхода и плотности твердого. Для этих условий все усилия следует направить на снижение погрешности измерения плотности пульпы.

Определение расхода твердого и пульпы путем отбора проб. Если от потока материала отбирать пробы массой  $q$ , пропорциональной расходу материала  $Q$  (т/ч), т. е.

$$q = aQ, \quad (8)$$

то при известном  $a$ , взвесив пробу, можно определить расход

$$Q = q/a. \quad (9)$$

Такой способ можно реализовать с помощью пробоотбирателей с поперечным пересечением потока, ковшовых, секторных и скреперных.

Коэффициент  $a$  (кг·ч/т) в формулах (8) и (9) определяется по различным формулам для пробоотбирателей различных типов.

Для ковшовых пробоотбирателей

$$a = b / (3600 v).$$

Здесь  $b$  — ширина щели пробоотбирателя, мм;  $v$  — скорость пересечения ковшом потока материала, м/с.

Для секторных пробоотбирателей

$$a = 0,0463 \beta / n.$$

Здесь  $\beta$  — угол между стенками сектора, градус;  $n$  — частота перемещения сектора, мин<sup>-1</sup>.

Для скреперных пробоотбирателей

$$a = b / (3600 v_k).$$

Здесь  $b$  — ширина скрепера, мм;  $v_k$  — скорость ленты конвейера, м/с.

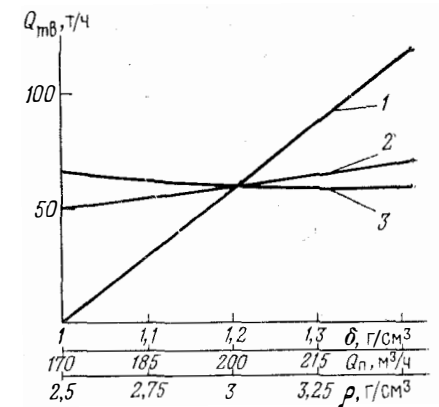


Рис. 3. Зависимость расхода твердого  $Q_{ТВ}$  от плотности пульпы  $\delta$  (1), расхода пульпы  $Q_{п}$  (2) и плотности твердого  $\rho$  (3)

Этот способ фактически используется при формировании объединенной пробы. Только при этом расход не определяется, а выполняется объединение точечных проб. Так как каждая из них по массе пропорциональна расходу твердого в момент отбора, т. е. пропорциональна некоторой массе продукта, прошедшего через точку отбора за интервал времени между отбором отдельных точечных проб, то объединение точечных проб различной массы эквивалентно расчету расхода твердого и учету массы продукта при отборе проб.

Такой способ определения расхода компонентов в пульпе [5] реализуется с помощью рентгеноспектральных анализаторов типа СРМ-13 (работающих на пульпах). Если из потока пульпы отобрать пробу, масса которой пропорциональна расходу материала (что и делают ковшовые и секторные пробоотбиратели) и разбавить ее водой до постоянного объема (что обычно делают при автоматизации доставки пульповых проб), то расход любого компонента, в том числе твердого, можно определить по формуле

$$Q_k = \alpha_{об} V / a,$$

где  $Q_k$  — расход компонента (твердого, металла, реагента);  $\alpha_{об}$  — объемная концентрация компонента в разбавленной пробе, кг/м<sup>3</sup> или г/л;  $V$  — объем, до которого разбавляют пробу (в системах прободоставки  $V = 0,006 \div 0,024$  м<sup>3</sup>);  $a$  — коэффициент пропорциональности между массой отобранной пробы и расходом материала.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО

Плотность твердого определяют по отношению массы куска  $m_k$  к объему куска  $V_k$ . Для этого кусок руды взвешивают, а затем помещают в мензурку с водой. По разности объемов, занимаемых водой до и после погружения куска, определяют объем куска  $V_k$ .

Плотность  $\rho$  запишем в виде

$$\rho = m_k / V_k.$$

Для чистых минералов можно использовать табличные значения плотности.

Плотность твердого в условиях обогатительных фабрик в связи с изменением состава кусков может изменяться в широких пределах.

Действительно, если порода имеет плотность  $\rho_n$ , а полезный минерал  $\rho_m$ , то плотность руды, концентрата либо хвостов определяют по формуле

$$\rho = M_{ТВ} / V_{ТВ} = M_{ТВ} / (M_n / \rho_n + M_m / \rho_m). \quad (10)$$

Здесь  $M_{ТВ}$ ,  $M_n$ ,  $M_m$  — масса соответственно твердого материала, породы в нем и полезного минерала.

Масса минерала

$$M_m = M_{ТВ} \alpha / \beta_m, \quad (11)$$

где  $\alpha$  — массовая доля ценного компонента в продукте;  $\beta_m$  — то же, в полезном минерале.

Масса породы

$$M_n = M_{ТВ} - M_m = M_{ТВ} (\beta_m - \alpha) / \beta_m. \quad (12)$$

Тогда из выражения (12) с учетом выражений (10) и (11) плотность твердого продукта

$$\rho = [(\beta_m - \alpha) / (\beta_m \rho_n) + \alpha / (\beta_m \rho_m)]^{-1} = \rho_n \rho_m \beta_m / [\rho_n \alpha + \rho_m (\beta_m - \alpha)]. \quad (13)$$

Формулу (13) удобнее представить в виде

$$\rho / \rho_n = [(\rho_n / \rho_m) (\alpha / \beta_m) - \alpha / \beta_m + 1]^{-1}. \quad (14)$$

По формуле (13) можно определить плотность твердого продукта, условно состоящего из полезного минерала с плотностью  $\rho_m$  и пустой породы с плотностью  $\rho_n$ . Характер изменения плотности отражает рис. 4, на котором приведены закономерности, полученные по формуле (14).

Для конкретных условий можно выделить диапазон изменения качества продукта и соответственно диапазон изменения плотности твердого.

Пример. Известно, что на фабрике качество медного концентрата может изменяться в пределах 18—22%. Следовательно, диапазон  $\alpha / \beta_m$  для этих условий будет  $(18/34,5) \div (22/34,5)$ , т. е.  $0,52 \div 0,63$ . Для этих условий  $\rho_m = 4200$  кг/м<sup>3</sup> (халькопирит), плотность породы  $\rho_n = 2800$  кг/м<sup>3</sup>, т. е.  $\rho_m / \rho_n = 1,5$ . Тогда  $\rho / \rho_n$  будет в диапазоне 1,21—1,26 или  $\rho = 3390 \div 3540$  кг/м<sup>3</sup>.

Относительное изменение плотности твердого в этих условиях для среднего значения плотности твердого  $\rho = 3466$  кг/м<sup>3</sup> в концентрате, содержащем 20% меди, составит  $\pm 2,2\%$ .

Насыпная плотность тесно связана с плотностью твердого, поэтому колебания плотности твердого приведут к соответствующим погрешностям в расчетах по формуле (1). Такую погрешность в определении массы концентрата могут внести одни только колебания массовой доли меди.

Если известна плотность продукта  $\rho_0$  для какого-либо содер-

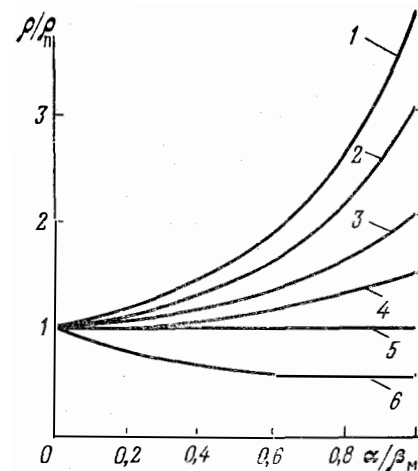


Рис. 4. Зависимость относительной плотности продукта  $\rho / \rho_n$  от относительной массовой доли компонента  $\alpha / \beta_m$ :

1—6 — при  $\rho_m / \rho_n$ , соответственно равном 4; 3; 2; 1,5; 1; 0,5

жания  $\alpha_0$ , то плотность твердого может быть найдена по более общей формуле, приведенной в работе Л. П. Шупова [33]:

$$\rho = \frac{\rho_0 \rho_m \beta_m (\beta_m - \alpha_0)}{\alpha_0 \rho_0 (\beta_m - \alpha_0) + (\beta_m - \alpha_0) (\rho_m \beta_m - \rho_0 \alpha_0)} \quad (15)$$

Формула (13) следует из формулы (15), если положить  $\alpha_0 = 0$  и  $\rho_0 = \rho_n$ .

### 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ

Влажностью  $W$  называют отношение массы влаги  $M_v$  к массе материала  $M$ , содержащего эту влагу:

$$W = M_v / M \quad (16)$$

Обычно определяют влажность по так называемой свободной влаге, т. е. влаге, которая может быть удалена испарением. В отличие от свободной существует химически связанная или конституционная влага, которая может быть удалена только при химическом разложении минералов. Эта влага не входит в массу воды  $M_v$  числителя формулы (16).

Непосредственный способ определения влажности — высушивание материала, взвешивание его до и после сушки и определение по формуле

$$W = (M - M_c) / M,$$

где  $M$  — исходная масса материала;  $M_c$  — масса высушенного (сухого) материала.

Для каждого материала подбирают наиболее подходящие условия сушки. Определяющее условие выбора температуры сушки — исключение химического разложения минералов, в том числе их возгорания. Для сульфидных руд обычно принимается температура 105—110 °С.

Сушку ведут до практически постоянной массы навески при ее нагреве. Ряд стандартов определяет это условие так: сушку ведут до тех пор, пока в течение последнего часа сушки проба будет терять в массе не более 0,05 %. Следовательно, если взята проба с сухой массой 2 кг, то изменение ее массы в течение последнего часа сушки должно быть не более чем на 1 г. Для таких условий должны быть подобраны соответствующие весы.

Погрешности определения влажности регламентируются стандартами.

#### Погрешности определения влажности по ГОСТ 13170—80

Влажность, %	1	1—2	2—5	5—10	10—15	15
Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

При косвенном определении влажности используется связь между влажностью и электрическими свойствами продукта (кондуктометрические, емкостные, высокочастотные влагомеры), а также

связь между влажностью и числом медленных нейтронов при облучении материала потоком нейтронов (нейтронные влагомеры).

Наиболее простой инструментальный метод — кондуктометрический, использующий связь между влажностью  $W$  и электропроводностью  $g$  материала:

$$g = kW,$$

где  $k$  — постоянная, зависящая от условий применения метода и состава контролируемого продукта.

Кондуктометр состоит из электродов и схемы измерения электрического сопротивления или проводимости.

На электропроводность кроме влажности существенно влияют плотность, температура материала, крупность. Эти влияния очень сильны. Так, изменение насыпной плотности на 20 % ведет к изменению электропроводности на 40 %, увеличение температуры на 30 °С приводит к увеличению проводимости на 40—50 %. В итоге погрешность измерения влаги предопределяется прежде всего обеспечением стабильности условий измерения и должна быть оценена для конкретных условий экспериментально. Поэтому разработаны устройства для измерения влажности, основанные на определении других электрических параметров либо использующие кондуктометрический принцип в специальных условиях (табл. 4).

Таблица 4

Способы измерения влажности

Способ	Особенности	Абсолютная погрешность, %
Весовой (путем высушивания пробы)	Высушивание пробы до практически постоянной массы — по нормативным документам до изменения массы за 1 ч не более 0,05 %. Взвешивание с погрешностью до 0,01 %. Метод длителен, трудоемок	Погрешность зависит главным образом от погрешности отбора и подготовки пробы. Расхождение между параллельными определениями 0,1—0,6
Кондуктометрический	Измерение проводимости влажной массы. Сильное влияние изменений насыпной плотности и температуры. С целью снижения их влияния переходят к использованию тока высокой частоты	При стабилизации мешающих факторов ± 1
Емкостной	Измерение емкости и диэлектрических потерь	1
Инфракрасный	Измерение интенсивности отраженного излучения	0,2—0,4
Нейтронный	Бесконтактен, удобен. Измерение числа тепловых нейтронов	0,5—0,75

Более универсальны нейтронные влагомеры. Их действие основано на эффекте замедления быстрых нейтронов при столкновении с ядрами водорода и регистрации замедленных нейтронов.

При одном столкновении с ядром нейтрон теряет энергию

$$\Delta E = 2EA/(A + 1)^2,$$

где  $E$  — первоначальная энергия нейтрона;  $A$  — массовое число ядра, с которым сталкивается нейтрон.

Так как для водорода  $A=1$ , на его ядрах нейтрон теряет больше всего энергии (примерно половину). С увеличением  $A$  потеря энергии резко уменьшается. Поэтому во влажной среде замедление нейтронов происходит главным образом за счет соударения с ядрами водорода.

Нейтронный влагомер состоит из зонда с плутоний-бериллиевым источником медленных нейтронов, блока усиления и регистрирующего устройства.

Для снижения влияния колебаний насыпной плотности и высоты слоя материала, в особенности на конвейере, целесообразен двухлучевой метод. Цель любого двухлучевого метода — исключить влияние какой-либо, обычно очень сильно влияющей величины. Так, влагомер нейтронный МНС-7205 определяет на движущейся ленте влажность железнорудного концентрата 7—15% с погрешностью 0,5% влаги. Принято, что в диапазоне изменения влажности 7—15% связь между числом тепловых и надтепловых нейтронов  $I_T$  с числом исходных нейтронов  $I$  для двух источников будет

$$\begin{cases} I_{T1} = I_1 + (b_1 W + a_1) \rho h; \\ I_{T2} = I_2 + (b_2 W + a_2) \rho h, \end{cases}$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, определяемые при градуировке по трем эталонам-имитаторам через каждые 8 ч;  $\rho$  — насыпная плотность;  $h$  — высота слоя материала.

Тогда

$$W = \frac{100 [a_2 (I_{T1} - I_1) - a_1 (I_{T2} - I_2)]}{b_2 (I_{T1} - I_1) - b_1 (I_{T2} - I_2)}.$$

Как видим, благодаря двухлучевому способу из расчетной формулы исключены такие меняющиеся величины, как  $\rho$  и  $h$ .

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ

### 10. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ В ПРОБЕ

Продукты обогащения характеризуются прежде всего своим составом. Поэтому важнейшая измеряемая величина — массовая доля компонента  $\alpha$ :

$$\alpha = K_\alpha / M, \quad (17)$$

где  $K_\alpha$  — масса измеряемого компонента в опробуемом продукте;  $M$  — масса опробуемого продукта.

Массовая доля влаги определяется по формуле

$$W = K_W / M,$$

где  $K_W$  — масса воды в опробуемом продукте;  $M$  — масса влажного опробуемого продукта.

Формула (17) является универсальной формулой массовой доли компонента.

Измеряемым компонентом может быть химический элемент, например медь, железо, свинец; соединение элементов, например триоксид вольфрама  $WO_3$ , пятиоксид фосфора  $P_2O_5$ , сухая беззольная масса в углях; минерал, например сильвин; минерал определенной формы и размера, например слюда, асбест, алмаз; руда определенной крупности и формы, например щебень, песок; любой продукт на обогатительной фабрике при характеристике его крупности.

Массу компонента во всем опробуемом продукте непосредственно обычно не измеряют, а определяют по результатам обработки и взвешивания некоторой пробы (навески):

$$\alpha_n = K_{\alpha n} / m, \quad (18)$$

где  $\alpha_n$  — массовая доля компонента в анализируемой навеске;  $K_{\alpha n}$  — масса определяемого компонента в анализируемой навеске;  $m$  — масса материала пробы, в котором количественно измерена масса определяемого компонента, например масса навески для химического анализа.

Очевидно, что равенство результата  $\alpha_n$  по формуле (18) определяемому  $\alpha$  по формуле (17) возможно лишь в случае соблюдения строгой пропорциональности между массами продукта и определяемого компонента в опробуемом массиве и навеске (пробе):

$$K_\alpha / K_{\alpha n} = M / m = c. \quad (19)$$

Условие (19) должно соблюдаться во всех случаях измерения (опробования), даже если вычисление  $\alpha_n$  выполняется не по формуле (18), а по другим формулам, так или иначе связанным с формулой (18). Например, при рентгеноспектральном анализе проб не выполняется взвешивание навески  $m$  и массы определяемого компонента. Определение  $\alpha_n$  выполняется с помощью какого-либо уравнения, связывающего  $\alpha_n$  с характерными для этого метода измерения величинами: числом  $\gamma$ -квантов определенных энергий, испускаемых облученной пробой. При стабилизированных условиях измерения

$$\alpha_n = f(I_{\alpha 1}, I_{\alpha 2}, I_{\alpha 3}, \dots, I_p), \quad (20)$$

где  $I_{\alpha i}$  — число  $\gamma$ -квантов, испускаемых  $i$ -м компонентом навески;  $I_p$  — число рассеянных  $\gamma$ -квантов, обычно пропорциональных массе навески либо ее плотности.

Аналогичная ситуация будет при любых других методах анализа пробы. Чаще всего масса навески  $m$  принимается постоянной. Тогда  $K_{\alpha n}$ , а следовательно, и  $\alpha_n$  непосредственно связываются с какой-либо характерной для конкретного метода величи-

ной, в частности с интенсивностью флюоресцентного излучения [см. формулу (20)].

По данным Н. В. Карпенко [11], на обогатительных фабриках цветной металлургии для анализа пробы-навески применяется шесть различных методов. Метод, основанный на прямом определении массы компонента  $K_{\alpha}^n$  взвешиванием — гравиметрический с расчетами по формуле (18), используется в 10 % случаев. Наибольшее число проб (42 %) анализируется фотометрическим (колориметрическим) методом, 24 % проб — титриметрическим методом, 10 % — полярографическим, 10 % — атомно-абсорбционным и 4 % — потенциометрическим. Во всех этих методах для фиксированной массы навески устанавливают соотношения, представленные в виде формул, таблиц, графиков, связывающих искомую величину  $\alpha_n$  с характерными для применяемого метода величинами:

$$\alpha_n = f(X),$$

где  $X$  — совокупность характерных величин.

Для фотоколориметрического метода это оптическая плотность раствора после растворения определяемого компонента навески, для титриметрического метода — объем титранта, затраченного для достижения равновесной точки раствора, для полярографического — сила тока при соответствующем напряжении на электродах, для атомно-абсорбционного — интенсивность линий спектра и для потенциометрического — эдс электродов, опущенных в раствор определяемого компонента.

Для определения массовой доли компонента используют следующие способы.

1. Механическое разделение компонентов пробы с последующим взвешиванием. Этот способ применяется для многих видов полезных ископаемых и почти всегда, когда нужно определить массовую долю:

асбеста — в связи с близостью химического состава полезного минерала и породы;

драгоценных камней — изумрудов, алмазов, аметистов, хрусталя и т. п. в связи с невозможностью их химического разложения с целью анализа;

слюды — в связи со специфичностью кристаллов и возможностью их механического выделения;

угля — в связи с большой разницей в плотности угля и породы; крупного золота — в связи с большой разницей в плотности, магнетита — в магнитном поле, используя его высокую магнитную проницаемость.

При анализе для механического разделения используют многие обогатительные процессы — породовыборку, оптическую сортировку, разделение в тяжелых средах, обогащение на специальных поверхностях типа волосяных щеток, магнитный анализ и т. п.

2. Химическое разделение компонентов и определение массовой доли с использованием характерных признаков. Этот способ

применяется для всех тех случаев, когда нужно определить массовую долю элемента и когда полное механическое разделение компонентов невозможно. Благодаря почти неисчерпаемому числу возможных химических реакций химический анализ является универсальным способом измерения массовой доли любого элемента либо соединения элементов. Особенность его — трудоемкость и длительность даже в сравнительно простых случаях. Обычно приходится выполнять 10—30 различных операций от отбора навески до получения результата.

Химические методы разделения компонентов, отличающиеся способом измерения выделенной массы, имеют различные наименования, а именно: гравиметрический анализ, при котором выделенная часть взвешивается; титриметрический анализ, при котором выделенная масса компонента рассчитывается по объему титранта; фотометрический, при котором выделенная масса компонента оценивается по оптической плотности раствора; полярографический, при котором выделенная масса компонента оценивается по силе тока между электродами; потенциометрический, при котором выделенная масса компонента оценивается по потенциалу электрода.

3. Измерение флюоресцентного излучения пробы как характеристики массовой доли компонента — используется для определения массовой доли элемента без разрушения пробы, что приводит к быстрой измерению. Позволяет определять массовую долю элементов от номера 12 и выше.

Принципиально метод позволяет определять любой элемент в любой смеси, однако взаимное влияние элементов друг на друга — поглощение флюоресцентного излучения и его дополнительное возбуждение — значительно усложняют градуировку анализатора спектров. Метод позволяет выполнять измерения как в твердых пробах, так и в пульпах и в самых разнообразных условиях.

В настоящее время на обогатительных фабриках более 30 % всех видов анализа выполняется с помощью рентгеноспектральных анализаторов, отличающихся высокими показателями: относительной погрешностью до 0,1 %, и чувствительностью до 0,0001 %. Анализаторы СРМ-13, СРМ-18 и т. п. предназначены для контроля содержаний элементов в продуктах обогащения. Рентгеновский флюоресцентный спектрометр СРМ-18 (спектрометр рентгеновский многоканальный) предназначен для проведения экспрессного многокомпонентного количественного анализа различных материалов рентгеноспектральным методом в диапазоне химических элементов от магния до урана. Анализ проводится на твердых или прессованных из порошков образцах. Среднее время анализа 0,3—2 мин. Максимальная производительность СРМ-18 (при работе с ЭВМ) составляет 1000—2500 анализов многокомпонентных проб в сутки. Аппаратурная погрешность за 2—3 ч работы не более 3 %. Интервал анализируемых концентраций — 0,001—100 %, порог чувствительности 0,0001—0,01 %.

Для каждого продукта, каждого типа руды требуется своя градуировка спектрометра.

4. Измерение проникающего или рассеянного пробой излучения как характеристики массовой доли компонента обычно возможно для бинарных или условно бинарных систем без разрушения образца. При этом определяют массовую долю как элементов, так и минералов. Используется весь спектр возможных излучений — от электромагнитных волн до  $\alpha$ -,  $\beta$ -частиц и нейтронов.

5. Измерение магнитного потока как характеристики массовой доли минерала используется для определения массовой доли магнетита, являющегося основным полезным компонентом на большинстве железообогатительных фабрик.

6. Измерение интенсивности спектральных линий возбужденных атомов материала пробы — спектральный анализ. Характеристикой массовой доли компонента в этом случае является интенсивность спектральной линии определяемого компонента. Обычно определяют отношение интенсивности  $I_1$  определяемой линии к интенсивности линии сравнения  $I_2$ . Массовую долю определяют по уравнению

$$I_1/I_2 = a \alpha^b.$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  находят при градуировке с помощью стандартных образцов.

Относительная погрешность спектрального анализа 0,5—3 %. Чувствительность  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  %.

7. Геометрические измерения площади компонентов как характеристики массовой доли в шлифе или подсчет числа частиц в поле микроскопа.

## II. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПРОБЫ И ВЗВЕШИВАНИЕ

Используют несколько способов механического разделения. Так, определение содержания минералов, отличающихся плотностью, выполняют в тяжелых жидкостях. Такое определение обычно называют фракционным анализом.

Тяжелые жидкости дороги и токсичны. Поэтому их применяют в основном для лабораторных анализов. На обогатительных фабриках широкое распространение получили растворы хлористого цинка для фракционного анализа угля крупностью не менее 1 мм (ГОСТ 4790—80).

Фракционный анализ крупных классов можно выполнять в тяжелых суспензиях. В качестве утяжелителя используют галенит или ферросилиций, измельченный до 70—80 % класса —40 мкм. Необходимую массу утяжелителя  $M_y$  (кг) определяют по формуле

$$M_y = V(\delta_c - 1)\rho/(\rho - 1),$$

где  $V$  — необходимый объем суспензии, л;  $\delta_c$  — необходимая плотность суспензии, г/см<sup>3</sup>;  $\rho$  — плотность утяжелителя, г/см<sup>3</sup>.

Для выполнения фракционного анализа пробу следует предварительно смочить тяжелой жидкостью, после чего поместить в сосуд с тяжелой жидкостью и отделить всплывшую фракцию. Полученные фракции промывают, высушивают и взвешивают. В производственных условиях взвешивание выполняют без сушки после стекания жидкости или с некоторой подсушкой.

В более сложных случаях используют для механического разделения обогатительные установки. Примером предварительной неоднократной концентрации материала пробы является подготовка пробы асбестовой руды. Такая подготовка предопределена особенностью материала — невозможностью определения содержания асбеста химическим путем, так как состав асбестовых волокон и породы одинаков. Подготовка пробы сводится к обогащению ее после каждой стадии дробления и к взвешиванию продуктов обогащения. Для того чтобы снизить влияние извлечения в чистые продукты волокон асбеста и пустой породы (пыли), все операции выполняют очень тщательно с использованием специфических извлекающих средств — щеток.

Подготовка пробы асбеста отличается тем, что вся проба в результате измельчается до крупности —0,5 мм. Волокна с поверхности сит извлекают волосяной щеткой. Содержание пыли в волокне допускается не более 2 %. Общие потери пробы не должны превышать 5 %.

Схема подготовки столь специфического продукта, как асбест, обеспечивает отклонение между первичным и контрольным анализами 10—15 %, что можно считать очень высоким результатом, так как сюда входят погрешности дискретности первичной и контрольной проб, погрешность сокращения по влаге, погрешности выполнения всех технологических операций, погрешности, связанные с извлечением асбеста и пыли в волокно, с разрушением волокон, с механическими потерями, и погрешности взвешивания.

Описанные варианты разделения по плотности, а также анализ с использованием многооперационной процедуры обогащения можно считать крайними случаями. Общая схема анализа с механическим разделением компонентов и взвешиванием представлена на рис. 5.

Отобранная для анализа проба может быть предварительно разделена на две части массами  $q_1$  и  $q_2$  с различным содержанием определяемого компонента, раздельный анализ которых предпочтительнее. Такая подготовка пробы

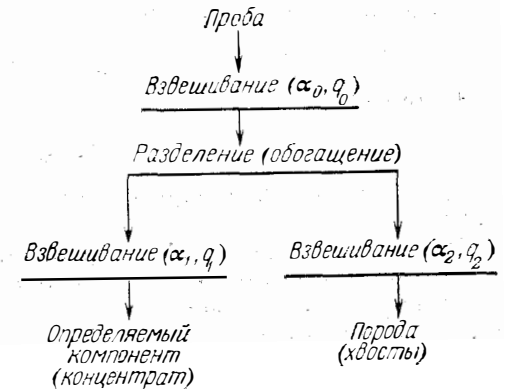


Рис. 5. Общая схема анализа с механическим разделением компонентов



чаще всего представляет разделение (обогащение) всеми известными технологами методами. Широко известны выделение перед анализом крупного золота, экстракция редких элементов после выщелачивания и т. п. В некоторых случаях такое разделение является необходимой формой анализа, например определение содержания различных компонентов асбестовых волокон.

При разделении содержание в пробе определяют в соответствии с балансовым уравнением

$$\alpha_0 q_0 = \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2.$$

Отсюда

$$\alpha_0 = (\alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2) / q_0. \quad (21)$$

Здесь  $\alpha_0$ ,  $q_0$  — соответственно содержание определяемого компонента и масса исходной пробы;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  — соответственно содержание и масса двух частей исходной пробы.

Для использования формулы (21) необходимо выполнить три взвешивания с получением  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_0$  и два определения  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Погрешности этих операций соответственно  $s_{q_1}$ ,  $s_{q_2}$ ,  $s_{q_0}$ ,  $s_{\alpha_1}$ ,  $s_{\alpha_2}$ . Тогда погрешность определения содержания в исходной пробе  $s_{\alpha_0}$  запишем в виде

$$s_{\alpha_0}^2 = \frac{1}{q_0^2} (q_1^2 s_{\alpha_1}^2 + q_2^2 s_{\alpha_2}^2 + \alpha_1^2 s_{q_1}^2 + \alpha_2^2 s_{q_2}^2 + \alpha_0^2 s_{q_0}^2). \quad (22)$$

Предварительная подготовка пробы эффективна не только потому, что другие варианты анализа невозможны, но и в связи с резким изменением значений погрешностей, составляющих формулу (22) по сравнению с погрешностью анализа исходной пробы.

Пусть, например, в результате обогащения пробы выделен чистый компонент массой  $q_1$ . Эту массу достаточно только взвесить. Очевидно, при этом  $s_{\alpha_1} = 0$ ;  $s_{\alpha_2} = 0$ ;  $s_{q_2} = 0$ ;  $\alpha_1 = 1$ .

Тогда из выражения (22)

$$s_{\alpha_0}^2 = (s_{q_1}^2 + \alpha_0^2 s_{q_0}^2) / q_0^2.$$

Если  $\alpha_0$  мало, то

$$s_{\alpha_0}^2 \approx s_{q_1}^2 / q_0^2$$

и фактически предопределяется погрешностью определения массы  $q_1$ .

Конечно, это несколько упрощенная картина. Обычно невозможно выделить компонент в чистом виде, а лишь долю, предопределяемую извлечением  $\epsilon$ . Так как извлечение в этой ситуации может рассматриваться как неслучайная величина, то можно записать

$$\Delta \alpha_0 = \pm t s_{\alpha_0} - (1 - \epsilon) \alpha_0$$

и значение  $\Delta \alpha_0$  становится ощутимым.

Если в обогащенном продукте будет содержаться примесей  $\beta_n$ , то  $\Delta \alpha_0$  изменится на  $\beta_n q_1 / q_0$  и составит

$$\Delta \alpha_0 = \pm t s_{\alpha_0} - (1 - \epsilon) \alpha_0 + q_1 \beta_n / q_0.$$

Если разделение пробы не ведет к изменению составляющих формулы (22), приводящему к уменьшению погрешности результата, то оно дает эффект только за счет увеличения объема работы. Пусть, например, проба просто разделена на две равные части. Тогда, как это следует и из физических соображений, двойной анализ позволяет снизить дисперсию погрешности, связанной с анализом проб, в два раза, но добавляется тройная погрешность, связанная со взвешиванием.

Очевидно, в общем случае при разделении на  $n$  частей

$$s_{\alpha_0}^2 \approx s_{\alpha}^2 / n + (n - 1) \alpha_0^2 s_q^2 / q_0^2. \quad (23)$$

Здесь  $s_{\alpha}$  — погрешность результата анализа без разделения пробы.

Обычно взвешивание может быть выполнено с малой погрешностью, тогда выигрыш очевиден, правда, за счет увеличения объема работы.

Этот случай подготовки пробы известен под названием «дублирование» опробования, анализа и т. п. Дублирование можно применить и к взвешиванию. Если каждая из масс определена  $r$  раз, то

$$s_{\alpha_0}^2 \approx s_{\alpha}^2 / n + (n - 1) \alpha_0^2 s_q^2 / (r q_0^2). \quad (24)$$

Формулы (23) и (24) описывают, в частности, формирование погрешности среднемесячного содержания металла, например в руде, концентрате, с той лишь разницей, что в отличие от принятого условия не проба делится на  $n$  частей, а результат формируется путем последовательного анализа  $n$  проб, что, очевидно, одно и то же.

Отличием является определение  $q_0$  суммированием  $q_j$ :

$$q_0 = \sum_{j=1}^n q_j.$$

Отсюда

$$s_{q_0}^2 = \sum_{j=1}^n s_{q_j}^2 \approx n s_{q_j}^2.$$

Тогда из формулы (24)

$$s_{\alpha_0}^2 = s_{\alpha}^2 / n + 2n \alpha_0^2 s_{q_j}^2 / (r q_0^2).$$

Но так как  $q_0 = n q_j$ , то

$$s_{\alpha_0}^2 = s_{\alpha}^2 / n + 2 \alpha_0^2 s_{q_j}^2 / (r n q_j^2).$$

Для взвешивания обычно используют конвейерные весы, тогда  $r=1$ :

$$s_{\alpha 0}^2 = s_{\alpha}^2/n + 2\alpha_0^2 s_{qj}^2/(nq_j^2).$$

Так как

$$s_{\alpha} = \Delta\alpha_{\text{пар}}/1,13 = P_{\alpha}\alpha/1,13 \text{ и } s_{qj}/q_j = P_q/t,$$

то

$$s_{\alpha 0}^2 = (\Delta\alpha_{\text{пар}})^2/(1,13^2 n) + 2\alpha_0^2 P_q^2/(nt^2),$$

где  $\Delta\alpha_{\text{пар}}$  — допустимые расхождения между параллельными определениями;  $P_{\alpha}$ ,  $P_q$  — относительная погрешность определения соответственно содержания компонента и массы;  $t$  — коэффициент Стьюдента.

Если  $t=2$ , то

$$s_{\alpha 0}^2 = \alpha_0^2 P_{\alpha}^2/(1,13^2 n) + \alpha_0^2 P_q^2/(2n).$$

## 12. ХИМИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПРОБЫ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ МАССОВОЙ ДОЛИ

Если механически выделить определяемый компонент трудно либо невозможно, то используют химические методы разделения компонентов. Обычно этим путем определяют массовую долю элемента.

Химические методы разделения отличаются многооперационностью. При выполнении каждой операции вносится погрешность. В итоге, несмотря на хорошую количественную теорию химического разделения и высокий уровень требований к тщательности выполнения всех операций, погрешность химических методов высока и всегда является функцией определяемой массовой доли.

Покажем это на примере титриметрического метода анализа, при котором массовая доля металла определяется по формуле

$$\alpha = 100VT/(1000q) = VT/(10q),$$

где  $\alpha$  — массовая доля металла, %;  $V$  — объем раствора, израсходованного на титрование, мл;  $T$  — титр раствора, мг/мл;  $q$  — масса навески анализируемой пробы, г.

Общая случайная погрешность определяется по формуле дисперсии погрешности сводного показателя

$$\begin{aligned} s_{\alpha}^2 &= (\partial\alpha/\partial V)^2 s_V^2 + (\partial\alpha/\partial T)^2 s_T^2 + \\ &+ (\partial\alpha/\partial q)^2 s_q^2 = T^2 s_V^2/(100q^2) + \\ &+ V^2 s_T^2/(100q^2) + V^2 T^2 s_q^2/(100q^4). \end{aligned} \quad (25)$$

Поскольку  $\alpha/T = V/(10q)$ , из выражения (25) получим

$$s_{\alpha}^2 = T^2 s_V^2/(100q^2) + (s_T^2/T^2 + s_q^2/q^2) \alpha^2,$$

т. е. при равных  $s_T$ ,  $s_q$  и  $s_V$  погрешность в определении будет тем больше, чем больше  $\alpha$ .

Относительная погрешность

$$P^2 = (ts_{\alpha}/\alpha)^2 = t[(s_T^2/T^2 + s_q^2/q^2) + T^2 s_V^2/(100q^2 \alpha^2)]$$

асимптотически приближается с увеличением  $\alpha$  к сумме  $s_T^2/T^2 + s_q^2/q^2$ .

Пример. Определим погрешность йодометрического титрования меди. Масса навески 1 г, титр тиосульфита  $T=2$  мг/мл. Погрешность взвешивания  $\Delta q = \pm 0,5$  мг = 0,0005 г, погрешность определения объема  $\Delta V = \pm 0,1$  мл и погрешность титра  $\Delta T = \pm 0,01$  мг/мл. С 95 %-ной доверительной вероятностью эти погрешности соответствуют средним квадратическим погрешностям соответственно  $s_q = 0,00025$  г;  $s_V = 0,05$  мл;  $s_T = 0,005$  мг/мл.

Погрешность определения  $\alpha$  составит

$$\begin{aligned} s_{\alpha}^2 &= 2^2 \cdot 0,05^2/(100 \cdot 1) + (0,005^2/2^2 + 0,00025^2/1) \alpha^2 = \\ &= 0,0001 + 6,3 \cdot 10^{-6} \alpha^2, \end{aligned}$$

$$\Delta\alpha = ts_{\alpha} = t \sqrt{10^{-4} + 6,3 \cdot 10^{-6} \alpha^2}.$$

Относительная погрешность с 95 %-ной вероятностью

$$P = \sqrt{4/\alpha^2 + 0,25}.$$

Зависимости абсолютной  $\Delta\alpha$  и относительной погрешности  $P$  от  $\alpha$  представлены на рис. 6. Видно, что абсолютная погрешность растет с увеличением массовой доли меди в пробе; относительная погрешность растет с убыванием массовой доли меди в пробе и при содержаниях, например, 0,02 %, становится равной 100 %, т. е. данная методика химического анализа неприменима для очень бедных продуктов обогащения.

Н. В. Карпенко [11] обобщила допустимые расхождения между параллельными определениями химическими методами (табл. 5).

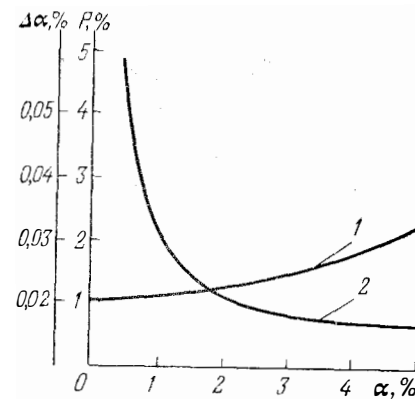


Рис. 6. Зависимость абсолютной  $\Delta\alpha$  (1) и относительной  $P$  (2) погрешностей от массовой доли компонента  $\alpha$

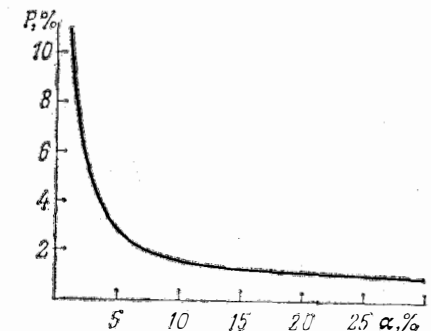


Рис. 7. Общий характер изменения относительной погрешности  $P$  от массовой доли компонента  $\alpha$

## Относительные погрешности стандартизованных химических методов анализа

Метод анализа	Компонент	Пределы содержаний, %	Относительные расхождения между параллельными определениями, %
Гравиметрический	Mn, WO <sub>3</sub>	45—60	1,3—1
	S	10—40	2,5—1,7
	SiO <sub>2</sub> , MgO	0,2—32	20—1,5
Титриметрический	Cu, Pb, Zn, Cd, Sn	3—73	4—0,8
	As, CaO, S, Fe, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Mn <sub>2</sub> O	0,1—10	30—2,5
Фотометрический	Mo, Co, Bi, Ni, As, Sb, Pb, Cu, Sn	0,001—1	20—10
	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn, WO <sub>3</sub> , F	0,1—5	15—5
	Рассеянные элементы	0,1	30—6
Полярографический	Cu, Pb, Zn, Cd	3—5	4
	Bi, Sb	0,005—0,5	40—8
Атомно-абсорбционный	Cu, Pb, Sn	0,01—10	50—2,5
	MnO <sub>2</sub>	0,03—18	20—1,5
	CaO	0,5—5	16—6
Потенциометрический	F	0,01—0,5	40—8
	As	0,05—5	20—6

Напомним, что расхождения параллельных анализов связаны со средним квадратическим отклонением формулой  $\Delta\alpha_{\text{пар}} = 1,13s_{\alpha}$ .

Одна из основных закономерностей, связанных с химическими методами, используемыми для анализа небольшие навески материала, — резкое возрастание относительной погрешности с уменьшением массовой доли определяемого компонента. Это связано не только с тем, что при определении относительной погрешности  $P$  определяемая массовая доля  $\alpha$  входит в знаменатель формулы

$$P = \Delta\alpha_{\text{абс}}/\alpha, \quad (26)$$

где  $\Delta\alpha_{\text{абс}}$  — абсолютная погрешность определения массовой доли;  $\alpha$  — массовая доля.

Это связано еще и с тем, что сам по себе отбор малой навески вносит относительную погрешность, которая также растет с уменьшением определяемой массовой доли. Это будет показано при описании погрешности результата опробования.

Общий характер зависимости  $P$  от  $\alpha$  [см. формулу (26)] позволил Гинцветмету и ВНИИцветмету составить отраслевые Нормы допустимых расхождений между результатами анализов продуктов медной и свинцово-цинковой промышленности на содержание основных компонентов. Усредненный график изменения относительной погрешности с изменением определяемой массовой доли приведен на рис. 7.

## 13. ИЗМЕРЕНИЕ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТОВ ПРОБЫ

Определение массовой доли с помощью рентгеновского флюоресцентного излучения является косвенным способом. Этот способ основан на связи интенсивности аналитических линий рентгеновского спектра флюоресценции с массовыми долями компонентов пробы. Рентгеновская флюоресценция возникает при ионизации внутренних оболочек атомов вещества. Обычно ионизацию осуществляют путем облучения пробы потоком  $\gamma$ -квантов первичного рентгеновского излучения, создаваемого рентгеновскими трубками или радиоактивными изотопами. Наиболее интенсивным обычно является флюоресцентное излучение  $K$ -серии и  $L$ -серии, т. е. излучение, испускаемое атомом, у которого удален электрон с ближайшей к ядру орбиты  $K$  или следующей за ней  $L$ .

Возбужденный атом через  $10^{-3}$ — $10^{-9}$  с переходит в исходное состояние заполнением вакансий на внутренних электронных оболочках  $K$  или  $L$  электронами с более удаленных от ядра оболочек, испуская флюоресцентный квант или электрон. Чем больше атомный номер элемента, тем больше выход флюоресценции — отношение числа атомов, испускавших флюоресцентный квант, к числу возбужденных первичным излучением атомов (выход равен 90 % для олова и только 0,3 % для кислорода).

Число флюоресцентных квантов (например,  $K$ -серии) определяемого элемента зависит не только от массовой доли этого элемента, но и от многих других факторов, которые мешают определению. Назовем эти факторы.

1. Влияние атомов, находящихся между источником первичного излучения и приемником флюоресцентного излучения и определяемыми атомами, так как последние в общем случае находятся внутри образца. Слой других атомов будет поглощать (ослаблять) как первичное, так и флюоресцентное излучение.

Это приводит к неоднозначности связи между массовой долей определяемого элемента и интенсивностью  $J_i$  аналитической линии. Это значит, что для различных продуктов обогащения зависимость  $J_i = f(\alpha)$  будет различной и, как правило, ее придется определять отдельно как для каждого продукта обогащения, так даже и для одного и того же продукта, но для разных диапазонов изменения  $\alpha$ .

Наличие других атомов вносит еще один вклад в измеряемую интенсивность  $J_i$ , изменяя ее. Это связано не только с ослаблением излучений, но и с возбуждением ими других атомов, флюоресцентное излучение которых вызывает матричное возбуждение атомов измеряемого элемента. Матричный эффект связан с вещественным составом пробы и может быть очень велик.

Влияние мешающих атомов обычно значительно и приводит к тому, что глубина проникновения первичного и выхода флюоресцентного излучения для многих продуктов невелика и состаряет

доли миллиметра, только для нейтронных источников составляя десятки сантиметров.

Вследствие небольшой глубины проникновения возникает минералогический эффект — зависимость интенсивности аналитической линии от того, каким минералом представлен определяемый элемент, а также характер подготовки поверхности пробы влияет на качество рентгенофлуоресцентного анализа и результаты измерения крупности материала пробы.

2. Влияние крупности материала пробы. Крупность материала пробы влияет на результаты рентгенофлуоресцентного анализа вследствие появления локальных неоднородностей, связанных с неоднородным распределением компонента в отдельных зернах, а также вследствие изменения геометрических параметров хода лучей.

Так как эти влияния для зернистых (кусковых) продуктов принципиально неустранимы, наилучшим решением явился бы перевод материала пробы в жидкий или твердый раствор, но такое решение привело бы к потере экспрессности, одного из главных достоинств рентгеноспектрального анализа, а также разрушило бы пробу. Поэтому стремятся стабилизировать гранулометрический состав пробы, экспериментально подбирая условия подготовки пробы.

Влияние крупности незначительно лишь для условий, когда  $\mu_i l < 0,01$ , где  $\mu_i$  — линейный коэффициент поглощения;  $l$  — размер частицы.

Для условий, когда  $0,01 < \mu_i l < 0,1$ , влияние размера частиц уже значительно, а в условиях, когда  $\mu_i l > 0,1$ , флуоресценция связана в основном с воздействием излучения на поверхностный слой материала толщиной в «одно зерно».

Теоретически и экспериментально показано, что плотность потока флуоресцентного излучения резко падает с увеличением размера зерен анализируемой пробы, причем чем меньше массовая доля компонента, тем падение относительно больше. Влияние размеров зерен тем больше, чем меньше энергия фотонов первичного излучения.

Характер изменения флуоресценции от крупности пробы изучен сотрудниками НИИ прикладной физики Иркутского государственного университета на пробах руды (слив стержневой мельницы) и концентрата. Для этого пробу измельчали и выполняли анализ рентгенофлуоресцентным методом прессованных проб. На рис. 8 представлено относительное изменение интенсивности для трех элементов Fe, Ca и Si:

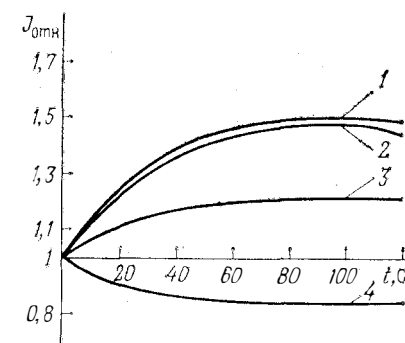
$$J_{\text{отн}} = J_t / J_0,$$

где  $J_t$  — интенсивность аналитической линии элемента после измельчения пробы в течение времени  $t$ ;  $J_0$  — интенсивность аналитической линии исходной пробы.

Измельчение проводили в различных установках, в том числе на истирателях ИДА-175, 130-ДР-А и др.

Рис. 8. Зависимость относительной интенсивности  $J_{\text{отн}}$  аналитической линии элементов от продолжительности  $t$  измельчения пробы:

1 — кальциевый концентрат; 2 — кремниевый концентрат; 3 — железная руда; 4 — кальций-кремнийсодержащие руды



Установлено, что изменение крупности пробы чрезвычайно сильно сказывается на результатах рентгенофлуоресцентного анализа, причем с уменьшением крупности интенсивность аналитической линии железа возрастает, а кальция и кремния — падает. Сделаем практический вывод, что измельчение в течение 1,5 мин и более стабилизирует результаты анализа.

3. Влияние характера подготовки поверхности пробы. Обычно облучаемую поверхность пробы или материала стремятся подготовить. Эта подготовка сводится к созданию максимально ровной поверхности, что обеспечивается прессованием порошкообразной пробы либо выравниванием поверхности с одновременным уплотнением пробы катком, ложкой и т. п. Если проба плохо прессуется, то используется ее твердый раствор в сухой борной кислоте.

Можно использовать не только прессование, но и сплавление проб с флюсом.

На продуктах Коршуновского ГОКа сотрудниками НИИ прикладной физики Иркутского государственного университета экспериментально изучены погрешности собственно анализа (аппаратурная погрешность) и подготовки навески при фиксированных условиях ее измельчения (погрешность, связанная с распределением материала в кювете, условиями прессования, качеством поверхности пробы). Отметим, что, как будет показано далее, сюда входит и погрешность дискретности навески (табл. 6).

Таблица 6  
Погрешности рентгенофлуоресцентного анализа железной руды

Погрешность	Fe		Ca		Si	
	Руда	Концентрат	Руда	Концентрат	Руда	Концентрат
Аппаратурная	0,05	0,04	0,38	0,38	0,39	0,39
Подготовки навески к анализу	1,02	0,96	0,45	0,11	1	1
Суммарная	1,02	0,96	0,59	0,39	1,07	1,07

При анализе руды, содержащей 15—40 % железа, на пробах массой 40 кг, крупностью  $d_{\max}=3-5$  мм, проходящей выровненным слоем в течение 2 мин через анализатор, погрешность составила, %:

Аппаратурная . . . . .	0,42
Методическая (уравнения) . . . . .	1,46
Подготовки пробы (качество выравнивания и т. п.) . . . . .	3,02
Суммарная . . . . .	3,44
Химического анализа . . . . .	1,8

На обогатительных фабриках выполняют анализ: проб, которые можно подготовить по крупности с подготовкой поверхности (обычно это материал проб для анализаторов, работающих с навесками);

материала, который может быть организован в поток с ровной поверхностью без изменения крупности. Обычно это анализаторы, работающие с потоками мелкокускового и пульпообразного материала;

материала, который не может быть никак подготовлен и должен анализироваться в том виде, в каком поступил (обычно это анализаторы крупнокусковых продуктов на конвейерах, в вагонетках, бункерах, забоях).

Условия подготовки поверхности при рентгеновском спектральном анализе крупнопорционных проб и потоков, а также крупнокусковых продуктов весьма различны. Мелкокусковой материал допускает использование разравнивающих и уплотняющих лемехов, лыж, скребков и т. п.

Крупнокусковой материал обычно разровнять и уплотнить нельзя. В этих условиях целесообразно такое удаление источника и приемника излучения от поверхности опробуемого материала, при котором неровности его поверхности сказываются наименьшим образом.

Способы получения градуировочных характеристик при рентгеноспектральном анализе различны.

*Прямой способ внешнего стандарта* прост и используется, если состав породы постоянен. Градуировочный график для определения массовой доли  $\alpha$  строят по результатам анализа проб эталонным методом и с помощью рентгеноспектрального анализатора. Уравнение, соответствующее градуировочному графику, в простейшем случае является уравнением прямой линии

$$\alpha = a_0 + aJ/J_{ст}, \quad (27)$$

где  $a_0$  и  $a$  — коэффициенты регрессии;  $J$  — интенсивность аналитической линии определяемого компонента;  $J_{ст}$  — интенсивность аналитической линии стандартного образца (эталона).

По градуировочному графику определяют массовую долю компонента. После анализа каждых 4—6 анализируемых проб анализируют стандартный образец, определяют поправку  $\Delta\alpha$  и вводят ее в результат расчета по графику либо уравнению (27).

Так как анализируемые на фабриках продукты имеют переменный состав по многим компонентам, то используют более сложные методы градуировки — *методы калибровки*, при которых обычно учитывают межэлементные взаимодействия. Известны эмпирические, полуэмпирические и теоретические методы калибровки.

*Эмпирические методы калибровки* обычно состоят в использовании уравнений множественной регрессии вида

$$\alpha_i = a_{0i} + \sum_{i=1}^N a_i J_i + \sum_{i=1, j>i}^N a_{ij} J_i J_j + \sum_{i=1}^N a_{ii} J_i^2 + \dots, \quad (28)$$

где  $\alpha_i$  — массовая доля  $i$ -го элемента;  $J_i, J_j$  — интенсивность аналитических линий соответственно  $i$ -го и  $j$ -го элементов.

Для малых диапазонов изменения массовых долей компонентов пригодно линейное уравнение вида

$$\alpha_i = a_{0i} + \sum_{i=1}^N a_i J_i. \quad (29)$$

Теоретически более обоснованным из простых уравнений является уравнение вида

$$\alpha_i = a_{0i} + a_i J_i + J_i \sum_{j=1}^N a_{ji} J_j. \quad (30)$$

При этом может быть  $i=j$ .

Практически важен выбор мешающих компонентов. В общем случае необходимо измерять интенсивность линий всех компонентов, после получения всех коэффициентов  $a_{ji}$  отобрать значимые для использования в уравнениях (28) — (30).

Для получения градуировочных характеристик таким способом нужно большое число градуировочных образцов.

*Полуэмпирические методы калибровки* используют, когда можно применить какие-либо фундаментальные параметры, например табличные значения массовых коэффициентов поглощения  $\mu_i^{(j)}$  аналитической линии  $i$ -го элемента другими элементами.

*Теоретические методы калибровки* состоят в расчете измеряемой концентрации с помощью полного выражения для интенсивности флюоресценции, учитывающего химический состав анализируемого материала и условия возбуждения.

Так, метод теоретических поправок позволяет для градуировки использовать один образец-эталон. Поправочные коэффициенты определяют по формуле

$$a_{ij} = \Delta J_{ij} / (J_i^0 \Delta \alpha_j),$$

где  $\Delta J_{ij}$  — изменение интенсивности аналитической линии  $i$ -го элемента при изменении концентрации мешающего элемента  $j$  на величину  $\Delta \alpha_j$ ;  $J_i^0$  — интенсивность аналитической линии  $i$ -го элемента для эталона.

Используя поправочные коэффициенты  $a_{ij}$ , исправляют измеренные значения аналитических линий

$$J_{\text{исп}} = J_{\text{изм}} \left( 1 - \sum_{j \neq i}^N a_{ij} \Delta \alpha_j \right)$$

и находят искомые массовые доли  $\alpha_i$  по методу прямого способа внешнего стандарта. Исправления ведут последовательно до получения стабильных значений  $\alpha_i$ .

Подавляющее распространение на обогатительных фабриках получили эмпирические методы калибровки и прямой метод внешнего стандарта.

Теоретическая необоснованность методов компенсируется простотой их использования.

Так, например, для определения содержания меди  $\alpha_{\text{Cu}}$  в никелевом концентрате получено уравнение

$$\alpha_{\text{Cu}} = 0,123 + 8,352J_{\text{Cu}} + 0,364J_{\text{Cu}}J_{\text{P}} + 0,044J_{\text{Cu}}J_{\text{P}}^2 - 0,036J_{\text{P}} + 0,001J_{\text{P}}^2.$$

Содержание твердого  $\delta$  в пробе для СРМ-13 определяют по формуле

$$\delta = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j J_j + J_{\text{P}} \sum_{j=1}^m b_j J_j.$$

Коэффициенты вариации воспроизводимости, достигаемые на квантометре СРМ-13, приведены в табл. 7.

Практика работы показала, что точность рентгенофлуоресцентного анализа бедных продуктов не хуже, чем при химических методах, а точность оценки качества концентратов ниже.

Характеристика некоторых способов получения градуировочных зависимостей приведена в табл. 8.

Рентгеновский флуоресцентный метод анализа получил широкое применение.

Таблица 7

Коэффициенты вариации погрешности

Диапазон содержания, %	Среднее содержание, %	Коэффициент вариации, %	Диапазон содержания, %	Среднее содержание, %	Коэффициент вариации, %
Никель: 0,09—0,25 4,9—9,2	0,2 6,9	8,5 3,8	2,9—14,4 10—29,5	6,4 20	4,3 3,3
Медь: 0,05—0,16 0,4—1,4 1—2,5	0,1 0,6 1,6	11 12 7,5	Железо: 9,7—12 30—38 42—52,9	10,8 34 49,2	4,6 3 2,8

Градуировочные зависимости для некоторых продуктов

Продукт	Определяемый компонент	Диапазон, %	Способ градуировки	Погрешность, %	Чувствительность, %
Товарная слюда мусковит	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27—35	Прямой способ внешнего стандарта $\alpha_i = a_0 i + a_i J_i$ отн	0,33	—
	SiO <sub>2</sub>	45—54		0,33	—
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8—5		0,17	0,07
	K <sub>2</sub> O	7,5—10		0,13	—
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05—0,3		0,007	0,008
	MgO	0,4—1,3		0,12	0,04
Кварц-полево-шпатовое сырье	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10—17	То же	0,18	—
	SiO <sub>2</sub>	70—81		0,55	—
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06—0,5		0,06	0,02
	K <sub>2</sub> O	0,7—3		0,01	—
Свинцовый концентрат	Pb	43,5 32—59	Эмпирический метод калибровки. Линейное уравнение	1,89	—
Цинковый концентрат	Zn	46,5 37,58	То же	1,72	—
Баритовый концентрат	Ba	85,2 66—94	»	2,31	—

В лабораторных условиях на фабриках используют «Маяк», «Квант», «Минерал-3», «Минерал-4», «Минерал-5», РПС4-01 «Гагара», «Феррит», РРК, РРША-1, РБС-5, БРА-6, БРА-7, ФРАД-1. Рентгеновские анализаторы БАРС-1, БАРС-2М, БАРС-3, КРАБ-2, КРАБ-3, СРМ-13, СРМ-18 позволяют анализировать элементы в основном от Са и выше. Большинство из них анализирует подготовленную и помещенную в кювету пробу (анализатор СРМ-13 предназначен для анализа потоков пульпы) (табл. 9).

С целью увеличения контролируемой массы анализируемого материала используются различные варианты перемещения

Таблица 9

Характеристика анализаторов на рентгеновских трубках

Показатель	СРМ-18 (порошковый)	СРМ-13 (пульвовый)	«Курьер-300» (пульвовый)
Производительность, проб/сут	2400	1152	2016
Число контролируемых продуктов в кассете	12 проб	12	14
Продолжительность анализа, с	30	60—90	30
Число контролируемых одновременно элементов	12	6—7	6—7

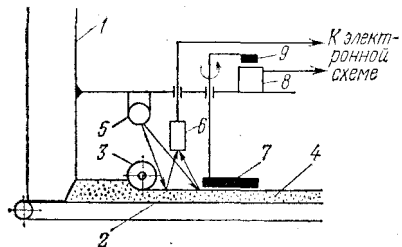


Рис. 9. Схема рентгеновского бескристалльного анализатора РБС-5

материала пробы в зоне облучения. Схема работы рентгеновского бескристалльного анализатора РБС-5 приведена на рис. 9.

Из бункера 1 материал 4 поступает на конвейерную ленту 2, уплотняется и выравнивается тяжелым валом 3 и ровным слоем поступает под пучок рентгеновских лучей от источника 5. Характеристическое излучение от контролируемого элемента воспринимается детектором 6. Одновременно с перемещением материала в зоне облучения вращается полудиск 7, на котором нанесен материал с известной массовой долей железа. Полудиск 7 играет роль эталона. Для выделения сигнала от материала и эталона служит коммутатор 8, включаемый магнитом 9, вращающимся на одном валу с полудиском. Скорость движения материала составляет 1,2 см/с, время экспозиции обычно 2 мин. Таким образом, анализируется полоса материала длиной  $1,2 \cdot 120/2 = 72$  см.

При глубинности метода (толщина слоя материала, формирующего поток флуоресцентного излучения) 1 мм и ширине облучаемой полосы 50 мм масса анализируемого материала составит  $q = 72 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 3 = 108$  г. Эта масса значительно больше массы навески, направляемой на химический анализ либо помещаемой в кювету анализатора КРАБ.

Спектрометр СРМ-13 обладает аппаратурной погрешностью 0,5% и позволяет анализировать последовательно 12 потоков по 4—6 элементов в каждом (от Сг до U) по интенсивностям  $K$  и  $L$  серий. Один или два канала из восьми настраиваются на участки спектра рассеянного излучения, используемого для определения массовой доли твердого и крупности.

Влияние плотности пульпы на результаты анализа СРМ-13 велико. Относительное изменение интенсивности измеряемой линии [18]

$$(\partial J_i / \partial \delta) / J_i = \{\delta [\delta (a-1) + 1]\}^{-1},$$

где  $a$  — коэффициент, учитывающий абсорбционные свойства твердой фазы и воды.

Видно, что, чем выше плотность, тем меньше чувствительность анализатора к изменению плотности.

Анализатор «Курьер-300» фирмы «Оутокумпу» (Финляндия) предназначен для анализа пульпы в потоке на обогатительных фабриках. За последние 10 лет 45 анализаторов установлено на крупных зарубежных горно-обогатительных предприятиях. В на-

стоящее время выпускается анализатор «Курьер-30», в котором использованы рентгеновская техника небольшой мощности и электронный микропроцессор. Анализатор «Курьер-30» разработан для обогатительных фабрик, но также успешно может использоваться для непрерывного контроля гидromеталлургических процессов.

#### 14. ИЗМЕРЕНИЕ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССОВОЙ ДОЛИ ОПРЕДЕЛЯЕМОГО КОМПОНЕНТА

Использование рассеянного излучения распространено широко, так как аппаратурная реализация этого способа проста. В качестве первичного используются все виды излучений, но чаще всего гамма-лучи. Такой вид анализа называют еще рассеянным  $\gamma$ - $\gamma$ -методом (табл. 10).

В качестве первичных гамма-излучателей используют радиоактивные изотопы с энергией излучения от десятков до сотен килоэлектронвольт.

Рассеяние гамма-квантов зависит от атомного номера элементов, входящих в состав материала. Поэтому метод рассеянных гамма-квантов не является селективным и его применение возможно лишь для продуктов, у которых контролируемый элемент существенно отличается по атомному номеру от остальных, т. е. для проб, которые можно представить состоящими из контролируемого элемента с атомным номером  $z_0$  и условного второго — наполнителя, имеющего атомный номер  $z_n$ . Для энергий гамма-квантов менее 200—300 кэВ, но не меньших энергии  $K$ -скачка поглощения

$$z_{эф} = \sqrt[3]{\alpha_0 z_0^3 + (1 - \alpha_0) z_n^3}.$$

Здесь  $z_{эф}$  — эффективный атомный номер материала;  $\alpha_0$  — массовая доля определяемого элемента.

Таким образом, для определения  $\alpha_0$  используется его функциональная связь с  $z_{эф}$ .

На рис. 10 показана корреляционная связь между  $z_{эф}$  и содержанием железа в рудах Лисаковского месторождения.

Таблица 10

Методы, основанные на использовании рассеянного излучения

Метод	Особенности	Абсолютная погрешность, %
$\gamma$ - $\gamma$	Облучение пробы гамма-квантами с регистрацией рассеянных гамма-квантов. Глубинность метода — первые миллиметры	Для угля от 0,5 до 2,5
Оптический	Облучение пробы квантами видимого или близкого к нему излучения. Глубинность — поверхностные слои атомов	3—5

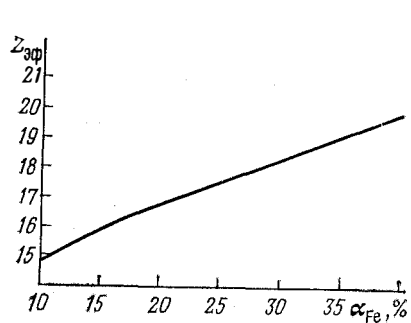


Рис. 10. Зависимость эффективного атомного номера  $z_{эф}$  от массовой доли железа  $\alpha_{Fe}$

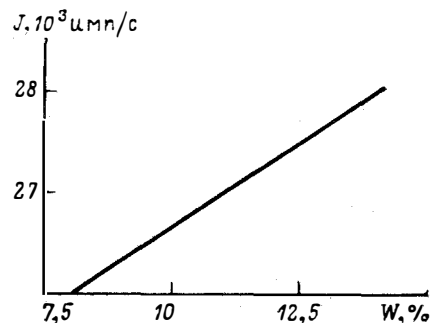


Рис. 11. Зависимость интенсивности  $I$  рассеянного излучения от влажности  $W$

Если в составе смеси появляется еще один элемент, существенно отличающийся от наполнителя, то в измерение вносится большая погрешность, связанная с изменениями массовой доли элемента. Такое изменение вносит влага, содержащая легкие элементы. На рис. 11 показано изменение скорости счета импульсов с изменением влажности железной руды.

При благоприятных условиях всегда стремятся применять установки с использованием рассеянного гамма-излучения. Так, создана установка для непрерывного опробования дробленой апатито-нефелиновой руды на конвейере.

Основа работы установки — связь между содержанием  $P_2O_5$  и эффективным атомным номером руды  $z_{эф}$ . Источником гамма-излучения служит америций-241. Источник расположен над конвейером. Для уменьшения влияния неровностей в датчике помещены два источника  $^{241}Am$  активностью соответственно  $37 \cdot 10^{16}$  и  $370 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ . Они реализуют условия измерений с двойным инверсионным зондом, компенсирующим влияние неровностей в пределах  $\pm 4 \text{ см}$ .

Рассеянное гамма-излучение регистрируют сцинтилляционным счетчиком с кристаллом  $NaJ$ . Сравнение регистраций датчика в течение 5 мин и отобранных за этот же промежуток времени 20—30 горстевых проб показало, что средняя квадратическая погрешность горстевых проб составила 1,02 %  $P_2O_5$ , а средняя квадратическая погрешность гамма-гамма-метода 0,95 %  $P_2O_5$ .

Рассеянное гамма-излучение широко используется для контроля зольности углей. Известны радиоизотопные концентратометры твердого в потоке РКТП-2, работающие с использованием рассеянного гамма-излучения.

На контролируемый слой угля направлен коллимированный поток гамма-квантов изотопа  $^{137}Cs$ . Многократно рассеянное углем излучение контролируется сцинтилляционным счетчиком по трем энергетическим каналам. Время измерения зольности может быть

установлено от 1 с до 1,5 ч. Крупность угля до 300 мм, диапазон зольности 20—50 %. Абсолютная погрешность  $\pm 0,5 \%$ .

Для контроля зольности хвостов угольной флотации используется зависимость между отражательными свойствами диапазона лучей видимого спектра пород, угля и зольностью. Измерение осуществляется зондовым фотометром, погруженным в пульпу.

#### 15. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОНИКАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНОГО ПОТОКА КАК ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССОВОЙ ДОЛИ

Метод проникающего гамма-излучения (гамма-абсорбционный метод) — один из наиболее простых — основан на измерении доли излучения, прошедшего через слой материала:

$$J = J_0 e^{-\mu \rho x},$$

где  $J$ ,  $J_0$  — интенсивность соответственно прошедшего через слой материала и исходного гамма-излучения;  $\mu$  — массовый коэффициент ослабления первичных гамма-квантов;  $\rho$  — плотность материала;  $x$  — толщина слоя материала.

Для бинарной смеси массовая доля определяемого компонента [24]

$$\alpha = \frac{\mu_n x + \ln(J/J_0)}{(\mu_n - \mu_\alpha) \rho x},$$

где  $\mu_n$ ,  $\mu_\alpha$  — массовые коэффициенты ослабления соответственно наполнителя и определяемого компонента.

Испытания способа на баритовых продуктах Ачисайского полиметаллического и Карагайлинского горно-обогатительного комбинатов показали, что среднее квадратическое отклонение расхождений результатов гамма-абсорбционного и химического методов составляет 0,5—0,95 % при измеряемой массовой доле барита от 2 до 98 %.

Широко используется атомно-абсорбционный анализ для растворов. Так автоматизированный атомно-абсорбционный спектрофотометр АСА-1 предназначен для проведения элементного анализа состава веществ (сплавов, металлов, реактивов, биологических объектов, минерального сырья), находящихся в растворах, методом атомного поглощения.

Автоматическая подача образцов в атомизирующее устройство и выдача окончательных результатов измерений в единицах оптической плотности при концентрации позволяют проводить анализ 150 образцов в 1 ч без вмешательства оператора. Рабочий диапазон спектра 200—800 нм, диапазон измерения оптической плотности 0,002—1, приведенная погрешность измерения концентрации по эталонным растворам составляет 2 %.

Магнитный поток, являющийся характерным индикатором массы магнитных минералов, используется в различных устройствах определения массовой доли в основном магнетита (табл. 11).



Способы определения массовой доли магнитных продуктов

Способ	Особенности	Абсолютная погрешность, %
Пондеромоторный	Контроль массовой доли в порошках на устройствах типа магнитные весы	$\pm 0,24$
Измерение индуктивности катушки	В зависимости от конструкции магнитной цепи может использоваться для контроля потоков, кусков, порошков	$\pm 0,5-1,1$

Основа пондеромоторного способа определения массовой доли магнитных продуктов — измерение силы взаимодействия навески материала с магнитным полем. Направляя силу взаимодействия по направлению силы тяжести, получают магнитные весы.

Второй способ основан на измерении изменений параметров электромагнитных цепей при внесении пробы в поле датчика. В результате созданы магнитные анализаторы массовой доли железа в пробе с погрешностью 0,5—1,1 % магнитного железа. Это анализаторы 2РМФ, 7РМФ, РИМВ-1.

## 16. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Количественный минералогический анализ — один из важнейших видов анализа, дающий информацию о составе продуктов и формах распределения элементов по минералам. Данные этого анализа наряду с традиционным использованием при проектировании, настройке и усовершенствовании схем обогащения могут служить для управления и оценки эффективности процесса. В определенном смысле при управлении процессом минералогический анализ может быть более полезным, чем химический. Действительно, количественный минералогический анализ руд и продуктов позволяет определить содержание отдельных минералов, распределение их по классам крупности, характеристики раскрытия и прорастания. При столь подробной информации появляется возможность учесть индивидуальные особенности каждого минерала, представляющего какой-либо элемент, за счет корректировки управляющих воздействий, например изменением реагентного режима флотации или оперативным изменением структуры схемы вплоть до отдельного получения нескольких концентратов, соответствующих разным минералам одного и того же элемента.

Подготовленную определенным образом пробу (шлиф или аншлиф) помещают в сканирующий микроскоп, где проба сканируется световым или рентгеновским лучом, рассеянное или отраженное излучение воспринимается фотоэлементом. При этом импульсы на фотоэлементе характеризуют зерна, длительность импульса соответствует длительности пересечения зерна с линией сканирования, что косвенно можно привести в соответствие с размером

частицы при неоднократных измерениях, амплитуда импульса служит информативным признаком для опознания минерала зерна. Импульсы из сканирующего микроскопа распределяются по каналам в блоке дискриминатора, и характеристики накапливаются в памяти вычислительного устройства, там же проводятся необходимые расчеты по стандартным программам. Информация может быть получена на цифropечатающем устройстве или на телевизионном экране. Управляющее устройство позволяет варьировать алгоритмы сканирования, настройки дискриминаторов, программы вычислений и условия выдачи информации.

Анализ компонентов путем использования корреляционных связей между ними. Если минералогический состав пробы таков, что между какими-либо компонентами существует тесная корреляционная связь, то она может быть использована для анализа. Может быть использовано уравнение как парной, так и множественной регрессии

$$\alpha_2 = a_0 + a_1 \alpha_1; \quad (31)$$

$$\alpha_{N+1} = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \alpha_i, \quad (32)$$

где  $\alpha_1$  или  $\alpha_i$  — массовая доля измеряемых компонентов;  $\alpha_2$  и  $\alpha_{N+1}$  — массовая доля компонента, рассчитываемая по уравнениям парной (31) или множественной (32) регрессии;  $a_0, a_1, a_i$  — коэффициенты регрессии.

Возможности применения таких измерений предопределяются, таким образом, прежде всего свойствами руд и продуктов обогащения.

Объективная, природная связь наблюдается для многих компонентов многих руд. Между всеми элементами у известняков, доломитов, бруситов эта связь довольно тесна. Так, коэффициент корреляции между массовой долей нерастворимого остатка и массовой долей CaO составил для известняков 0,98—0,99. Средняя квадратическая погрешность определения нерастворимого остатка по результатам измерения CaO составляет от 0,08 до 1,36 %; коэффициент корреляции между массовыми долями MgO и CaO для доломитов 0,95—0,99, а средняя квадратическая погрешность определения MgO, например по уравнению вида  $MgO = 0,45 + 0,65 CaO$ , составляет 0,47 %.

## III. ИЗМЕРЕНИЕ КРУПНОСТИ

### 17. ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОСТИ ПРОДУКТОВ

Продукты обогащения обычно представляют собою массу, состоящую из отдельных кусков различной крупности.

Каждый отдельный кусок характеризуется размерами и массой. Форма кусков, как правило, произвольная, однако иногда встре-

чаются продукты, содержащие некоторое число кусков определенной формы. Так, близкую к шарообразной форму имеют частицы песка, гравия; игольчатую либо волокнистую форму имеют куски асбеста, плоскую форму имеют кристаллы слюды. При оценке качества щебня особо выделяются уплощенные зерна, так называемые лещадные.

В основном куски опробуемого материала имеют неправильную форму. Это значит, что ни одна из простых геометрических форм, для которой можно записать расчетную формулу объема или массы, не может быть точной моделью куска.

Поэтому обычно принимают за основу одну из простых геометрических форм, например куб, и определяют для него объем и массу куска. Если известен размер ячейки сита  $d_c$ , соответствующего рассматриваемому узкому классу крупности, то вводят так называемый коэффициент формы  $f$ , позволяющий согласовать объем и массу куска произвольной формы с кубической:

$$V_k = f d^3 c;$$

$$q_k = f \rho d^3 c,$$

где  $V_k$ ,  $q_k$ ,  $\rho$  — соответственно объем, масса и плотность куска.

Для многих продуктов  $f = 0,3 \div 0,5$ . Коэффициент формы — объемный коэффициент, учитывающий в данном случае «некубичность» частицы и трудность прохождения ее через сито.

Общей характеристикой крупности продукта является его гранулометрический состав, характеризующийся кумулятивными характеристиками, каждая точка которых представляет собою массовую долю материала пробы массой  $q$ , оставшейся на сите соответствующего размера  $R_+$ , либо массовую долю материала пробы, прошедшей через сито соответствующего точке размера  $R_-$ :

$$R_+ = q_+/q;$$

$$R_- = q_-/q,$$

где  $q_+$  — масса материала, оставшегося на сите;  $q_-$  — масса материала, прошедшего через сито.

На рис. 12 представлены типичные кумулятивные характеристики.

Характеристики, отражающие долю материала пробы, оставшуюся между двумя ситами, называют частными. По существу, частная характеристика соответствует приращению кумулятивной характеристики между двумя размерами сит.

Математически частная характеристика крупности соответствует производной от кумулятивной характеристики и может быть названа кривой плотности распределения вероятности от крупности (см. рис. 12).

Гранулометрический состав опробуемых продуктов — самостоятельная, принципиально отличная от всех других характеристика.

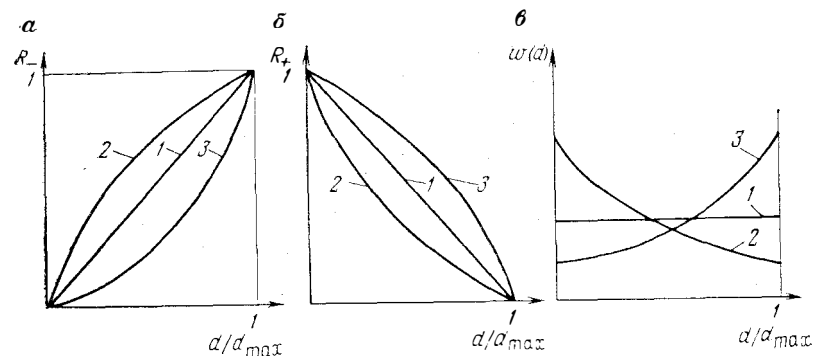


Рис. 12. Типичные кумулятивные характеристики крупности для подрешетного (а) и надрешетного (б) продуктов и соответствующие плотности распределения вероятности (в)

Один и тот же продукт может быть представлен кусками самых различных размеров либо быть монолитным.

Гранулометрический состав продукта формируется в результате разнообразных видов воздействий на горную массу: взрыва, резания, самоизмельчения при перегрузках и транспортировании, дробления, сегрегации и т. п., в связи с чем в конкретных условиях могут образоваться продукты, отличные по гранулометрическому составу от других продуктов этой же руды. При этом могут сформироваться как правосторонние, так и левосторонние, а также симметричные и равномерные законы распределения крупности по массе.

Универсальное и простое описание кумулятивных кривых гранулометрического состава — степенной закон для выхода  $R_-(d)$ , т. е. подрешетного продукта [27]:

$$R_-(d) = (d/d_{max})^c, \quad (33)$$

где  $d$  — размер куска;  $d_{max}$  — максимальный размер куска;  $c$  — коэффициент.

Соответственно плотность распределения вероятности

$$w(d) = c d^{c-1} / d_{max}^c. \quad (34)$$

При  $c=1$  (см. рис. 12, кривая 1) кумулятивная кривая превращается в прямую линию, которой соответствует равномерный закон распределения; при  $c < 1$  кумулятивная кривая для подрешетного продукта имеет выпуклый вид и правоасимметричную плотность распределения вероятности (кривая 2); при  $c > 1$  кумулятивная кривая для подрешетного продукта имеет вогнутый вид и левоасимметричную плотность распределения вероятности (кривая 3).

Известны более развитые законы описания гранулометрического состава, в частности уравнение Розина—Рамллера, которое

для выхода подрешетного продукта записывается следующим образом:

$$R_-(d) = 1 - \exp[-a(d/d_{\max})^c],$$

где  $a$  и  $c$  — коэффициенты;  $d$  — текущий размер куска;  $d_{\max}$  — максимальный размер куска.

Все последующие выводы будем доводить до конечных формул, используя распределения (33), (34), и в частности для  $c=1$ , что соответствует равномерному закону распределения по крупности (гранулометрическому составу):

$$w(d) = 1/d_{\max}.$$

При необходимости в общие интегральные формулы могут быть подставлены другие законы распределения.

Гранулометрический состав взорванных продуктов предопределяется прежде всего условиями взрывания, а также свойствами горных пород. Взорванные массы обладают особенностями, связанными с раслоением горной массы во время перемещений по воздуху, с соударением кусков, просеиванием мелких фракций сквозь крупные и т. п., что ведет к большой неоднородности массива по гранулометрическому составу.

На рис. 13 приведены экспериментально определенные распределения для взорванных масс гранита. Видно, что для взорванной массы средней крупности (см. рис. 13, а) распределение имеет правостороннюю асимметрию, для более крупного материала (см. рис. 13, б) — близкое к равномерному.

На рис. 14 приведены кумулятивные характеристики крупности различных продуктов.

Противоположного вида характеристика (рис. 15) получена для исходного питания дробилок на Дзержинской фабрике ( $c > 1$ ).

Хотя плотность распределения вероятностей размеров кусков по массе является полной характеристикой гранулометрического состава продуктов, пользоваться ею во многих случаях неудобно. В связи с этим обычно используют какие-либо менее информативные, но более простые характеристики:

максимальный размер кусков  $d_{\max}$ , под которым чаще всего понимают размер ячеек квадратного сита, на котором остается 5 % массы пробы. Использование слова «максимальный» в этом смысле является условным;

средний размер кусков  $\bar{d}$ , под которым понимают размер ячеек квадратного сита, на котором остается 50 % массы пробы.

Для равномерного распределения и близких к нему распределений ( $0,8 \leq c \leq 1,2$ )  $\bar{d} \approx 0,5 d_{\max}$ .

Для правоасимметричных распределений (при  $c < 0,8$ )  $\bar{d} \approx \approx d_{\max}/3$ .

Сильноасимметричные левосторонние распределения редки; для них  $\bar{d} > 0,5 d_{\max}$ .

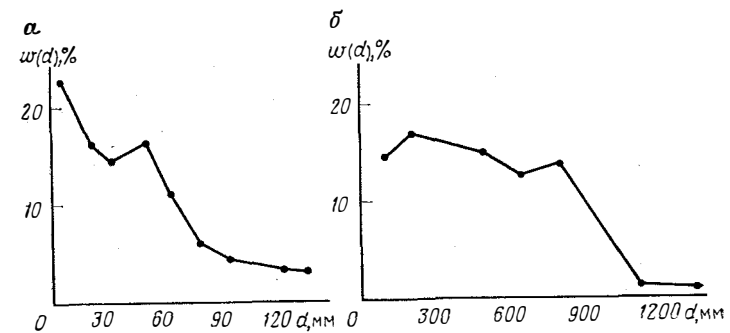


Рис. 13. Распределения по крупности взорванных масс гранита

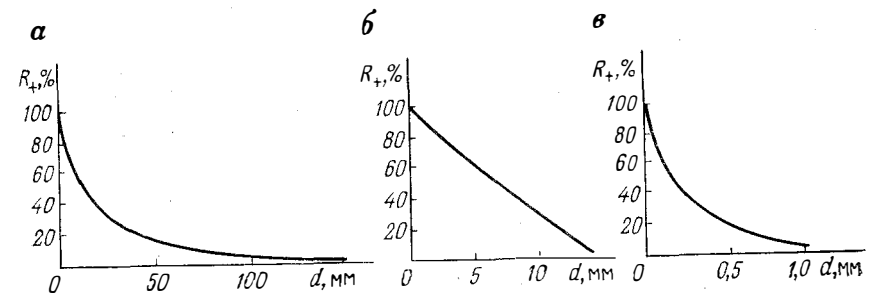
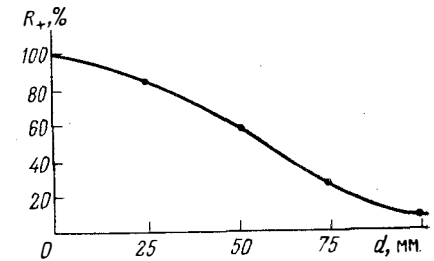


Рис. 14. Гранулометрические характеристики (для  $c < 1$ ) угля (а), медной руды (б) и хвостов железообогатительной фабрики (в)

Рис. 15. Гранулометрическая характеристика питания дробилок на Дзержинской обогатительной фабрике



Средний размер кусков, определяемый с помощью понятия максимального куска, менее точен, так как определить само значение  $d_{\max}$  трудно. Лучше всего поэтому для расчета использовать кумулятивную характеристику гранулометрического состава.

Пример построения характеристики гранулометрического состава и определение простейших характеристик крупности. Проба руды рассеяна на шесть классов (табл. 12).

На рис. 16 представлены кумулятивные характеристики по плюсу  $R_+$  и минусу  $R_-$ . Фиксированными точками для них являются 0 при  $d=0$  и 100 % при  $d=16$  мм для  $R_-$ , а также 100 % при  $d=0$  и 0 при  $d=16$  мм для  $R_+$ .

По кумулятивным характеристикам находим для  $R=50$  %  $\bar{d}=3,5$  мм. В точке  $R=50$  % обе кумулятивные характеристики пересекаются.

По характеристике  $R_+$  для  $R_+=5$  % определяем условный максимальный размер кусков  $d_{\max}=10,4$  мм.

Результаты ситового анализа руды

Класс крупности, мм	Средний размер отверстий сита, мм	Выход, кг	Частный выход $r_i$ , %	Кумулятивный выход по плюсу $R_+$ , %	Кумулятивный выход по минусу $R_-$ , %	Плотность распределения вероятности $w(\bar{d}_i)$ , %/мм
-16+12	14	1,5	3	3	100	0,75
-12+8	10	3,5	7	10	97	1,75
-8+6	7	6	12	22	90	6
-6+4,5	5,25	9	18	40	78	12
-4,5+2,5	3,5	12,5	25	65	60	12,5
-2,5+0	1,25	17,5	35	100	35	14

На рис. 16 на средних диаметрах построена частная характеристика. Частная характеристика зависит от сочетания сит в наборе и не является плотностью распределения вероятности.

Плотность распределения вероятности, равная производной от кумулятивной характеристики по минусу, может быть определена по точкам для каждого класса для среднего размера по формуле

$$w(\bar{d}_i) = r_i / \Delta d_i.$$

Для получения аналитического выражения кумулятивной характеристики применим метод подбора уравнения вида

$$R_- = (d/d_{max})^c.$$

Примем для условного  $d_{max} = 10,4$  мм выход по минусу равный 100 % и построим кумулятивную характеристику по минусу на сетке кривых с известными значениями  $c$  (рис. 17). Видим, что в нашем примере гранулометрический состав приблизительно описывается уравнением

$$R_- = (d/d_{max})^{0,82 \div 0,62}$$

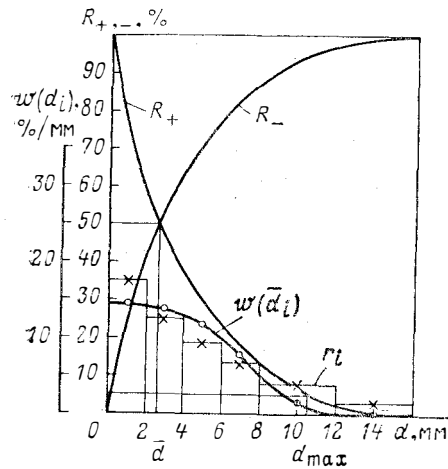


Рис. 16. Пример построения характеристик гранулометрического состава

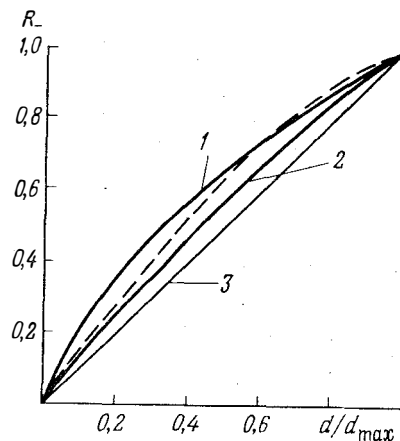


Рис. 17. К подбору показателя степени гранулометрической характеристики:

1—3 — с соответственно равно 0,6; 0,8; 1

18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Для определения гранулометрического состава пробу необходимо разделить на требуемые классы крупности, взвесить их и найти соответствующие отношения

$$R_-(d_c) = q_-(d_c)/q,$$

где  $R_-(d_c)$  — содержание минусового класса для сита с размером ячейки  $d_c$ ;  $q_-(d_c)$  — масса продукта, прошедшего через сито с размером ячейки  $d_c$ ;  $q$  — масса пробы.

Размер  $d_c$  определяется размером ячейки сита в простейшем случае. В общем случае это размер, по которому происходит разделение пробы либо формирование сигнала датчика.

Основным способом определения гранулометрического состава остается разделение пробы на ситах, и только при невозможности их использования применяют другие методы.

Сита непригодны для очень мелких (обычно менее 40 мкм) и очень крупных (более 100—200 мм) частиц. Для мелких частиц используют седиментацию, а для крупных — измерение отдельных кусков.

В настоящее время созданы сита для ситового анализа частиц до 5 мкм.

При ситовом анализе используют одно или несколько сит (рис. 18, а). Выбор сит в каждом конкретном случае определяется техническими требованиями. Сита 3 в наборе располагаются в нисходящем порядке, начиная с самого крупного 2. Продолжительность рассева считается достаточной, если дополнительный рассев в течение 3 мин не изменит результатов более чем на 0,5 %. Набор сит при работе закрывается крышкой 1, самый мелкий класс собирается в поддоне 4.

Потери массы пробы при расसेве должны быть не более 1—1,5 %.

Если рассев материала затруднен, его следует подсушить.

Длительность рассева зависит от крупности и может составлять, мин:

Крупность материала, мм . . . . .	>5	<5
Рассев:		
ручной . . . . .	2	10
механический . . . . .	10	30

Ручной рассев производится с частотой 60 колебаний в минуту и амплитудой 70—100 мм.

Для тонкоизмельченных продуктов применяют мокрый ситовой анализ. Материал помещают на сито 4, установленное в камере рассева 3 (рис. 18, б), камеру закрывают и подают воду через штуцер 2 в брызгала 1, а также включают привод рассева. Анализ ведут 3 мин. Подрешетный продукт выводят через патрубок 5. Вручную мокрый ситовой анализ проводят с помощью направленной струи воды, перемешивая этой струей просеиваемую пробу.

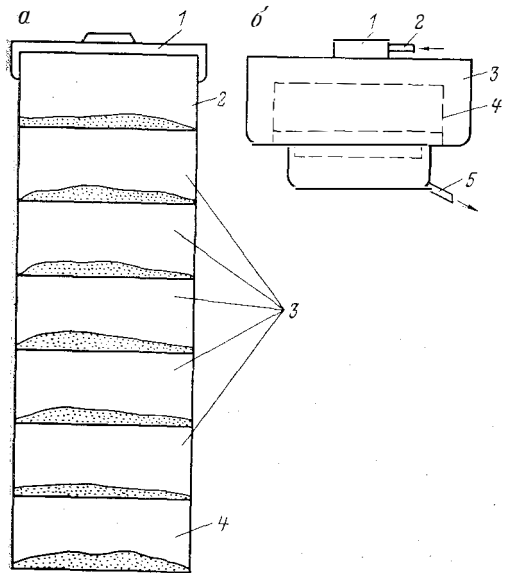
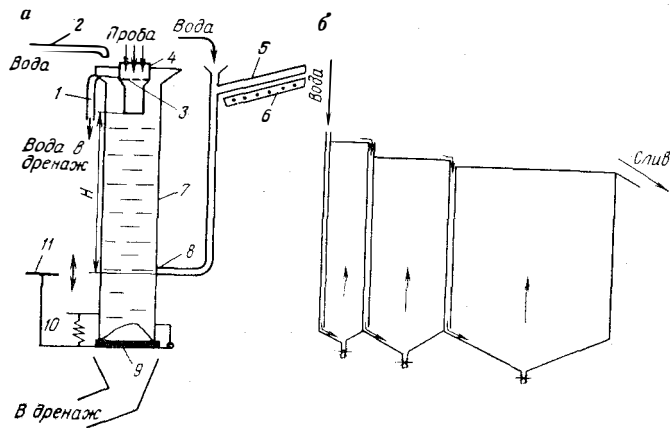


Рис. 18. Схемы устройства для отсева на ситах (а) и приставки для мокрого ситового анализа (б)

Рис. 19. Установка для седиментационного анализа: а — промышленная; б — лабораторная



Если материал нежелательно сушить либо отобранная проба является пульпой, то содержание крупного класса определяют взвешиванием жидкой пробы.

Для этого взвешивается исходная проба в емкости известного объема  $V$ . Пусть ее масса будет  $M_{исх}$ . После выполнения мокрого ситового анализа крупный класс, оставшийся на сите, смывают в эту же емкость, дополняют его водой до объема  $V$  и взвешивают, получая массу  $M_{кр}$  крупного класса с водой известного объема  $V$ . Содержание плюсового класса  $R_+$  (доли ед.) определится по формуле

$$R_+ = (M_{кр} - V) / (M_{исх} - V).$$

Промышленный седиментационный анализ проводят в гранулометре (рис. 19, а). В трубе 7 поддерживается постоянный уровень воды подачей ее по трубе 2 и сливом в дренаж по трубе 1. Пробу загружают через успокоительный стакан 4 с решеткой 3. Давление измеряют с помощью чувствительного водяного манометра 5 с наклонной трубкой и шкалой 6. В него также подается тонкая струя воды. Анализируемая проба выливается в стакан 4. При этом давление в манометре возрастает до максимума. По мере оседания частиц оно снижается. Так как высота столба  $H$  (м) оседания частиц постоянна, по изменению давления в точке 8 за известный промежуток времени можно вычислить гранулометрический состав пробы по формуле

$$R_- = \Delta p_t / \Delta p_0,$$

где  $\Delta p_t$ ,  $\Delta p_0$  — приращение давления соответственно в заданный момент времени и в момент загрузки пробы;  $R_-$  — содержание минусового класса некоторой, заранее определенной крупности, для которой время отсчета  $t$  (с) определяется по формуле [28]

$$t = H / [0,546 \cdot 10^{-6} (\rho - \rho_{ж}) d^2 \rho^{-1}].$$

Здесь  $d$  — крупность контролируемого класса, м;  $\rho$ ,  $\rho_{ж}$  — плотность соответственно твердого и жидкого,  $\text{кг/м}^3$ .

После окончания анализа нажатием на рычаг 11 открывают клапан 9, удерживаемый до этого момента пружиной 10, и проба выпускается в дренаж.

Лабораторный седиментационный анализ выполняют в сосудах (рис. 19, б) с восходящим потоком воды  $v$ . При этом мелкие частицы выносятся в слив, а частицы крупнее некоторого расчетного размера  $d$  остаются в сосуде. Этот процесс называется отмучиванием.

Скорость осаждения частиц  $v$  (м/с) в разбавленной пульпе определяют по формуле

$$v = 0,546 \cdot 10^{-6} (\rho - \rho_{ж}) \rho^{-1} d^2.$$

Здесь  $\rho$ ,  $\rho_{ж}$  — плотность соответственно твердого и жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d$  — диаметр частиц, м.

Для известных геометрических соотношений сосуда, в котором проводят седиментационный анализ, определяют расход жидкости, обеспечивающий скорость  $v$  восходящего потока, вымывающего частицы размером меньше  $d$ . Вымывание ведется до чистого слива.

Измерение размеров крупных кусков выполняется обычно таким образом, чтобы получить один размер  $d$ , примерно соответствующий стороне ребра куба.

При этом следует помнить, что вследствие сегрегации на поверхности материала располагаются обычно более крупные куски. Эксперименты показали, что визуально человек завышает крупность опробуемого материала на 20—25 %.

Характеристика способов измерения крупности на обогатительных фабриках приведена в табл. 13.

Таблица 13

## Характеристика способов измерения крупности

Способ	Особенности	Относительная погрешность, %
Ситовой (гранулометр)	Для частиц крупностью 0,005—200 мм. Продолжительность рассева устанавливается нормативными документами от 1 до 30 мин и более. Может применяться для сухих продуктов и пульп	Зависит от абсолютного значения контролируемого класса и массы пробы, весьма ориентировочно 4—7
Седиментационный	Для частиц крупностью менее 0,4 мм. Осуществляется в стоячей воде и восходящей струе. Продолжительность седиментационного анализа оценивается по скорости оседания частиц. Продолжительность отмучивания несколько часов	Зависит от размеров установки, условий ввода пробы, массы пробы
Измерение размеров большого числа отдельных частиц (обычно 100 и более) с помощью: линейки, рулетки	Измерение размеров больших кусков	Погрешность зависит в основном от числа измеренных кусков, т. е. от массы пробы
датчиков, преобразующих размер частицы в электрический сигнал кондуктометрических датчиков оптических преобразователей	Частицы пульпы, меняющие при своем прохождении через окно сопротивление жидкости между электродами	Возможна систематическая погрешность, так как отбор кусков либо субъективен, либо зависит от характера работы прибора
Определение характеристик потока, связанных с крупностью: механическое воздействие потока на плиту, стержень	Куски любой крупности, чаще всего с использованием промежуточных носителей информации, типа фотопленки	Ориентировочно 3—5
измерение скорости сегрегации материала в различных условиях	Измерение частоты вибрации плиты либо стержня, погружаемого периодически в поток	
	Оценка крупности кусков потока в разных ее точках используется для пульп и потоков материала на конвейере, в том числе до 400 мм	

Специфично определение гранулометрического состава зерен в шлифах. При измерении размеров сферических зерен в шлифах под микроскопом будут видны круги диаметром, не равным диаметру зерен, а различные, зависящие от уровня среза зерна. Поэтому истинный диаметр  $d_{ист}$  следует определять по формуле [10]

$$d_{ист} = \bar{d}/0,785.$$

Для шкалы сит с модулем 2 получено распределение исходного класса по классам крупности 0,745; 0,198; 0,043; 0,01; 0,003. Следовательно, в шлифе из 100 % зерен некоторого класса 74,5 % будут визуальным образом определены именно в этом классе, 19,8 % окажутся в следующем, 4,3 % — в следующем и т. д.

Если  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_k$  — видимое в шлифе содержание зерен, а  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_k$  — их истинные содержания, то последние определяются по формуле [10].

$$Q_k = 1,34 [F_k - (0,198 Q_{k-1} + 0,043 Q_{k-2} + 0,01 Q_{k-3} + 0,003 Q_{k-4})].$$

Расчет классов  $Q_k$  нужно начинать с самых крупных.

#### IV. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТОВ В ТОЧЕЧНЫХ ПРОБАХ

##### 19. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТА В ОТДЕЛЬНЫХ КУСКАХ ЧИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ОДНОГО РАЗМЕРА. ДИСПЕРСИЯ ПОКУСКОВОГО ОПРОБОВАНИЯ ЧИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

Распределение массовой доли компонента в отдельных кусках зависит от их крупности. Если крупность кусков такова, что все минералы вскрыты, то опробуемая масса состоит из кусков чистого минерала и пустой породы. Этому случаю соответствуют некоторые типы руд и продуктов обогащения, например россыпные продукты (золото, алмазы), уголь. Для вскрытых продуктов распределение массовой доли компонентов в отдельных кусках будет дискретным (рис. 20). Если числовая доля кусков определяемого минерала  $p$ , то доля пустой породы  $q = 1 - p$ .

Такой случай распределения массовой доли полностью поддается аналитическому описанию.

Так, массовая доля компонента  $\alpha$  при  $(n_{п} + n_{м}) \rightarrow \infty$

$$\alpha = n_{м} \beta_{м} m_{м} / (n_{п} m_{п} + n_{м} m_{м}), \quad (35)$$

где  $n_{м}$  и  $n_{п}$  — число кусков соответственно полезного минерала и породы;  $m_{м}$  и  $m_{п}$  — масса кусков соответственно полезного минерала и породы;  $\beta_{м}$  — массовая доля ценного компонента в минерале;  $n$  — общее число кусков в пробе ( $n = n_{м} + n_{п}$ ).

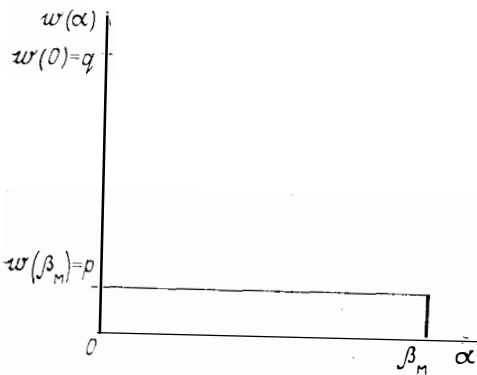


Рис. 20. Распределение числовой доли кусков полезного компонента и пустой породы для вскрытых продуктов

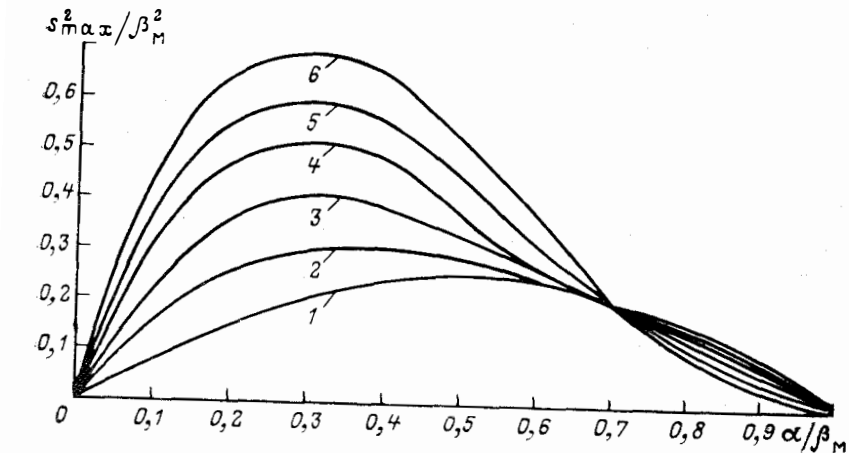


Рис. 21. Зависимость дисперсии покусковой пробы от массовой доли (обе величины нормированы по массовой доле компонента в минерале):  
1-6 — соответственно при  $\rho_M/\rho_P$  равном 1; 2; 3; 4; 5; 6

Распределение числа кусков будет характеризоваться дисперсией числовой доли

$$s_p^2 = p(1-p)/n. \quad (36)$$

Дисперсия массовой доли будет иметь более сложное выражение, так как массы кусков полезного минерала и породы неодинаковы. Назовем дисперсию массовой доли для точечных проб, состоящих из отдельных кусков, покусковой дисперсией. Эта дисперсия будет максимальной для продуктов с одинаковой массовой долей компонента  $\alpha$ . Обозначим ее  $s_{\max}^2$ .

Пусть проба состоит из  $n$  кусков одного размера, из них  $n_M$  кусков полезного минерала с содержанием  $\beta_M$  определяемого компонента и  $n_P$  кусков пустой породы, не содержащей определяемый компонент. Тогда числовая доля  $p$  кусков полезного минерала

$$p = n_M/n = n_M/(n_P + n_M).$$

Выразим  $\alpha$  через  $p$ , используя формулу (35):

$$\alpha = \beta_M m_M m_P^{-1} / [(n_P + n_M)/n_M + m_M/m_P - 1] =$$

$$= \beta_M m_M m_P^{-1} / (1/p + m_M/m_P - 1). \quad (37)$$

В соответствии с формулой сложного показателя дисперсия массовой доли с учетом выражения (36)

$$s_\alpha^2 = (\partial \alpha / \partial p)^2 s_p^2 = (\alpha^4 / \beta_M^2) (m_P^2 / m_M^2) (1/p - 1) / (n p^2).$$

Из формулы (37) следует

$$1/p = \beta_M m_M / (\alpha m_P) - m_M / m_P + 1.$$

Следовательно

$$s_\alpha^2 = (\alpha^4 / \beta_M^2) (m_P^2 / m_M^2) [\beta_M m_M / (\alpha m_P) - m_M / m_P] \times \\ \times [\beta_M m_M / (\alpha m_P) - m_M / m_P + 1]^2 / n = \\ = (m_M / m_P) \alpha (\beta_M - \alpha) [1 - \alpha / \beta_M + \alpha m_P / (\beta_M m_M)]^2 / n.$$

Учитывая, что размер кусков равен  $d$ , а плотность минерала и породы соответственно  $\rho_M$  и  $\rho_P$ , запишем

$$s_\alpha^2 = (\rho_M / \rho_P) \alpha (\beta_M - \alpha) [1 - \alpha / \beta_M + \alpha \rho_P / (\beta_M \rho_M)]^2 / n.$$

Покусковая дисперсия

$$s_{\max}^2 = (\rho_M / \rho_P) \alpha (\beta_M - \alpha) [1 - \alpha / \beta_M + \alpha \rho_P / (\beta_M \rho_M)]^2. \quad (38)$$

Формулу (38) удобно представить в виде

$$s_{\max}^2 / \beta_M^2 = (\rho_M / \rho_P) (\alpha / \beta_M) (1 - \alpha / \beta_M) [1 - \alpha / \beta_M + \alpha \rho_P / (\beta_M \rho_M)]^2.$$

На рис. 21 приведены зависимости  $s_{\max}^2 / \beta_M^2$  от  $\alpha / \beta_M$  для разных  $\rho_M / \rho_P$ .

Видно, что при  $\alpha \leq (0,05 \div 0,1) \beta_M$  формулу для  $s_{\max}^2$  можно использовать в упрощенной форме

$$s_{\max}^2 = (\rho_M / \rho_P) \alpha \beta_M. \quad (39)$$

Пример. Пусть для медного концентрата  $\alpha = 18\%$ ;  $\beta_M = 34,5\%$ ;  $\rho_M = 4,2$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_P = 2,8$  г/см<sup>3</sup>. Следовательно,  $\rho_M / \rho_P = 1,5$ ;  $\alpha / \beta_M = 18/34,5 = 0,52$ . По рис. 21 находим  $s_{\max}^2 / \beta_M^2 = 0,27$ . Следовательно,

$$s_{\max}^2 = 0,27 \beta_M^2 = 0,27 \cdot 34,5^2 = 321,36 (\%)^2.$$

Для золотой руды  $\alpha = 1$  г/т;  $\beta_M = 10^6$  г/т;  $\rho_M = 18$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_P = 2,8$  г/см<sup>3</sup>. Следовательно,

$$s_{\max}^2 = 18 \cdot 1 \cdot 10^6 / 2,8 = 6,43 \cdot 10^6 (\text{г/т})^2.$$

Для медных хвостов  $\alpha = 0,05\%$ ;  $\beta_M = 34,5\%$ ;

$$s_{\max}^2 = 4,2 \cdot 0,05 \cdot 34,5 / 2,8 = 2,59 (\%)^2.$$

## 20. ЭВОЛЮЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ В ОТДЕЛЬНЫХ КУСКАХ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ИХ РАЗМЕРА

Рассмотрим эволюцию распределения массовой доли определяемого компонента с увеличением крупности кусков.

В связи с концентрацией компонентов руды в виде отдельных зерен, жил, слоев и других текстурных образований распределение массовой доли компонента в отдельных кусках с изменением размера кусков существенно меняется (рис. 22). Обозначим ребра

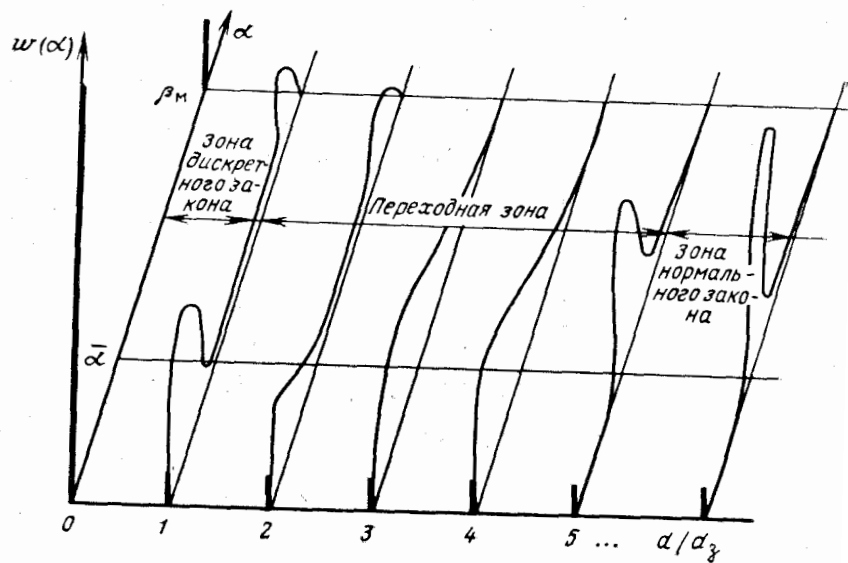


Рис. 22. Распределение массовой доли в отдельных кусках с изменением их размера

кубов, по массам равных массе реального куска, через  $d$ , а отдельного реального зерна определяемого компонента — через  $d_3$ . Куски руды (или продуктов обогащения) имеют различное содержание определяемого компонента, поэтому характеризовать совокупность кусков можно лишь плотностью распределения вероятности.

Пусть  $\alpha$  — среднее значение содержания в опробуемой массе. Очевидно, что при малой крупности материала ( $d \rightarrow 0$ ) в нем содержатся только кусочки чистого минерала и пустой породы. Закон распределения будет дискретным и будет представлен двумя всплесками (см. рис. 22). С увеличением крупности в массиве появятся сростки, а закон из дискретного превратится в непрерывный, но до некоторого значения  $d \approx d_3$  будет близким по своим свойствам (например, значению дисперсии) к дискретному.

Назовем зону, в которой соблюдается условие ( $0 < d \leq d_3$ ), зоной дискретного закона. Дисперсия покускового опробования в зоне постоянна и максимальна  $s_k^2 = s_{\max}^2$ .

С увеличением крупности ( $d > d_3$ ) на законе распределения скажутся характер вкрапленности опробуемого материала или текстурные особенности руды.

И наконец, при сравнительно крупном материале опробуемой массы (разном для разных руд) различия отдельных кусков вызываются невыделяемыми и незамечаемыми отклонениями свойств горной массы. Закон распределения содержания определяемого компонента при этом будет нормальным (или близким к нему).

Переход от дискретного закона к нормальному предопределя-

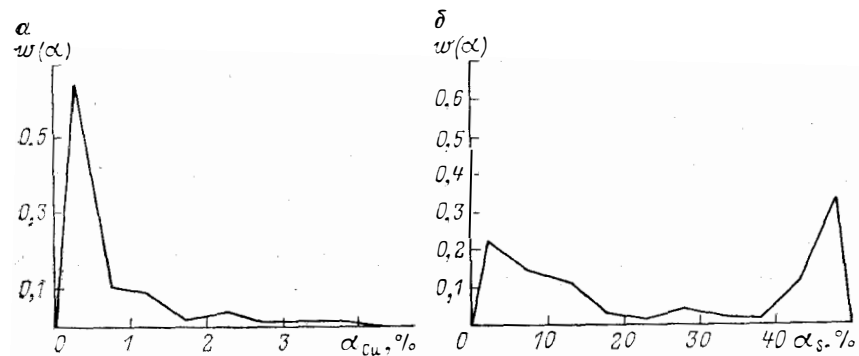


Рис. 23. Распределение меди (а) и серы (б) в кусках руды Ломовского месторождения для класса —25+12 мм

ется свойствами опробуемой массы. Назовем зону этого перехода переходной.

С увеличением размера кусков опробуемого материала (от нуля до максимального) существенно изменяется закон распределения вероятности содержания — от сугубо дискретного с существованием содержания лишь на двух уровнях (0 и  $\beta_m$ ) до нормального, причем это изменение, как и размер кусков, для которых справедлив нормальный закон, предопределяется конкретными свойствами материала.

На рис. 23 даны распределения массовой доли компонентов медно-пиритной руды в кусках крупностью —25+12 мм.

## 21. ДИСПЕРСИЯ ПОКУСКОВОГО ОПРОБОВАНИЯ В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ И В ЗОНЕ НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНА

Закономерность изменения  $s_k^2$  от параметров опробуемой массы, в частности от размеров кусков, поступающих в пробу, предопределяет зависимость параметров опробования от свойств опробуемой массы.

В переходной зоне заметно влияние обычно выделяемых текстурных единиц руды и можно проследить взаимосвязь между некоторыми параметрами закона распределения и размерами зерен  $d_3$ .

Очевидно, что при размере вкрапленности 1 мм ни в одном куске руды крупностью, например, 10 мм не может содержаться определяемого компонента столько же, сколько в куске чистого минерала, т. е.  $\beta_m$ . В таких кусках возможно некоторое максимальное содержание  $\alpha_{\max}$ , обусловленное неоднородностью распределения зерен в массе руды.

Получим выражения для  $\alpha_{\max}$  и  $s_k^2$  для некоторых типичных моделей кусков (рис. 24). Например, для весьма равномерно распределенных в массиве руды редких зерен определяемого компо-



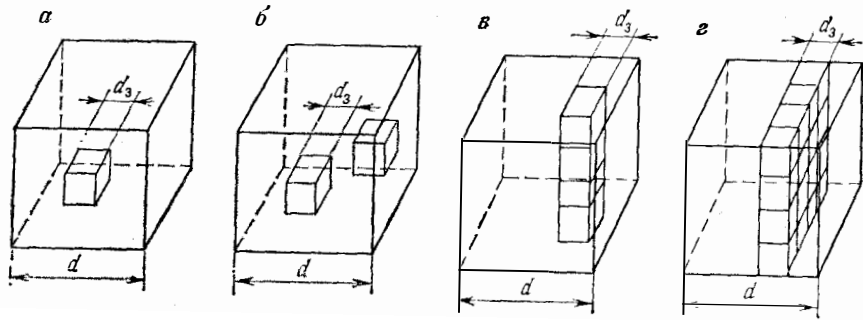


Рис. 24. Типичные модели кусков:  
 а — редкая равномерная вкрапленность; б — неравномерная вкрапленность; в — жильная структура; г — слоистость

нента (например, алмазов) можно представить сохранение дискретного закона распределения с увеличением размера кусков ( $d > d_3$ ) и одновременным уменьшением содержания определяемого компонента в таких кусках (см. рис. 24, а). Назовем такое содержание  $\alpha_{\max}$  в отличие от  $\beta_M$  — содержания определяемого компонента в чистом минерале.

Содержание определяемого компонента  $\alpha_{\max}$  в таких кусках будет функцией размера  $d$  кусков

$$\alpha_{\max} = \rho_M d_3^3 \beta_M / (\rho_{\max} d^3).$$

Следовательно, дисперсию  $s_K^2$  из формулы (39), приняв  $\rho_{\text{п}} = \bar{\rho}$ , запишем в виде

$$s_K^2 = (\rho_{\max} / \bar{\rho}) \alpha \alpha_{\max} = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3^3 / d^3) \alpha \beta_M.$$

Д. А. Краснов в работе [16] показал экспериментально, что при случайном распределении зерен в массиве руды возможна их группировка, которая приводит к появлению в крупных кусках нескольких зерен (см. рис. 24, б). Это число зерен  $n_3$  определяют по формуле

$$n_3 = \sqrt{d^3 / d_3^3}$$

Тогда

$$\alpha_{\max} = n_3 \rho_M d_3^3 \beta_M / (\rho_{\max} d^3) = (\rho_M / \rho_{\max}) (d^{1.5} / d^{1.5}) \beta_M.$$

Изменение  $\alpha_{\max}$  даст дисперсию содержания определяемого компонента в кусках

$$s_K^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d^{1.5} / d^{1.5}) \alpha \beta_M,$$

что соответствует обычным вкрапленным рудам, например цветных металлов, хромовым рудам.

При жильной структуре (типа трубка минерала в массе куска) (см. рис. 24, в) свободные куски минерала, содержащие определяемый компонент, появляются при размере  $d = d_{\text{жилы}}$ . Этот размер можно принять в качестве размера зерна  $d_3 = d_{\text{жилы}}$ . Тогда

число зерен  $n_3$  в кусках крупностью  $d$  можно определить как

$$n_3 = d / d_3.$$

Следовательно

$$\alpha_{\max} = n_3 \rho_M d_3^3 \beta_M / (\rho_{\max} d^3) = (\rho_M / \rho_{\max}) (d_3^2 / d^2) \beta_M.$$

$$s_K^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3^2 / d^2) \alpha \beta_M.$$

Для слоистой структуры (см. рис. 24, г) свободные зерна появляются при размере кусков, равных толщине слоев минерала, содержащего определяемый компонент, т. е. при  $d = d_{\text{слоя}}$ . Этот размер можно принять в качестве размера зерна  $d_3 = d_{\text{слоя}}$ . Тогда

$$n_3 = d^2 / d_3^2.$$

Соответственно

$$\alpha_{\max} = n_3 \rho_M d_3^3 \beta_M / (\rho_{\max} d^3) = (\rho_M / \rho_{\max}) (d_3 / d) \beta_M;$$

$$s_K^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3 / d) \alpha \beta_M.$$

Для руд, состоящих из кусков ценного минерала и пустой породы (например, россыпное золото, уголь, разубоженная руда), переходная зона отсутствует, и для них всегда

$$s_K^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) \alpha \beta_M.$$

Обобщая все случаи, можно записать общие формулы для  $\alpha_{\max}$  и  $s_K^2$ :

$$\alpha_{\max} = (\rho_M / \rho_{\max}) (d_3^{3-b} / d^{3-b}) \beta_M; \quad (40)$$

$$s_K^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3^{3-b} / d^{3-b}) \alpha \beta_M, \quad (41)$$

где  $b$  — коэффициент, зависящий от типа руды ( $b=0$  для равномерных вкрапленных руд;  $b=1$  для жильных руд;  $b=1,5$  для вкрапленных руд;  $b=2$  для слоистых руд;  $b=3$  для руд, содержащих всегда отдельные куски ценных компонентов и породы).

Переходная зона определяется значениями  $d_3$  и  $d_b$ . Переходная зона заканчивается при  $\alpha_{\max} = h\alpha$ , где  $h > 1$  (например, 1,05), когда действие выделенной регуляторной составляющей становится равной влиянию случайной составляющей:

$$\alpha_{\max} = h\alpha = (\rho_M / \rho_{\max}) (d_3^{3-b} / d_b^{3-b}) \beta_M.$$

Отсюда

$$d_b = d_3^{3-b} \sqrt{(\rho_M / \rho_{\max}) [\beta_M / (h\alpha)]}.$$

В связи с колеблемостью выделяемых текстурных элементов  $d_3$  необходимо учитывать плотность распределения вероятности  $\omega(d_3)$ .

Тогда

$$\alpha_{\max} = \int_0^{d_{3\max}} (\rho_M / \rho_{\max}) (d_3^{3-b} / d^{3-b}) \beta_M \omega(d_3) d d_3.$$

Приняв, что  $\omega(d_3) = 1/d_{3 \max}$ , имеем при  $d_{3 \max} = 2\bar{d}_3$  из выражения (40)

$$\alpha_{\max} = [2^{3-b}/(4-\theta)] (\rho_M/\rho_{\max}) (\bar{d}_3^{3-b}/d^{3-b}) \beta_M. \quad (42)$$

Следовательно, и дисперсия покускового отбора проб из выражения (41)

$$s_{\kappa}^2 = [2^{3-b}/(4-\theta)] (\rho_M/\bar{\rho}) (\bar{d}_3^{3-b}/d^{3-b}) \alpha \beta_M. \quad (43)$$

Значение дисперсии покускового опробования  $s_{\kappa}^2$ , найденное по формулам (41) и (43), будет несколько завышенным, так как формулы получены в предположении дискретного распределения, которое в переходной зоне видоизменяется.

На рис. 25 представлены зависимости изменения относительных величин  $\alpha_{\max}/\beta_M$  и  $s_{\kappa}^2/\beta_M^2$  от изменения относительного размера кусков  $d/d_3$  для различных моделей кусков. Соответствующие формулам (42) и (43) преобразованные формулы будут следующими с учетом формулы (13):

$$\alpha_{\max}/\beta_M = A_B (\rho_M/\rho_n) / [1 + A_B (\rho_M/\rho_n - 1)];$$

$$A_B = [2^{3-b}/(4-\theta)] (\bar{d}_3^{3-b}/d^{3-b});$$

$$s_{\kappa}^2/\beta_M^2 = A_B (\rho_M/\bar{\rho}) (\alpha/\beta_M).$$

Зависимости построены для отношений  $\rho_M/\rho_n = 2$  и  $\alpha/\beta_M = 0,05$ .

С целью определения возможности использования аналитической формулы дисперсии покускового опробования для сростков на медно-цинковой руде экспериментально определяли распределения массовой доли в кусках различной крупности  $s_{\kappa j}^2$

$$s_{\kappa j}^2 = (\rho_{\max j}/\rho_n) \alpha (\alpha_{\max j} - \alpha) [1 - \alpha/\alpha_{\max j} + \alpha \rho_n / (\alpha_{\max j} \rho_{\max j})]^2. \quad (44)$$

Для  $j$ -го класса определяли  $\alpha_{\max}$ , значение кумулятивной функции распределения, которому соответствует найденное  $\alpha_{\max}$  (табл. 14).

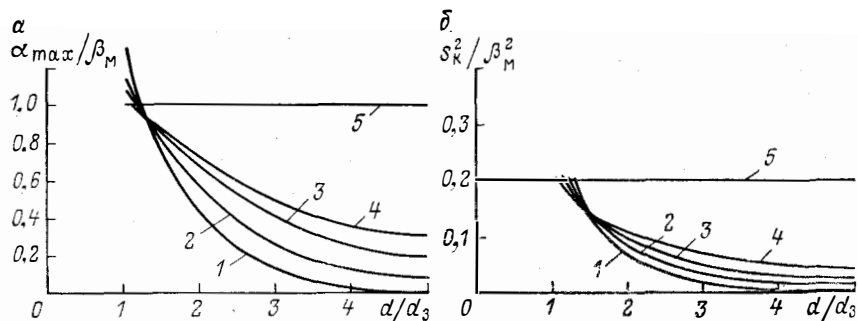


Рис. 25. Закономерности изменения  $\alpha_{\max}/\beta_M$  (а) и  $s_{\kappa}^2/\beta_M^2$  (б) от относительного размера кусков  $d/d_3$ :

1—5 — соответственно при  $b$ , равном 0; 1; 1,5; 2; 3

Результаты определения  $s_{\kappa j}^2$ ,  $\alpha_{\max j}$  и значение кумулятивной функции распределения по массовой доле  $p_j$

Класс крупности, мм	Медь			Цинк		
	$s_{\kappa j}^2$ , (%) <sup>2</sup>	$\alpha_{\max j}$ , %	$p_j$ , %	$s_{\kappa j}^2$ , (%) <sup>2</sup>	$\alpha_{\max j}$ , %	$p_j$ , %
-50+25	13,02	7	94	157,9	25	84
	0,43	1,35	88	19,32	4,2	71
-25+13	13,22	6,70	91	55,6	14	89
	2,36	2,9	92	15,03	3,7	72

Примечание. В числителе приведены данные для вкрапленных руд, в знаменателе — для сплошных.

Во всех случаях значение кумулятивной функции распределения, соответствующее  $\alpha_{\max}$ , не превышает 95%. Следовательно, приняв  $s_{\kappa j}^2$  в диапазоне кумулятивной функции распределения 90—95%, будем получать результаты расчета  $s_{\kappa}^2$  по формуле (44), близкие к экспериментальным.

В зоне нормального закона куски опробуемого материала столь велики ( $d > d_B$ ) по сравнению с размерами отдельных текстурных составляющих руды, что нельзя связать их свойства с размерами этих составляющих. Различия в составе кусков зависят от многих мелких неоднородностей распределения определяемых компонентов в руде. Единственным возможным способом определения плотности распределения вероятностей в этом случае является экспериментальный. Для этого необходимо определить содержание определяемого компонента в  $n$  кусках необходимого размера и вычислить среднее взвешенное содержание  $\alpha$  и дисперсию среднего взвешенного  $s_{\alpha}^2$ .

Для зоны нормального закона распределения дисперсия покускового опробования определяется экспериментально анализом содержания определяемого компонента в  $n$  кусках одинакового, но больше предельного размера.

## 22. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА МОДЕЛИ РУДЫ

Обычно опробуемые продукты не соответствуют в точности какой-либо выделенной модели куска. Поэтому в конкретных условиях необходимо выполнение экспериментальных работ, позволяющих определить параметры  $d_3$  и  $b$ , входящие в формулу дисперсии покускового опробования.

Для их определения необходимо построить экспериментальную зависимость  $s_{\kappa}^2 = f(d)$ , для чего отобранную пробу следует расщепить на возможно более узкие классы. В каждом классе отобрать

100—400 кусков и в каждом куске определить массовую долю определяемого компонента  $\alpha_{ji}$ . Здесь индекс  $j$  соответствует номеру класса, а индекс  $i$  — номеру куска в этом классе. Для каждого класса вычисляют дисперсию

$$s_{kj}^2 = \sum_{i=1}^{n_j} (\alpha_{ji} - \bar{\alpha}_j)^2 / (n_j - 1).$$

Если размеры кусков в  $j$ -м классе малы и одного куска для определения массовой доли недостаточно, то анализ выполняется для  $m$  кусков с последующим пересчетом

$$\bar{s}_{kj}^2 = m s_{mj}^2, \quad (45)$$

где  $s_{mj}^2$  — дисперсия массовой доли, определяемая по результатам определения массовой доли в среднем для  $m$  кусков.

При определении массовой доли в куске при современных методах анализа каждый кусок следует измельчить и из измельченной массы приготовить навеску. Для мелких классов измельчают для каждого  $i$ -го измерения  $m$  кусков с последующим подсчетом дисперсии по формуле (45).

Дальнейший расчет выполняется с помощью рис. 26. На средних размерах узких классов  $\bar{d}_j$  строим экспериментальную зависимость  $s_{kj}^2(d) = f(d)$ .

Значение  $s_{kj}(0)$  определяется аналитически по формуле дисперсии покускового опробования для вскрытого продукта (точка А):

$$s_{kj}^2(0) = s_{\max}^2 + s_M^2;$$

$$s_{\max}^2 = (\rho_M / \rho_P) \alpha (\beta_M - \alpha) [1 - \alpha / \beta_M + \alpha \rho_P / (\beta_M \rho_M)]^2.$$

Значение  $s_{kj}^2(\infty)$  должно соответствовать аппаратурной дисперсии метода определения массовой доли (не включающего дисперсию отбора аналитической навески) — точка В.

Через точки А и В проводим горизонтальные линии. Идеальный вид зависимости  $s_{kj}^2(d)$  таков. Вначале имеется горизонтальный отрезок на уровне  $s_{kj}^2(0)$ , который должен продолжаться до размера куска  $d$ , равного размеру зерна  $d_3$  (отрезок АС на рис. 26). Затем дисперсия  $s_{kj}^2$  начнет снижаться в соответствии с типом модели кусков и плавно приближаться к величине  $s_{kj}^2(\infty)$  (кривая СF). В реальных условиях размеры зерен неодинаковы. При любых размерах кусков, больших нуля, будут наблюдаться сrostки, поэтому экспериментальные значения  $s_{kj}^2$  будут сразу меньше  $s_{kj}^2(0)$  и не будут лежать на горизонтальной линии АС, однако общий характер изменения линии СF позволяет графически найти точку С, абсцисса которой и будет соответствовать условному размеру зерна для опробуемой руды.

Значение  $b$  для полученных экспериментальных данных может быть найдено аналитически и графически.

Рис. 26. К объяснению способа определения  $d_3$  и  $b$

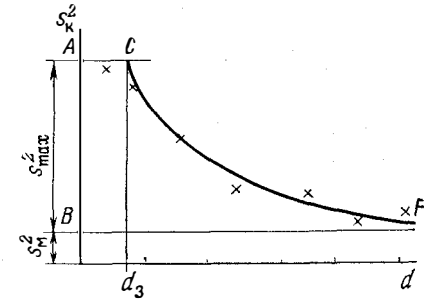
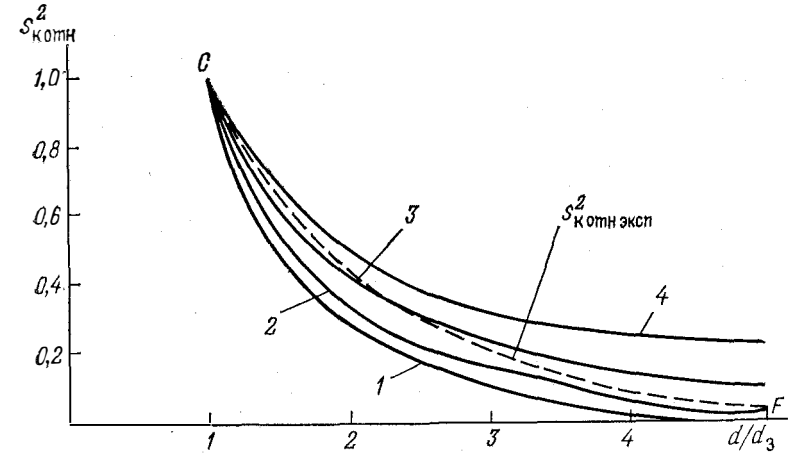


Рис. 27. Номограмма для графического определения  $b$ :

$1-d-b$  соответственно равно 0; 1; 1,5; 2



Для различных классов может оказаться, что среднее значение в классах будет резко отличаться, тогда следует взять и усреднить несколько проб. Если же  $\bar{\alpha}_j$  существенно меняется с размером кусков, то предложенная модель будет неработоспособна.

Для графического определения  $b$  следует воспользоваться номограммами  $s_{kj}^2(d)$  для различных  $b$  (рис. 27). Номограммы следует строить по выражению (41), для  $\alpha < (0,05 \div 0,1) \beta_M$

$$s_{kj}^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3 / d)^{3-b} \alpha \beta_M.$$

Удобно дисперсию откладывать в безразмерной форме

$$s_{kj}^2 / \beta_M^2 = (\rho_M / \bar{\rho}) (d_3 / d)^{3-b} (\alpha / \beta_M).$$

На рис. 27 номограммы построены для  $\alpha / \beta_M = 0,01$  и  $\rho_M / \bar{\rho} = 2$ , т. е. графики соответствуют выражению

$$s_{kj}^2 / \beta_M^2 = 0,02 (d_3 / d)^{3-b}$$

или

$$s_{\text{котн.}}^2 = 0,02 / d_{\text{отн.}}^{3-b}.$$

Изобразив в относительной форме экспериментальную линию СF на рис. 27  $s_{\text{котн.эсп}}^2 = (s_{kj}^2 - s_M^2) / (s_{\max}^2 - s_M^2)$ , выберем, какое

значение  $b$  ближе всего соответствует опробуемой руде. По рис. 27, это значение  $b=1,5$ .

Графический путь удобен наглядностью и тем, что позволяет увидеть моменты перехода моделей кусков от одной формы к другой, если это соответствует руде.

Аналитический путь состоит в подборе на ЭВМ значения  $b$ , при котором минимизируется, например, сумма абсолютных отклонений значений  $s^2_k$  при принятом  $b$  от значений  $s^2_x$  на линии  $CF$ .

### 23. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТОВ В ТОЧЕЧНЫХ ПРОБАХ, СОСТОЯЩИХ ИЗ СЕРИИ КУСКОВ ЧИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

Опробовать любой массив, любой поток можно точечными пробами самой различной массы. Можно точечную пробу взять в виде одной пылинки, а можно в виде совокупности кусков, составляющих массу пробы в сотни и тысячи килограммов.

Отбор в точечную пробу одного куска или его части можно считать крайним случаем опробования. Другой крайний случай — отбор в пробу всего опробуемого массива. Все остальные случаи отбора проб являются промежуточными между двумя указанными.

При отборе в анализируемую пробу  $n_T$  кусков в ней может оказаться некоторое число  $m$  кусков чистого минерала определяемого компонента. Распределение числовой доли  $p(m, n_T)$  при этом будет подчиняться биномиальному закону распределения

$$p(m, n_T) = \frac{n_T! p^m q^{n_T-m}}{m! (n_T - m)!} \quad (46)$$

Массовая доля компонента в точечной пробе, состоящей из  $n_T$  кусков и содержащей  $m$  кусков определяемого компонента:

$$\alpha_{m, n_T} = m \rho_m d^3 \beta_m / (n_T \rho_n d^3) = m \rho_m \beta_m / (n_T \rho_n)$$

Значение  $m$  проходит весь дискретный ряд чисел от 0 до  $n_T$ .

Распределение массовой доли определяемого компонента в точечных пробах, таким образом, согласно формуле (46), является функцией числа кусков в точечной пробе  $n_T$  и массовой доли определяемого компонента в опробуемом массиве  $\alpha$  (рис. 28).

Доля кусков полезного минерала  $p$  может быть выражена через среднее взвешенное содержание  $\alpha$  определяемого компонента:

$$\alpha = n \rho_m d^3 \beta_m / (N \bar{\rho} d^3) = p (\rho_m / \bar{\rho}) \beta_m;$$

$$\alpha_{m, n_T} = (m/n_T) (\rho_m / \rho_{n_T}) \beta_m,$$

где  $\rho_m, \beta_m$  — соответственно плотность минерала и содержание определяемого компонента в минерале;  $N$  — общее число кусков в массиве;  $\bar{\rho}$  — средняя плотность опробуемого продукта;  $\alpha_{m, n_T}$  —

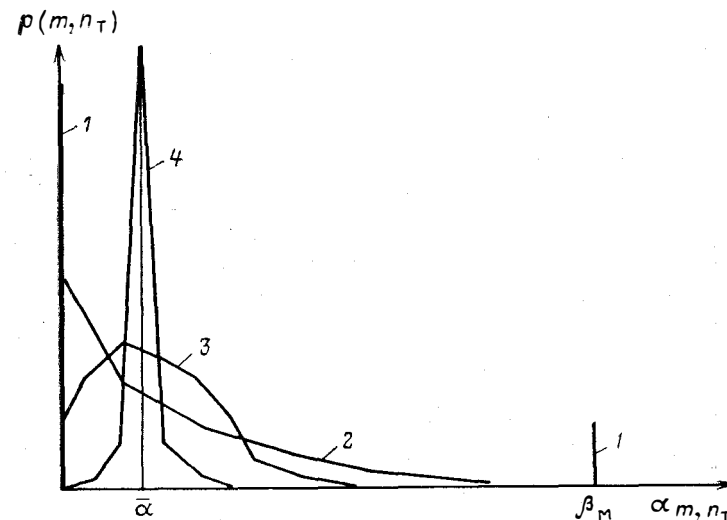


Рис. 28. Изменение распределения массовой доли в точечных пробах с увеличением числа кусочков  $n_T$  в них:  
1—4 — при  $n_T$ , соответственно равном 1; 10; 100; 1000

содержание определяемого компонента в точечной пробе, содержащей  $n_T$  кусков, в том числе  $m$  кусков чистого минерала;  $\rho_{n_T}$  — плотность точечной пробы, состоящей из  $n_T$  кусков.

Отсюда

$$p = (\bar{\rho} / \rho_m) (\alpha / \beta_m);$$

$$q = 1 - p = 1 - (\bar{\rho} / \rho_m) (\alpha / \beta_m).$$

Следовательно, говоря о распределении доли кусков, мы фактически рассмотрели и распределение содержания определяемого компонента в опробуемой массе.

Закон распределения вероятностей содержания определяемого компонента в точечных пробах является функцией числа отбираемых в пробу кусочков, т. е. массы точечной пробы.

Биномиальный закон описывает в указанных условиях распределение содержания определяемого компонента в любом продукте.

Распределение симметрично только для  $p=0,5$ , т. е. для продуктов, содержащих ровно половину кусков определяемого компонента и ровно половину кусков пустой породы.

Для всех остальных случаев, когда  $p \geq 0,5$ , распределение асимметрично: для  $p < 0,5$  (для руды и хвостов) имеет правостороннюю асимметрию (вытянутую вправо ветвь) и для  $p > 0,5$  (для очень богатых руд и концентратов) — левостороннюю асимметрию (вытянутую влево ветвь). Асимметрия тем больше, чем меньше или больше  $p$ , точнее, чем ближе  $p$  к 0 или 1 (рис. 29).

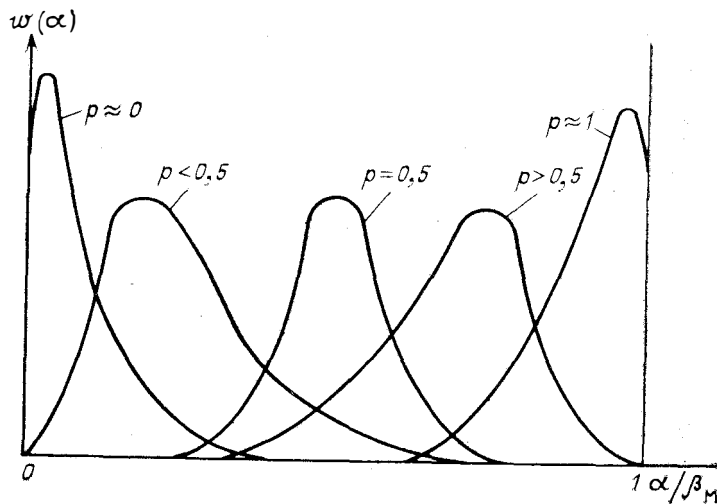


Рис. 29. Распределение массовой доли в точечных пробах с изменением числовой доли кусков определяемого компонента (среднего значения массовой доли) при равном числе кусков в точечных пробах

С увеличением  $n_T$  асимметрия для любых продуктов уменьшается. При достаточно большом  $n_T$  распределение становится близким к нормальному и может быть описано нормальным законом со следующими характеристиками:

$$M(m/n_T) = p;$$

$$n_T \rightarrow \infty$$

$$s_p^2 = pq/n_T = p(1-p)/n_T,$$

где  $M(m/n_T)$  — знак математического ожидания доли кусков определяемого минерала;  $s_p^2$  — дисперсия числовой доли, зависящая от числа зерен в точечной пробе.

Многие исследователи экспериментально получают законы распределения содержания каких-либо компонентов в продуктах обогащения близкими к нормальным. Это является следствием использования больших точечных проб для продуктов с содержанием зерен полезного компонента, не слишком близко приближающимся к 0 или 1. Во многих случаях асимметрия закона распределения такова, что обычно используемые пробы приводят к ярко выраженному асимметричному распределению. Для некоторых продуктов это считается нормой, в частности для золото-содержащих продуктов и руд редких металлов [31].

Асимметрия распределения — норма и согласие с нормальным законом — не более как частный случай, хотя для любого продукта при неограниченном увеличении массы точечной пробы можно получить распределение содержания, согласующееся с нормальным законом.

## 24. АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТИПИЧНЫМИ ЗАКОНАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

С целью выполнения различного рода расчетов экспериментально полученные распределения аппроксимируют какими-либо типичными законами.

Для этого используют либо метод моментов, либо метод наименьших квадратов.

Метод моментов заключается в том, что по экспериментальным данным вычисляют моменты распределения и принимают их равными для выбранного теоретического. Под моментами понимают такие характеристики, как среднее арифметическое, дисперсия и т. п.

Содержание определяемого компонента в кусках опробуемой массы колеблется в тех или иных пределах, и законы распределения вероятностей должны описывать содержание компонентов в любой точке оси содержаний. Поэтому переходят к непрерывным распределениям вероятности содержания, обозначаемым  $w(\alpha)$ .

Здесь и в дальнейшем  $\alpha$  будет обозначать содержание полезного компонента в любом продукте, и лишь в случае необходимости будем переходить к традиционным обозначениям содержания в хвостах и концентрате.

Одним из немногих универсальных законов является  $\beta$ -распределение, описываемое формулой

$$w(\alpha_{отн}) = \alpha_{отн}^{a-1} (1 - \alpha_{отн})^{b-1} / \beta,$$

где  $a, b$  — параметры распределения.

Обозначение  $\beta$ -распределение общепринятое, не имеющее соответствия обозначению содержания металла в концентрате. При  $a > b$  распределение имеет левостороннюю асимметрию; при  $b > a$  — правостороннюю; при  $a = b$  распределение симметрично.

При  $a > 1, b > 1$  распределение одновершинное с максимумом в точке

$$Mo(\alpha_{отн}) = (a-1)/(a+b-2),$$

где  $Mo$  — знак моды распределения.

При  $a < 1, b \geq 1$  распределение имеет вид убывающей функции; при  $a \geq 1, b < 1$  — возрастающей к  $\alpha_{max}$  функции.

Аппроксимация симметричных распределений осуществляется с помощью нормального закона

$$w(\alpha) = \{s_\alpha \sqrt{2\pi} \exp [(\alpha - \bar{\alpha})^2 / (2s_\alpha^2)]\}^{-1}.$$

Аппроксимация правосторонних распределений производится гамма-распределением

$$w(\alpha) = b^a \alpha^{a-1} e^{-b\alpha} / \Gamma(a),$$

где  $\Gamma(a)$  — гамма-функция параметра  $a$ .

При  $a > 1$  кривая распределения имеет моду

$$M_0(\alpha) = (a - 1)/b = \bar{\alpha} - s_{\alpha}^2/\bar{\alpha}.$$

При  $0 < a \leq 1$  кривая непрерывно убывает.

Гамма-распределение хорошо описывает асимметричные распределения бедных продуктов, в частности руд и хвостов благородных и редких металлов.

Обычно проверяют, согласуется ли получаемое теоретическое распределение, найденное по методу моментов, экспериментальному, используя критерий согласия  $\chi^2$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - nP_i)^2 / (nP_i),$$

где  $n_i$  — экспериментально полученное число проб в  $i$ -м интервале изменения  $\alpha$ ;  $n$  — общее число проб;  $P$  — теоретическая вероятность попадания изучаемой величины в  $i$ -й интервал;  $nP_i$  — число данных, соответствующее теоретическому распределению;  $k$  — число интервалов на оси абсцисс.

Теоретическую вероятность  $P_i$  определяют по теоретическому закону

$$P_i = \Phi(\alpha_{i+1}) - \Phi(\alpha_i),$$

где  $\Phi(\alpha_{i+1})$  и  $\Phi(\alpha_i)$  — интегральные функции распределения вероятностей соответственно при значениях  $\alpha_{i+1}$  и  $\alpha_i$ .

Для определения  $\Phi(\alpha)$  необходимо обращаться к таблицам соответствующих законов.

Интервалы для экспериментального распределения подбирают так, чтобы в любом интервале  $n_i$  было больше 5.

После нахождения расчетного значения критерия  $\chi^2_p$  подбирают по таблицам  $\chi^2$ -распределения табличное значение  $\chi^2_T$  при принятой доверительной вероятности и числе степеней свободы  $j = k - 1$ . Если  $\chi^2_p > \chi^2_T$ , то теоретический закон распределения не соответствует экспериментальным данным и следует искать более подходящий этим данным закон.

Экспериментально полученные распределения массовой доли. Приведем характерные распределения для различных продуктов и руд (рис. 30).

Кривые распределения содержания золота в пробах (см. рис. 30, а) описывают явление изменения закона распределения с изменением размера точечных проб.

Резко асимметричное распределение содержания олова в руде (см. рис. 30, б) для точечных проб малой массы 1 показывает, насколько сильно изменяется вид кривой распределения с увеличением массы точечных проб 2.

Асимметрия законов распределения продуктов со средним (близким к 0,5) содержанием зерен определяемого компонента сказывается слабее. На рис. 30, в приведены гистограммы и аппроксимирующие их кривые нормального распределения зольности углей.

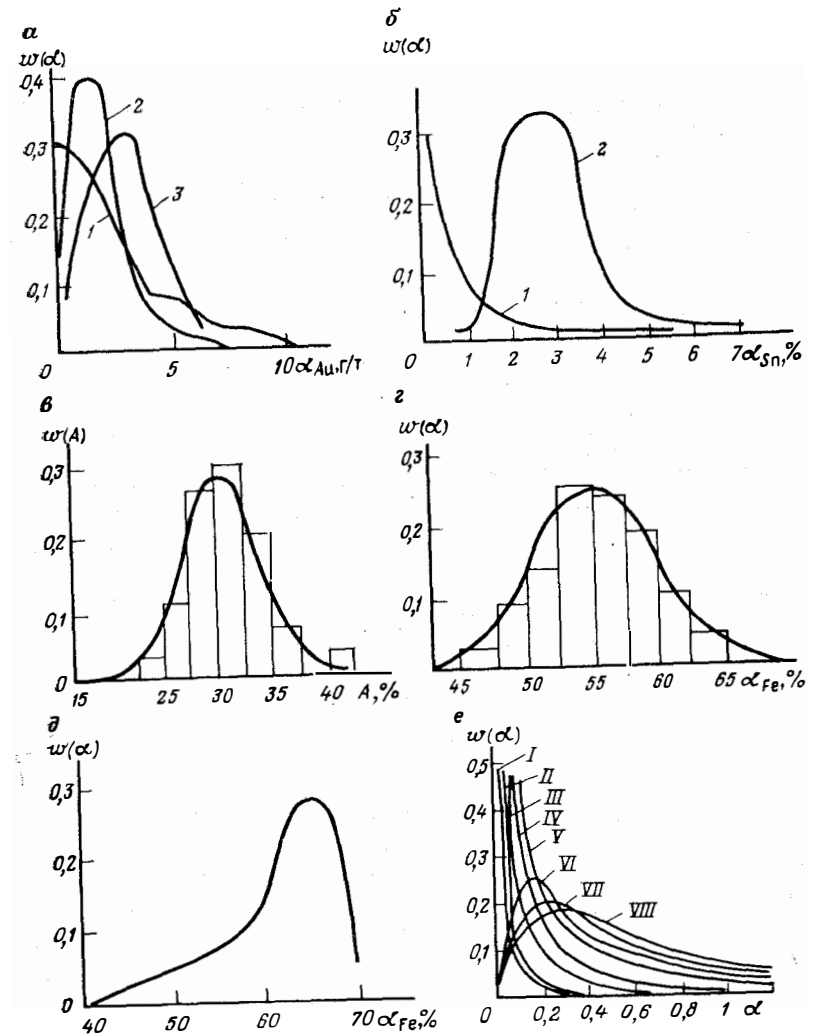


Рис. 30. Экспериментальные распределения массовой доли различных продуктов: а, б — правоасимметричные распределения массовой доли соответственно золота и олова и их эволюция с изменением массы точечных проб: 1 — горстовые пробы; 2 — борздовые пробы; 3 — задирковые пробы; в — симметричное распределение зольности углей; г — симметричное распределение массовой доли железа в руде; д — левоасимметричное распределение массовой доли железа в концентрате; е — правоасимметричные распределения массовой доли асбеста в руде: I—VII — группы асбеста; VIII — общее распределение

На рис. 30, г представлены гистограмма и аппроксимирующая кривая распределения содержания железа в руде для одного из рудников Кривого Рога.

На рис. 30, д представлены распределения железа с сильной левосторонней асимметрией, так как массовая доля железа в этих продуктах приближается к предельной для магнетита.

Редкую возможность для сопоставления связи вида распределения с массовой долей дают распределения в точечных пробах массовых долей асбеста различных сортов. Чем выше сорт асбеста (самый высокий I), тем меньше его в руде и тем более асимметричным при одних и тех же точечных пробах должно быть распределение более высокого сорта. На рис. 30, е приведены распределения асбеста различных сортов, причем массовые доли всех сортов определены при анализе одних и тех же точечных проб [20].

#### 25. ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ И ДИСПЕРСИЮ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Асимметричность законов распределения массовой доли компонентов в продуктах обогащения проявляется специфическим образом в том, что вероятность отклонений разного знака от среднего различна. Это значит, что для руды и хвостов чаще наблюдаются малые отрицательные отклонения и реже — большие положительные.

Широко известные характеристики — математическое ожидание и дисперсия — являются вполне определенными лишь при бесконечном увеличении числа наблюдений (кусков, проб, измерений). Реально никогда не имеется бесконечное число наблюдений, чаще не располагают даже достаточно большим их набором. Так, за смену на обогатительных фабриках даже от основных продуктов отбирают две, четыре и иногда восемь проб. Столь небольшое число данных, используемых при решении задач обогащения, является настолько обычным, что должно соответствующим образом учитываться. Влияние конечного и, как правило, малого числа наблюдаемых единиц информации при опробовании проявляется в том, что результаты группируются не вокруг среднего, а возле некоторого смещенного от среднего значения, меньшего для правоасимметричных распределений и большего для левоасимметричных. Следовательно, при малом числе наблюдений вероятнее будет наблюдаться мода, а не среднее, т. е., определяя среднее при асимметричном распределении по малому числу проб, вероятнее всего будет допущена систематическая погрешность вида

$$\Delta\alpha = M_0(\alpha) - \bar{\alpha}.$$

Назовем такую погрешность вероятной систематической.

Для выделенных в разд. 24 основных типов асимметричных аппроксимирующих распределений вероятная систематическая погрешность будет равна:

для  $\beta$ -распределения (если оно имеет вершину)

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = (a-1)(\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}})/(a+b-2) - (\bar{\alpha} - \alpha_{\text{min}}),$$

где  $a, b$  — параметры распределения.

Если  $\beta$ -распределение имеет вид убывающей функции, то  $\Delta\alpha_{\text{вер}} = -\bar{\alpha}$ , а если имеет вид возрастающей функции и при  $\alpha_{\text{min}} = 0$ , то

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = \alpha_{\text{max}} - \bar{\alpha};$$

для  $\gamma$ -распределения (правосторонняя асимметрия) при  $N\bar{\alpha}^2/s_\alpha^2 > 1$

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = -s_\alpha^2/(N\bar{\alpha}). \quad (47)$$

При  $N\bar{\alpha}^2/s_\alpha^2 \leq 1$

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = -\bar{\alpha}; \quad (48)$$

для логарифмически нормального закона распределения

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = \exp[\ln \bar{\alpha} - 0,5 \ln(1 + s_\alpha^2/\bar{\alpha}^2)] - \bar{\alpha}.$$

На примере  $\gamma$ -распределения покажем характер изменения вероятной систематической погрешности  $\Delta\alpha_{\text{вер}}$  от числа проб  $N$  (рис. 31) [см. формулы (47) и (48)]. Для определения погрешности необходимо знать истинное значение характеристик распределения  $\bar{\alpha}$  и  $s_\alpha^2$ . Эти характеристики следует предварительно определять по большому числу проб либо теоретически.

Вероятность появления указанной вероятной погрешности  $P_{M_0}$  (модальных результатов) в некотором заданном интервале  $2\xi$  является также функцией числа данных

$$P_{M_0} = P[\Delta\alpha_{\text{вер}} - \xi < \Delta\alpha_{\text{вер}} < \Delta\alpha_{\text{вер}} + \xi] = f(N),$$

но с увеличением числа проб  $P_{M_0}$  стремится к 0.

В работах Д. А. Родионова приведена формула, связывающая вероятность занижения  $\Delta P$  содержания с числом точечных проб  $N$  (отдельных кусков):

$$\Delta P = A/(15\sqrt{N});$$

$$\Delta P = P(\bar{\alpha} \leq \alpha_{\text{ист}}) - 0,5,$$

где  $P(\bar{\alpha} \leq \alpha_{\text{ист}})$  — вероятность получения наблюдаемого значения среднего  $\bar{\alpha}$ , меньшего, чем истинное;  $A$  — коэффициент асимметрии исходного распределения массовой доли.

Дисперсия результатов, определяемая по малому числу проб, для асимметричных распределений также является функцией этого числа проб. Общий характер вероятного ее изменения можно описать (см. рис. 31), т. е. при  $N < s_\alpha^2/\bar{\alpha}^2$  как среднее значение, так и выборочная дисперсия, вероятнее всего, будут равны нулю, а затем с увеличением числа проб  $\Delta\alpha_{\text{вер}} \rightarrow 0$ , а дисперсия — к своему истинному значению.

Следует помнить о сути вероятной систематической погрешности. Точно так же, как дисперсия характеризует случайную погрешность, но не позволяет предсказать ее в каждом отдельном опыте, так и вероятная систематическая погрешность, харак-

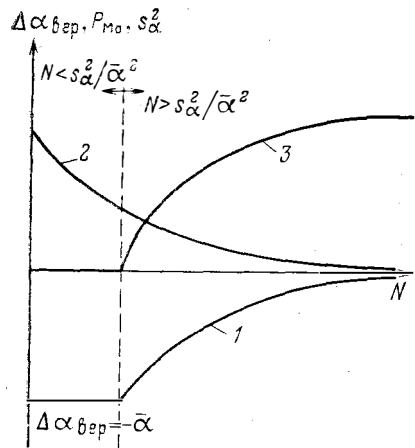


Рис. 31. Зависимость вероятной систематической погрешности  $\Delta\alpha_{\text{вер}}$  (1), вероятности ее появления  $P_m$  (2) и дисперсии выборочной совокупности  $s_{\alpha}^2$  (3) от числа используемых для расчета проб  $N$  ( $N = s_{\alpha}^2 / \bar{\alpha}^2$ )

нее продукт, тем больше вероятное занижение;

завышение выхода концентрата и извлечения по данным технологического баланса;

завышение качества выпускаемого концентрата (если массовая доля минерала в нем более 50 %);

плюсовая невязка товарного баланса либо малая отрицательная невязка в условиях плохого качества ведения процесса;

малая эффективность сокращения проб, в том числе отбора аналитических навесок, обусловленная в отборе малого числа точечных микропорций даже в условиях идеального перемешивания в особенности для бедных продуктов.

## 26. УЧЕТ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Широко известно понятие исключительной пробы. Исключительные пробы иногда называют еще ураганными или высокими пробами.

Современная трактовка учета исключительных проб состоит в том, что при качественной работе с пробами, исключающей их засорение, высокие пробы не рассматриваются как промахи, а как пробы, объективно отражающие свойства опробуемого массива, характеризующегося асимметричным законом распределения, для которого исключительные пробы с определенной вероятностью должны появляться обязательно.

Чисто технические затруднения возникают лишь при определении закона распределения при малом числе проб.

теризуя наиболее вероятные отклонения наблюдаемого по  $N$  пробам результата от среднего для бесконечного числа наблюдений, не дает оснований утверждать, что именно такое отклонение будет в каком-либо конкретном наблюдении.

Понятие вероятной систематической погрешности позволяет объяснить ряд наблюдаемых при опробовании эффектов, предсказать новые и указать недостатки некоторых распространенных приемов отбора и обработки проб.

Так, на основе вероятной систематической погрешности объясняются:

занижение результатов при опробовании бедных продуктов (руд и хвостов), причем чем бед-

нее продукт, тем больше вероятное занижение; пусть, например, получена следующая гистограмма (1) содержания металла в руде (рис. 32, а) при этом получена одна ураганная проба с содержанием  $\alpha_n$ . Очевидно, что в этом случае имеет место асимметричный закон распределения (2), параметры которого на значительном интервале, соответствующем правой ветви кривой, можно установить лишь приблизительно.

Отбрасывать исключительные результаты нет никаких оснований, их следует лишь дополнительно проверить. Лучшее решение в этом случае — накопление данных о законе распределения и описание его с достаточно высокой точностью. Так, Ю. А. Кудрявцевым установлен крайне асимметричный закон распределения содержания золота в пробах и на основе этого закона

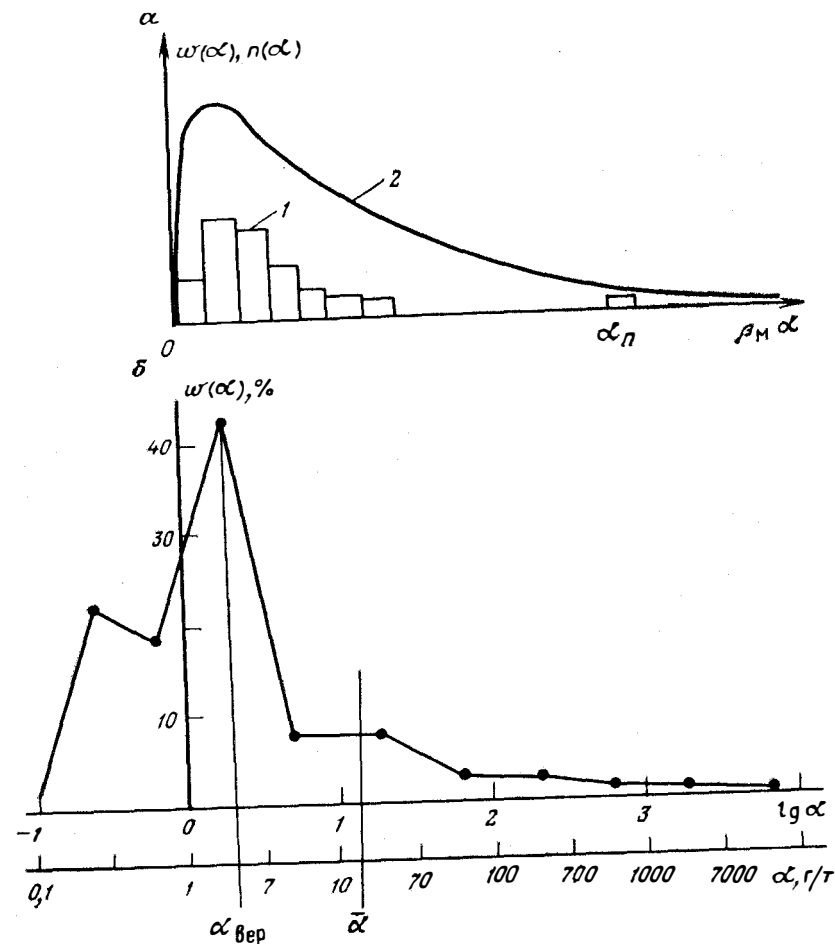


Рис. 32. К учету исключительных показателей:

а — возможные гистограмма 1 и распределение 2 массовой доли; б — практически полученное распределение золота по данным 15 538 проб



найлены правила пересчета результатов анализа ограниченного числа проб для установления близких к истинным средним содержаний. На рис. 32, б приведен закон распределения содержания золота по данным указанного числа проб в логарифмическом масштабе. Даже в этом масштабе он весьма асимметричен. В обычном же масштабе его привести невозможно.

Установлено, что в оценку рассчитанного по  $n$  пробам среднего содержания золота  $\bar{\alpha}_{расч}$  необходимо вводить поправку. Истинное содержание  $\bar{\alpha}_{ист}$  следует определять по формуле

$$\bar{\alpha}_{ист} = k\bar{\alpha}_{расч}.$$

Коэффициент  $k$  — функция числа проб  $n$  и максимального значения содержания золота  $\alpha_{max}$ , попавшего в эти  $n$  проб, и может быть как больше 1, так и меньше 1.

Приведем некоторые значения коэффициента  $k$  для золоторудных месторождений для 30 проб ( $n=30$ ) (по Ю. А. Кудрявцеву):

$\alpha_{max}, \text{ г/т}$	50	100	200	300	400	600	1000	4000	10 000
$k$	3,25	2,12	1,38	1,07	0,9	0,7	0,51	0,22	0,12

Более простой рекомендацией является учет всех исключительных проб в общем расчете среднего содержания с целью компенсации вероятной систематической погрешности. В. Д. Семенюк указывает, что «исключение или замена высоких проб фактически не оправдывается опытом эксплуатации и ведет к искажению оценки месторождений». Недостаток такой рекомендации — ее справедливость только при достаточно большом числе учитываемых проб (это число следует оценивать отдельно и для различных условий оно будет различным), однако благодаря простоте этой рекомендации ее следует учитывать.

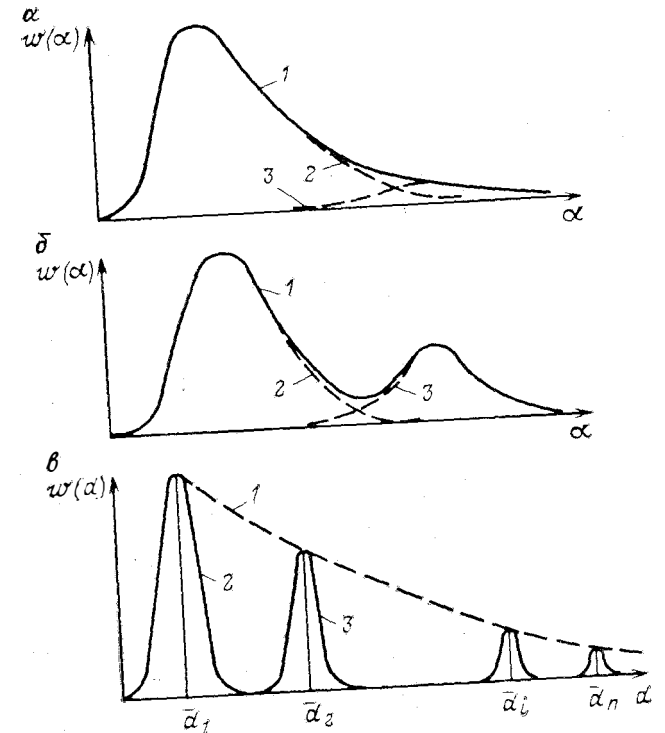
## 27. СВЯЗЬ МЕЖДУ ПОГРЕШНОСТЬЮ ОЦЕНКИ СРЕДНЕГО И ЧИСЛОМ ПРОБ

Ураганные пробы являются объективным следствием асимметричности распределения массовой доли в точечных пробах. Изменить распределение массовой доли можно, если изменить контуры опробуемого массива либо контрольный период. Так, если отдельно опробовать бедную и богатую часть месторождения, склада либо выполнять отдельные опробования для периодов, когда поступает богатая и бедная руда, то можно получить два распределения, каждое из которых значительно менее асимметрично, чем общее.

На рис. 33, а и б показано формирование двух новых распределений 2 и 3 при разбиении исходного массива 1 на две такие части.

Однако такое разбиение возможно, если богатый и бедный массивы можно по каким-либо признакам выделить. Иногда такое

Рис. 33. Формирование асимметричного (а), двухвершинного (б) и многовершинного (в) асимметричных распределений из симметричных распределений



выделение происходит естественным образом в результате особенностей опробуемой рудной массы. Так, если на месторождении встречаются гнезда, например кварца, с кристаллами различных размеров, то распределение размеров кристаллов может иметь специфический многовершинный вид, каждый из всплесков 2, 3 которого соответствует гнезду (или гнездам) кристаллов, по размерам близких к  $\bar{\alpha}_i$  (рис. 33, в). Общая же асимметричность распределения 1 размеров кристаллов будет наблюдаться на фоне таких всплесков. Если  $\bar{\alpha}_i$  будут близки либо отклонения размеров кристаллов в отдельных гнездах будут велики, то фактически будет наблюдаться одно асимметричное распределение. В любом случае важнейшая вычисляемая характеристика — среднее арифметическое — будет соответствовать истинному среднему значению массовой доли с погрешностью, предопределяемой числом проб:

$$\alpha_{ист} = \bar{\alpha} \pm \lambda_{тs\alpha} / \sqrt{N}. \quad (49)$$

Здесь  $\lambda_{тs\alpha} / \sqrt{N}$  — доверительный интервал, который следует находить для рассматриваемого распределения;  $\lambda_{т}$  — квантиль

распределения при заданной доверительной вероятности;  $s_\alpha$  — среднее квадратическое отклонение.

Доверительные интервалы для асимметричных распределений также неодинаковы для положительных и отрицательных отклонений. Поэтому значения  $\lambda_T$  следует находить по таблицам соответствующих распределений разными для знаков «плюс» и «минус» (исключая симметричное нормальное распределение).

Необходимое число проб  $N$  можно определить непосредственно из формулы (49), если задано допустимое отклонение вычисляемого среднего от истинного  $\Delta\alpha = \alpha_{ист} - \bar{\alpha}$ :

$$N = \lambda_T^2 s_\alpha^2 / (\Delta\alpha)^2.$$

Как видим, для этого нужно знать истинную характеристику распределения  $s_\alpha$ , которая, как уже было указано, сама является функцией массы точечной пробы.

Если  $s_\alpha$  неизвестно, то с превышением на 10—20 % оно может быть найдено по формуле дисперсии покусового опробования:

$$s_\alpha^2 = (\rho_{max}/\bar{\rho}) \bar{\alpha} (\alpha_{max} - \bar{\alpha}),$$

где  $\rho_{max}$ ;  $\bar{\rho}$  — плотность пробы соответственно с максимальным и средним значением массовой доли (чаще всего при этом  $\rho_{max} = \bar{\rho}$ );  $\bar{\alpha}$  — среднее ожидаемое значение массовой доли;  $\alpha_{max}$  — максимальное ожидаемое значение массовой доли.

## 28. ФОРМУЛЫ ХАРАКТЕРИСТИК ОПРОБУЕМЫХ МАССИВОВ

Особенность опробования — получение по возможности компактной информации об опробуемом продукте. При этом используют различные показатели, характеризующие массив. Следует подчеркнуть, что эти показатели получают для определенного массива либо для определенного контрольного периода, в рамках которых соответствующим образом распределены  $N$  точечных проб, каждая из которых содержит один или много кусков.

Формулы расчета показателей сведем в табл. 15.

## 29. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТОВ В ТОЧЕЧНЫХ ПРОБАХ

Рассмотренные в гл. IV свойства распределений позволяют сформулировать следующие закономерности.

**Закономерность I.** Распределение массовой доли определяемого компонента в точечных пробах является функцией массы

Таблица 15

Формулы характеристик опробуемых массивов

Показатель	Основная формула	Дисперсия показателя
Массовая доля компонента в массиве, найденная по $N$ пробам (среднее арифметическое)	$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}$	$s_\alpha^2 = s_\alpha^2 / N;$ $s_\alpha^2 = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 / (N - 1);$
Массовая доля компонента, найденная с учетом масс проб $q_i$ (среднее взвешенное)	$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i q_i}{\sum_{i=1}^N q_i}$	$s_\alpha^2 = R_\alpha^2 / N = (\alpha_{max} - \alpha_{min})^2 / N; \text{ если } N \leq 10;$ $R_\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}; \text{ } R_\alpha - \text{размах}$
Коэффициент вариации: массовой доли $V_\alpha$ масс проб $V_q$	$V_\alpha = s_\alpha / \bar{\alpha}$ $V_q = s_q / \bar{q}$ $\Delta\alpha = \bar{\alpha} - \tilde{\alpha}$	$s_\alpha^2 = s_\alpha^2 (1 + 2V_q^2); \text{ } s_\alpha^2 \text{ вав} =$ $= \sum_{i=1}^N c_i (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 = \sum_{i=1}^N (q_i / \sum_{i=1}^N q_i) (\alpha_i - \bar{\alpha})^2$
Разность между средним арифметическим и средним взвешенным	$\Delta\alpha_{вер} = M_0(\alpha) - \bar{\alpha}$	$s\Delta\alpha = \sqrt{2} s_\alpha V_q / \sqrt{N}, \text{ если } r_{\alpha,q} = 0, \text{ где } r_{\alpha,q} -$ коэффициент корреляции между массовой долей компонента в пробе и ее массой

Показатель	Основная формула	Дисперсия показателя
Сводный показатель	$y = f(x_1, \dots, x_m)$ $\bar{y} \approx f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)$	$s_y^2 \approx \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 s_{x_i}^2$
β-распределение	$w(\alpha_{отн}) = \alpha_{отн}^{\alpha-1} (1 - \alpha_{отн}^{b-1}) / \beta(\alpha, b)$	<p>Характеристики распределения:</p> $a = \bar{\alpha}_{отн} \left( \frac{\alpha_{отн} (1 - \alpha_{отн})}{s_{\alpha_{отн}}^2} - 1 \right) > 0;$ $b = (1 - \bar{\alpha}_{отн}) a / \bar{\alpha}_{отн} > 0;$ $\alpha_{отн} = (\alpha - \alpha_{мин}) / (\alpha_{макс} - \alpha_{мин})$ $a - \bar{\alpha}^2 / s_{\alpha}^2 > 0;$ $b = \bar{\alpha} / s_{\alpha}^2 > 0$
γ-распределение	$w(\alpha) = b^{\alpha} \alpha^{b-1} e^{-b\alpha} / \Gamma(b)$	
Нормальное распределение	$w(\alpha) = \frac{1}{s(a)} e^{-\frac{(\alpha - \bar{\alpha})^2}{2s_{\alpha}^2}}$	$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^N \alpha_i / N$
Логнормальное распределение	$w(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{(\ln \alpha - \ln \bar{\alpha})^2} e^{-\frac{(\ln \alpha - \ln \bar{\alpha})^2}{2s_{\ln \alpha}^2}} \times e$	$s_{\alpha} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 / (N - 1)$ $s_{\ln \alpha} = \sum_{i=1}^N (\ln \alpha_i - \ln \bar{\alpha})^2 / (N - 1)$

точных проб, а также массовой доли определяемого компонента и в общем случае асимметрично:

$$w(\alpha) = f(n_T, p) = f(q_T, \alpha).$$

Из этой закономерности вытекают такие важные следствия: распределение массовой доли определяемого компонента в точечных пробах  $w(\alpha)$  при кусковом опробовании  $w_1(\alpha)$  кусками, меньшими размеров зерен ( $d \rightarrow 0$  и  $q_{T1} \rightarrow 0$ ), описывается дискретным законом распределения;

распределение массовой доли определяемого компонента при кусковом опробовании  $w_1(\alpha)$  с увеличением размера кусков изменяет свой вид от дискретного (при  $d \rightarrow 0$ ) до нормального при  $d \gg 0$ , проходя при этом непрерывно все промежуточные формы от дискретного закона до нормального.

**Закономерность II.** Асимметрия плотностей распределения массовой доли определяемого компонента в точечных пробах при ограниченном числе точечных проб приводит к смещенным точечным оценкам средних значений и дисперсий.

При этом существует вероятность получения смещения какого-либо одного знака. Такое смещение для важнейшей характеристики среднего значения  $\bar{\alpha}$  называется вероятной систематической погрешностью  $\Delta \alpha_{вер}$ :

$$\Delta \alpha_{вер} = \alpha_{Mo} - \bar{\alpha}.$$

Из этой закономерности вытекают следующие следствия.

1. Для правоасимметричных распределений вероятная систематическая погрешность отрицательна. Это значит, что содержание определяемых компонентов в руде (если  $p < 0,5$ ) и в хвостах занижается.

2. Для левоасимметричных распределений вероятная систематическая погрешность положительна. Это значит, что содержание определяемого компонента в концентратах (если  $p > 0,5$ ) завышается.

3. Особенность вероятной систематической погрешности — при числе точечных проб, стремящемся к бесконечности, она стремится к нулю.

Следовательно, для руды и хвостов регулярные небольшие занижения массовой доли сопровождаются редкими большими завышениями.

4. Распределение массовой доли определяемого компонента в точечных пробах для вскрытых продуктов (и всегда при  $d \rightarrow 0$ ) описывается биномиальным законом распределения и с увеличением числа кусков в точечной пробе (или ее массы) проходит все стадии от дискретного закона до нормального.

Так как нормальный закон является предельным случаем биномиального при  $n_T \rightarrow \infty$  ( $q_T \rightarrow \infty$ ), для точечных проб ограниченной массы закон распределения представлен какой-либо промежуточной формой, обязательно асимметричной.

Вид промежуточной формы зависит от массовой доли  $\alpha$  определяемого компонента, и чем  $\alpha$  меньше, тем при прочих равных условиях асимметрия закона больше. Для массовой доли минерала  $p < 0,5$  закон распределения имеет правостороннюю асимметрию, для  $p > 0,5$  — левостороннюю. Для  $p = 0,5$  закон распределения всегда симметричен.

5. Распределение массовой доли определяемого компонента в точечных пробах для сростков изменяется с изменением  $n_T$  или  $q_T$  от формы для покускового отбора до нормального закона при  $n_T \rightarrow \infty$ .

6. Распределение массовой доли определяемого компонента для продуктов, содержащих куски разных размеров, формируется как взвешенный по массе закон распределения массовой доли в классах.

**Закономерность III.** Дисперсия покускового опробования является функцией размера зерна  $d_z$ , размера куска  $d$  и его структуры (модели, характеризуемой показателем  $b$ ):

$$s_k^2 = f(d_z, d, b).$$

Из этой закономерности вытекают следствия:

для полностью вскрытых продуктов дисперсия покускового опробования постоянна, максимальна и может быть найдена аналитически;

для сростков дисперсия покускового опробования снижается с увеличением размера кусков. Экспериментально может быть найден средний размер зерен  $d_z$  и характер структуры кусков  $b$ .

## V. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОБ

### 30. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ТОЧЕЧНОЙ И ОБЪЕДИНЕННОЙ ПРОБАМИ

Опробовать массив можно, отбирая пробу в одной точке массива, а также отбирая в пробу части массива в различных точках с последующим объединением этих частей.

Проба, отбираемая таким образом, что в нее попадают расположенные рядом друг к другу куски, называется *точечной*.

Совокупность точечных проб, отобранных в различных местах массива, образует объединенную пробу.

Взаимосвязь и соотношения между точечной и объединенной пробами покажем, выделив дисперсии средних и дисперсии кусков. Изобразим на рис. 34 изменение содержания определяемого компонента в отдельных кусках вдоль некоторой линии длиной  $l$  в опробуемом массиве.

Полную дисперсию массовой доли компонента  $s_\alpha^2$  в опробуемом массиве можно условно представить как сумму дисперсии

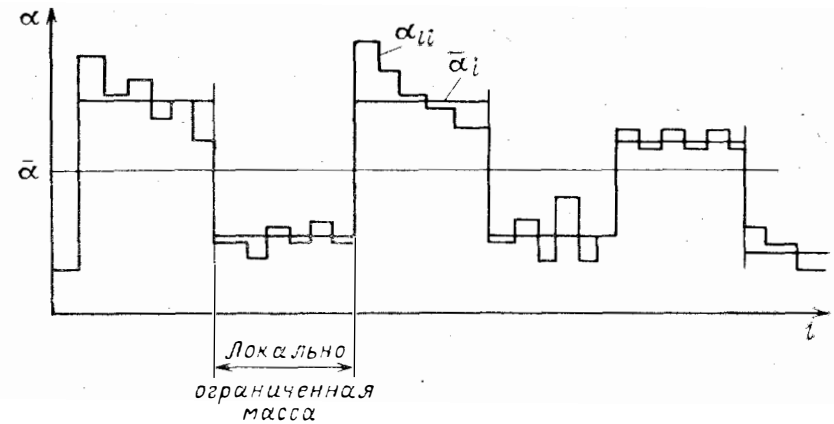


Рис. 34. Изменение массовой доли компонента  $\alpha$  от куска к куску вдоль массива  $l$

средних массовых долей в некоторых локально ограниченных массах  $s_{\text{ср}}^2$  и дисперсии массовых долей в отдельных кусках этих масс  $s_{ki}^2$ :

$$s_\alpha^2 = s_{\text{ср}}^2 + s_k^2,$$

причем

$$s_{\text{ср}}^2 = \sum_i^{N_M} (\bar{\alpha}_i - \bar{\alpha})^2 / (N_M - 1);$$

$$s_{ki}^2 = \sum_i^{n_i} (\alpha_{ei} - \bar{\alpha}_i)^2 / (n_i - 1),$$

где  $N_M$  — число локально ограниченных массивов;  $n_i$  — число кусков в  $i$ -м локально ограниченном массиве;  $\bar{\alpha}$  — средняя массовая доля компонента в опробуемом массиве;  $\bar{\alpha}_i$  — то же, в  $i$ -м локально ограниченном массиве;  $\alpha_{ei}$  — массовая доля компонента в  $i$ -м куске локально ограниченного массива.

Усредним  $s_{ki}^2$ :

$$\bar{s}_{ki}^2 = \sum_i^{N_M} s_{ki}^2 / N_M.$$

Используя правило для дисперсии среднего, получим

$$s_\alpha^2 = \frac{s_{\text{ср}}^2}{N} + \frac{\bar{s}_{ki}^2}{N n_T} = \frac{s_{\text{ср}}^2 + \bar{s}_{ki}^2 / n_T}{N}, \quad (50)$$

где  $N$  — число точечных проб или число учтенных в объединенной пробе локально ограниченных массивов;  $n_T$  — число кусков в точечной пробе.

Формула (50) записана для упрощенного случая, когда все точечные пробы содержат одинаковое число кусков и эти куски одного размера.

Из формулы (50) следует ряд выводов.

Во-первых, наглядно представлено известное правило — увеличение числа точечных проб  $N$  всегда эффективнее влияет на качество результата  $s_{\alpha}^2$ , чем увеличение массы точечной пробы или, что то же самое, числа кусков в ней  $n_T$ . Действительно, увеличение  $n_T$  уменьшает лишь одно слагаемое результата  $s_{\alpha}^2$ , в то время как увеличение  $N$  одновременно снижает влияние обоих слагаемых.

Во-вторых, неоднородный массив, т. е. массив, в котором можно выделить локально ограниченные однородные, но отличающиеся друг от друга массы, следует опробовать только объединенными пробами, содержащими  $N$  точечных проб, в противном случае первое слагаемое  $s_{cp}^2$  в формуле (50) при  $N=1$  не может быть уменьшено.

В-третьих, увеличением массы точечной пробы, т. е. увеличением числа в ней кусков  $n_T$ , можно обеспечить требуемую погрешность опробования лишь для тщательно перемешанного массива, т. е. массива, у которого  $s_{cp}^2 \approx 0$ .

Одно из важнейших следствий формулы (50) — проблему обеспечения допустимой величины  $s_{\alpha}^2$  — можно решить только выбором соответствующего числа точечных проб  $N$ . Число кусков в точечной пробе  $n_T$  или ее масса, следовательно, может быть любой. В этом смысле масса точечной пробы является первичной характеристикой, не зависящей ни от каких факторов, и выбирается исходя из технических соображений.

Могут встречаться случаи, когда число точечных проб  $N$  задано, в частности когда  $N=1$ , т. е. точечная проба является анализируемой пробой. В этом случае необходимое  $s_{\alpha}^2$  достигается выбором  $n_T$ .

Чаще всего техника отбора пробы предопределяет массу точечной пробы. Но оптимальным вариантом всегда будет независимый выбор массы точечной пробы, например, с позиций оптимального пробоотбора.

Характеристики  $s_{cp}^2$  и  $s_k^2$  объективно существуют и для конкретного массива могут быть определены. Допустимая погрешность  $s_{\alpha}^2$  обеспечивается выбором числа точечных проб  $N$  при принятой массе точечной пробы  $q_T$ . Если же  $N$  задано, то допустимая погрешность обеспечивается выбором числа кусков  $n_T$  в точечной пробе. Масса объединенной пробы при этом будет называться минимальной.

В частном случае, когда  $N=1$ , объединенная проба не формируется и точечная проба должна состоять из такого числа кусков  $n_T$ , чтобы погрешность  $s_{\alpha}^2$  была равна заданной. Масса точечной

пробы при этом будет называться минимальной. Реализация этого случая возможна лишь для тщательно перемешанного массива.

### 31. ПОКУСКОВАЯ ДИСПЕРСИЯ И ДИСПЕРСИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ МАССИВА

Выше было указано, что  $s_{cp}^2$  и  $s_k^2$  выделены условно. Рассмотрим их взаимосвязь. Если отбирать точечную пробу сериями, содержащими от одного до очень большого числа кусков и вычислять дисперсию массовой доли определяемого компонента, то можно построить следующие зависимости (рис. 35). Если выполнить анализ каждого куска в массиве и вычислить дисперсию, то она будет максимально возможной  $s_{max}^2$ . С увеличением числа кусков  $n_T$  в точечных пробах, отбираемых по всему массиву, дисперсия будет снижаться. Для однородного (тщательно перемешанного) массива изменение пойдет по закону (кривая 1):

$$s_{\alpha}^2 = s_{max}^2 / n_T.$$

Для неоднородного (тщательно не перемешанного) массива, это изменение будет идти по другому закону (кривая 2):

$$s_{\alpha}^2 = (s_{max}^2 - s_{cp}^2) / (n_T + s_{cp}^2).$$

Выделение  $s_{cp}$  (как хорошо видно по рис. 35) вносит основную условность, так как зависимость  $s_{\alpha}^2$  от  $n_T$  при некотором  $n_T$  хотя и становится довольно пологой, но все же негоризонтальной, так как при  $n_T \rightarrow \infty$   $s_{cp}^2 \rightarrow 0$ . Практически  $s_{cp}^2$  следует принимать такой, когда изменение  $s_{\alpha}^2$  с увеличением  $n_T$  незначительно.

Примем, что  $s_{\alpha}^2$  изменяется незначительно, когда оно достигает уровня  $0,01s_{max}^2$ , тогда число кусков в точечных пробах для установления  $s_{cp}^2$

$$n_T = (s_{max}^2 - s_{cp}^2) / (0,01s_{max}^2) = 100(1 - s_{cp}^2 / s_{max}^2).$$

Наиболее сложный случай будет при  $s_{cp}^2 = 0$ , тогда  $n_T = 100$ .

Таким образом, условно выделяемой дисперсией  $s_{cp}^2$  будет дисперсия, экспериментально определенная с помощью точечных проб, содержащих 100 и более кусков каждая и распределенных по всему опробуемому массиву.

Тогда

$$s_k^2 = s_{max}^2 - s_{cp}^2.$$

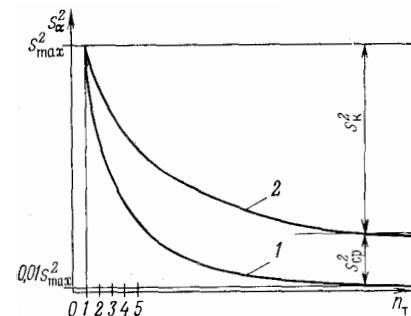


Рис. 35. Изменение дисперсии точечных проб для однородного (1) и неоднородного (2) массивов

Погрешность определения  $s_{\max}^2$ ,  $s_{\text{ср}}^2$  и соответственно  $s_k^2$  зависит от числа отобранных кусков и числа точечных проб и определяется общей формулой погрешности дисперсии

$$s_s^2 = s^2 / (2n - 1),$$

где  $s_s^2$  — дисперсия дисперсии;  $s^2$  — общее обозначение дисперсии;  $n$  — число единиц данных, по которым определена дисперсия  $s^2$ .

Из этой формулы следует, что при отборе в точечную пробу 100 кусков дисперсия  $s_{\text{ср}}^2$  будет определена с относительной погрешностью 0,5 %.

### 32. МИНИМАЛЬНАЯ МАССА ДЛЯ ОДНОРОДНОГО И НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА

Назовем однородным массив, для которого  $s_{\text{ср}}^2 \approx 0$ . Следовательно

$$s_{\alpha}^2 = s_{\max}^2 / (N n_T).$$

Это значит, что для однородного массива безразлично, каким путем обеспечить требуемое значение  $s_{\alpha}$  — увеличением  $n_T$  либо  $N$ . Можно, например, принять  $N=1$ , т. е. отбирать всего одну точечную пробу, рассчитав необходимое в ней число кусков  $n_T$ . Можно, конечно, принять и другое  $N$ , но для однородного массива это непрактично.

Таким образом, для однородного массива

$$s_{\alpha}^2 = s_{\max}^2 / n_T,$$

а минимальная масса однородного массива

$$q_{o.m} = q_k n_T = q_k s_{\max}^2 / s_{\alpha}^2. \quad (51)$$

Здесь  $q_k$  — масса куска;  $s_{\alpha}^2$  — допустимая средняя квадратическая погрешность определения массовой доли  $\alpha$ .

Для описания принципиальной картины примем, что опробуемые массивы содержат одинаковые куски массой  $q_k$ .

Неоднородным назовем массив, для которого  $s_{\text{ср}}^2 \neq 0$ .

Для неоднородного массива

$$s_{\alpha}^2 = (s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 / n_T) / N = s_T^2 / N.$$

Выражение  $s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 / n_T$  равно дисперсии, вычисляемой по результатам опробования массива точечными пробами массой  $q_T$ , т. е. содержащими  $n_T$  кусков, и равной дисперсии точечных проб  $s_T^2$

$$s_T^2 = \sum_i^N (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 / (N - 1) = s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 / n_T,$$

где  $\alpha_i$  — массовая доля определяемого компонента в  $i$ -й точечной пробе;  $N$  — число точечных проб.

Таким образом, требуемое число точечных проб для обеспечения  $s_{\alpha}^2$ :

$$N = s_T^2 / s_{\alpha}^2.$$

Минимальная масса для неоднородного массива

$$q_{n.m} = q_T N = q_T s_T^2 / s_{\alpha}^2. \quad (52)$$

В предельном случае, когда точечную пробу составляет один кусок, эти минимальные массы совпадают. Действительно, если  $q_T = q_k$ , а  $s_T^2 = s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 = s_{\max}^2$ , то формула (52) превращается в формулу (51).

Всегда же в остальных случаях  $q_{n.m} > q_{o.m}$ . Действительно

$$\begin{aligned} q_{n.m} &= q_T s_T^2 / s_{\alpha}^2 = q_k n_T (s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 / n_T) / s_{\alpha}^2 = q_k (n_T s_{\text{ср}}^2 + s_k^2) / s_{\alpha}^2 = \\ &= q_k [s_{\text{ср}}^2 + s_k^2 + (n_T - 1) s_{\text{ср}}^2] / s_{\alpha}^2 = q_k [s_{\max}^2 + (n_T - 1) s_{\text{ср}}^2] / s_{\alpha}^2 = \\ &= q_{o.m} + q_k (n_T - 1) s_{\text{ср}}^2 / s_{\alpha}^2. \end{aligned} \quad (53)$$

Из формулы (53) следует уже отмеченный факт, что при  $n_T = 1$   $q_{n.m} = q_{o.m}$ . При  $n_T > 1$  минимальная масса неоднородного массива увеличивается на величину, предопределяемую массой точечной пробы  $q_T = q_k n_T$  и дисперсией неоднородности массива  $s_{\text{ср}}^2$ :

$$q_{n.m} = q_k s_{\max}^2 / s_{\alpha}^2 + q_k (n_T - 1) s_{\text{ср}}^2 / s_{\alpha}^2.$$

Кратность минимальной массы пробы для неоднородного и однородного массивов будет

$$q_{n.m} / q_{o.m} = 1 + (n_T - 1) s_{\text{ср}}^2 / s_{\max}^2,$$

т. е. с увеличением числа кусков в пробе больше одного кратность растет прямо пропорционально числу кусков с коэффициентом  $s_{\text{ср}}^2 / s_{\max}^2$ , определяющим соотношение дисперсии неоднородности и максимальной дисперсии покускового опробования. Чем больше неоднородность массива, тем сильнее растет минимальная масса с увеличением массы точечной пробы. А так как опробуемые массивы всегда неоднородны, любое увеличение массы точечной пробы приводит к увеличению минимальной массы пробы и наоборот.

Следовательно, оптимальными всегда будут варианты покускового отбора точечных проб с обеспечением в процессе отбора необходимой массы пробы, что исключает ее последующее сокращение.

### 33. ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРОБООТБОР

Если необходимо получить пробу массой  $q_n$ , то, полагая эту массу минимальной, получим, что требуемое число кусков (точечных проб при покусковом отборе)

$$N = q_n / q_k. \quad (54)$$

В то же время при покусковом отборе точечных проб их число с учетом, что в этом случае  $s_T^2 = s_K^2$ , определяют по формуле

$$N = s_T^2 / s_{\alpha \text{ доп}}^2 = s_K^2 / s_{\alpha \text{ доп}}^2. \quad (55)$$

Если известна зависимость  $s_K^2(q_K) = f(q_K)$ , то из уравнения, связывающего выражения (54) и (55):

$$q_n / q_k = s_K^2(q_K) / s_{\alpha \text{ доп}}^2, \quad (56)$$

находим требуемую массу куска  $q_{k, \text{ опт}}$  для покускового опробования, обеспечивающего оптимальный пробоотбор.

Уравнение (56) — уравнение оптимального пробоотбора. Это значит, что, отбирая точечные пробы по одному куску массой  $q_{k, \text{ опт}}$ , в итоге получаем необходимую массу, равную минимальной. При этом будет отобрано оптимальное число точечных проб-кусков:

$$N_{\text{ опт}} = s_{\text{ макс}}^2(q_{k, \text{ опт}}) / s_{\alpha \text{ доп}}^2. \quad (57)$$

Если, например, покусковая дисперсия  $s_{\text{ макс}}^2(q_K)$  не зависит от  $q_K$ , а это соответствует всем вскрытым материалам, т. е. продуктам, состоящим из чистых кусков породы и минерала, то масса точечных проб-кусков

$$q_k = q_n s_{\alpha \text{ доп}}^2 / s_K^2, \quad (58)$$

а их число

$$N = s_K^2 / s_{\alpha \text{ доп}}^2. \quad (59)$$

Формулы (58) и (59) следуют из выражений (56) и (57). Естественно, что точечные пробы-куски должны быть отобраны от всего массива, т. е. соответствующим образом распределены в нем.

В работе [16] Д. А. Краснов сформулировал «парадокс опробования», который состоит, по его мнению, в том, что нет однозначности выбора между массой точечной пробы и их числом.

Этот парадокс мнимый. В связи с наличием трех характеристик объединенной пробы, каждая из которых может быть принята, исходя из условий опробования либо чисто технических соображений, возможны варианты расчетов (табл. 16).

Третий вариант, соответствующий оптимальному пробоотбору, сложнее как в экспериментальном плане, так и в технической реализации, поэтому в чистом виде на обогатительных фабриках он не реализован. Однако этот вариант становится основным при

Таблица 10

Варианты расчета параметров отбора проб и их особенности

Величины	Вариант		
	I	II	III (оптимальный пробоотбор)
Заданные	$q_T; s_{\alpha \text{ доп}}$	$N; s_{\alpha \text{ доп}}$	$q_n; s_{\alpha \text{ доп}}$
Экспериментально определяемые	$s_T^2$	$s_K^2; q_K; s_T^2$	Функция $s_K^2(q_K)$
Вычисляемые	$N = s_T^2 / s_{\alpha \text{ доп}}^2;$ $q_{\text{ нач}} = q_T N = q$	$q_{\text{ нач}} = q_K s_K^2 / (N s_{\alpha \text{ доп}}^2 - s_T^2) = q;$ $q_T = q_{\text{ нач}} / N$	$q_K = q_T;$ из уравнения оптимального пробоотбора $q_K s_K^2(q_K) = q_n s_{\alpha \text{ доп}}^2; N = q_n / q_K$
Принимаемые решения	Если $q_n > q_{\text{ нач}}$ , то принимается $N = q_n / q_T$ . При этом $s_{\text{ рез}} < s_{\alpha \text{ доп}}$	Если $q_n < q_{\text{ нач}}$ , то пробу следует сократить. При этом $s_{\text{ рез}} > s_{\alpha \text{ доп}}$	Следует разработать технические средства, обеспечивающие расчетные значения $q_K = q_T$ и $N$ . При этом $s_{\text{ рез}} = s_{\alpha \text{ доп}}$
	Если $q_n = q_{\text{ нач}}$ , то $s_{\text{ рез}} = s_{\alpha \text{ доп}}$ и косвенно реализован оптимальный пробоотбор	Если $q_n > q_{\text{ нач}}$ , то принимается $q_T = q_n / N$ . При этом $s_{\text{ рез}} < s_{\alpha \text{ доп}}$	

всех видах автоматического аппаратного опробования с помощью различного рода приборов, непосредственно определяющих состав микропорций опробуемой массы без их изъятия. Для этих условий могут быть созданы анализаторы, рассчитанные на анализ  $N$  элементов массива, эквивалентных кускам массой  $q_k$ , что и требует оптимальный пробоотбор. Но в этом же случае необходимая масса может быть принята любой и всегда равной начальной, тогда вариант III переходит в варианты I либо II, конечным результатом расчета которых является  $q_{нач} = q_n$  и, следовательно,  $S_{рез} = S_{\alpha доп}$ . При этом условии также реализуется оптимальный пробоотбор.

#### 34. ОБЩАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ ПРОБЫ ОТ КРУПНОСТИ КУСКОВ ДЛЯ ОДНОРОДНОГО МАССИВА

Общая закономерность изменения минимальной массы от свойств опробуемой массы зависит от закономерности изменения покусковой дисперсии  $s_{max}^2$ .

Эта дисперсия зависит от крупности зерен определяемого компонента  $d_3$  и крупности кусков опробуемой массы  $d$ . Следовательно

$$q_{o.m} = q_k s_{max}^2(d, d_3) / s_{\alpha доп}^2 \quad (60)$$

Дисперсия покускового опробования  $s_{max}^2(d, d_3)$  сложным образом меняется с изменением размера кусков  $d$ .

Таким образом, для любого опробуемого материала можно выделить три зоны отношения  $d/d_3$ , в которых значения и свойства покусковой дисперсии существенно различны, следовательно, различна и связь минимальной массы с размером кусков.

В зоне дискретного закона распределения (примерно в диапазоне изменения  $d/d_3 = 0 \div 1$ ) покусковая дисперсия максимальна и постоянна  $s_d^2$ . Минимальная масса растет пропорционально массе куска, т. е. является функцией размера куска в третьей степени:

$$q_{o.m} = \rho d^3 s_d^2 / s_{\alpha доп}^2 \quad (61)$$

В зоне нормального закона дисперсия изменяется обратно пропорционально массе куска, а минимальная масса неизменна.

Действительно, полагая отклонения в массовой доле компонента отдельных кусков больших размеров случайными, можно записать для дисперсии кусков массой  $q_{k1}$  в  $m$  раз большей массы кусков  $q_{k2}$

$$s_{\alpha k1}^2 = s_{\alpha k2}^2 / m = s_{\alpha k2}^2 / (q_{k1} / q_{k2}) \quad (62)$$

или

$$s_{\alpha k1}^2 q_{k1} = s_{\alpha k2}^2 q_{k2} \quad (63)$$

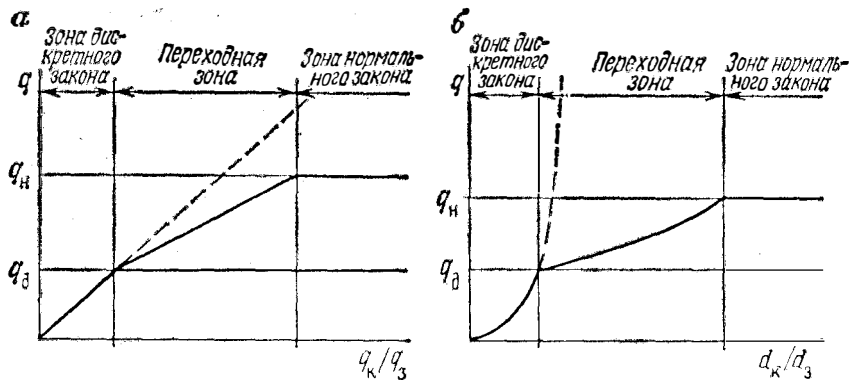


Рис. 36. Зависимость минимальной массы  $q$  от относительных массы куска  $q_k/q_3$  (а) и размера куска  $d_k/d_3$  (б)

Тогда минимальная масса не зависит от массы куска (его размера), т. е. постоянна

$$q_{o.m k1} = q_{k1} s_{\alpha k1}^2 / s_{\alpha доп}^2 = q_{k2} s_{\alpha k2}^2 / s_{\alpha доп}^2 = q_{o.m k2} \quad (64)$$

На рис. 36 эти закономерности изменения минимальной массы от размера кусков отражены в двух вариантах — в зависимости от крупности куска и в зависимости от его массы в соответствии с формулами (60) — (64).

В зонах дискретного и нормального законов вид закономерности предопределен. В зоне дискретного закона это кубическая парабола в зависимости от размера куска и прямая линия с угловым коэффициентом  $s_d^2 / s_{\alpha доп}^2$  в зависимости от массы куска. В зоне нормального закона это горизонтальная линия на некотором неопределенном уровне  $q_n$ , однако не меньшем, чем максимальное значение минимальной массы в зоне дискретного закона  $q_d$ . Для продуктов при любом размере кусков, состоящих из чистых кусков минерала и породы, эта закономерность не выйдет из зоны дискретного закона, но условно этот случай показан штриховой линией и в остальных зонах, показывая для них предел изменения минимальной массы.

Значение  $q_n$  зависит от свойств руды. Между  $q_d$  и  $q_n$  в переходной зоне будет переходная линия, характер которой, как и значение  $q_n$ , будет предопределяться особенностями руды, а именно характером вкрапленности определяемого компонента.

#### 35. ПОЛНЫЕ И РАБОЧИЕ ФОРМУЛЫ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ ПРОБЫ ДЛЯ ОДНОРОДНОГО МАССИВА

Основная формула минимальной массы для однородного массива

$$q_{o.m} = q_k s_{max}^2(d, d_3) / s_{\alpha доп}^2 = \rho d^3 s_{max}^2(d, d_3) / s_{\alpha доп}^2 \quad (65)$$



показывает, что минимальная масса является функцией размера кусков  $d$  и размера зерен  $d_3$ . Допустимую погрешность  $s_{\alpha_{доп}}^-$  будем считать заданной и постоянной.

Известно, что любой опробуемый массив содержит куски разного размера и характеризуется плотностью распределения вероятности крупности  $w(d)$ . Аналогично, вкрапления опробуемого компонента различны по размерам, в связи с чем следует ввести функцию  $w(d_3)$ .

Запись интегральной формулы минимальной массы сделаем исходя из требований пропорциональности минимальной массы для соответствующего размера кусков и вкраплений и доли кусков и вкраплений этого размера, т. е. из формулы (65)

$$q_{о.м} = \int_0^{d_{\max}} \int_0^{d_3^{\max}} \rho d^3 s_{\max}^2 (d, d_3) s_{\alpha_{доп}}^{-2} w(d) w(d_3) d d d_3. \quad (66)$$

Интегральная формула (66) является общей и полной. Конкретизируем эту формулу для различных зон и условий.

В зоне дискретного закона рассматриваются все вскрытые материалы, представленные отдельными кусками различных минералов. Это очень распространенный случай: все россыпные материалы (золото, алмазы, пески), строительные материалы, кварц, уголь и др.

Для этой зоны размер вкраплений рассматривать не нужно, а  $s_{\max}^2$  постоянная, тогда

$$q_{о.м} = \int_0^{d_{\max}} \rho d^3 s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} w(d) d d = \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} \int_0^{d_{\max}} d^3 w(d) d d. \quad (67)$$

Для любой известной функции  $w(d)$  интеграл в формуле (67) может быть взят, и она может быть записана в любой рабочей форме.

Так, для равномерного распределения зерен по крупности  $w(d) = 1/(d_{\max})$  и минимальная масса будет равна

$$q_{о.м} = \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} \int_0^{d_{\max}} d_{\max}^{-1} d^3 d d = 0,25 \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} d_{\max}^{-1} d_{\max}^4 \Big|_0^{d_{\max}} = 0,25 \bar{\rho} d_{\max}^3 s_{\max}^2 / s_{\alpha_{доп}}^2.$$

Для равномерного закона между средним значением  $\bar{d}$  и максимальным  $d_{\max}$  имеется связь  $d_{\max} = 2\bar{d}$ , тогда

$$q_{о.м} = 2\bar{\rho} \bar{d}^3 s_{\max}^2 / s_{\alpha_{доп}}^2. \quad (68)$$

Для опробуемых классифицированных материалов для равномерного закона

$$w(d) = 1/(d_{\max} - d_{\min});$$

$$q_{о.м} = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \rho s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} d^3 w(d) d d = 0,25 \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} (d_{\max} - d_{\min})^{-1} d^4 \Big|_{d_{\min}}^{d_{\max}} = \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} (2\bar{d}^3 - \bar{d} d_{\min} d_{\max}) = \bar{\rho} s_{\max}^2 s_{\alpha_{доп}}^{-2} a \bar{d}^3.$$

Если  $d_{\min} = 0$ , то имеем формулу (68), если  $d_{\max} = d_{\min}$ , т. е. опробуется весьма узкий класс, то получим формулу массы для узкого класса ( $a = 1$ )

$$q = \bar{\rho} \bar{d}^3 s_{\kappa}^2 / s_{\alpha_{доп}}^2. \quad (69)$$

Следовательно, коэффициент  $a$  при  $\bar{d}^3$  изменяем от 1 для узкого класса до 2 для равномерно распределенного по крупности материала, причем все остальные случаи распределения  $w(d)$  укладываются в этот диапазон.

Формулы (68) и (69) справедливы для всех вскрытых продуктов, т. е. для концентратов, хвостов, разубоженных продуктов.

Для зоны нормального закона, в которую закономерности входят с дисперсией, равной дисперсии случайных отклонений, имеем

$$s_{\kappa}^2 = s^2 / n_{\kappa},$$

где  $s_{\kappa}^2$  — дисперсия покускового опробования для крупности  $d_b$ ;  $n_{\kappa}$  — кратность кусков руды, больших  $d_b$  [ $n_{\kappa} = \bar{\rho} d_b^3 / (\bar{\rho} d_b^3)$ ].

Тогда

$$q = 2 s_{\kappa}^2 \bar{\rho} \bar{d}^3 / s_{\alpha_{доп}}^2 = 2 \bar{\rho} d_b^3 s_{\kappa}^2 / s_{\alpha_{доп}}^2,$$

т. е. для любой крупности, большей  $d_b$ ,  $q$  не зависит от  $d$ . Для экспериментального определения минимальной массы для зоны нормального закона можно отобрать куски крупностью, заведомо превышающей  $d_b$  (например,  $\bar{d}_3$ ), и определить для них  $s_3^2$ , после чего найти минимальную массу пробы

$$q = 2 \bar{\rho} \bar{d}_3^3 s_3^2 / s_{\alpha_{доп}}^2. \quad (70)$$

Найденная  $s_3^2$  не учитывает разубоживание  $r$ . Если поэтому в последующем в опробуемую массу попадут куски пустой породы, т. е. произойдет разубоживание, то  $s_3^2$  следует увеличить на  $s_p^2$ :

$$s_p^2 = \alpha^2 r (1 - r).$$

В итоге

$$q = 2 [s_3^2 + \alpha^2 r (1 - r)] \bar{\rho} \bar{d}_3^3 / s_{\alpha_{доп}}^2. \quad (71)$$

В зоне действия нормального закона минимальная масса пробы не зависит от крупности опробуемого материала [см. формулы (70) и (71)].

Минимальная масса в переходной зоне для выделенных моделей кусков с учетом распределенности размеров зерен по формулам (43) и (65) для кусков крупности  $d$

$$q(d) = [2^{3-b}/(4-b)] (\rho_m/\bar{\rho}) (d_3^{3-b}/d^{3-b}) \alpha \beta_m \bar{\rho} d^3 / s_{\alpha \text{доп}}^2$$

Для закона распределения  $w(d)$ , приняв, что  $d_b \gg d_3$ , интегрирование выполним от 0 до  $d_b$ :

$$q = \int_0^{d_b} [2^{3-b}/(4-b)] \rho_m \alpha \beta_m d_3^{3-b} d^b s_{\alpha \text{доп}}^{-2} w(d) dd$$

Для основного участка переходной зоны  $d_{\text{max}} \gg \alpha$ . Тогда для  $w(d) = 1/d_b$

$$q = [2^{3-b}/(4-b)] \rho_m \alpha \beta_m s_{\alpha \text{доп}}^{-2} d_3^{3-b} d_b^{-1} \int_0^{d_b} d^b dd =$$

$$= [8/(4-b)(b+1)] \alpha \beta_m s_{\alpha \text{доп}}^{-2} \rho_m d_3^{3-b} d_b^{-1}$$

В практике при расчетах желательно иметь простые рабочие формулы. Формулы вида

$$q = kd^\alpha \quad (72)$$

пользуются популярностью именно благодаря своей простоте, хотя при их применении полностью скрыт смысл расчета и неясно, можно ли допускать те или иные отклонения от расчета, а также неясно, к чему все-таки приводит расчет по формуле (72).

Укажем, что основная формула расчета минимальной массы, используемая в настоящей работе, тоже может быть выражена очень просто:

$$q = 2\rho \bar{d}^3 s_k^2(\bar{d}) / s_{\alpha \text{доп}}^2 \quad (73)$$

где  $\bar{\rho}$  — плотность руды;  $\bar{d}$  — средний размер кусков опробуемой массы;  $s_k^2(d)$  — покусковая дисперсия для кусков средней крупности  $d$ .

Однако формула (73) принципиально отличается от формулы (72) тем, что очевидным образом связывает характеристику опробуемого продукта — покусковую дисперсию кусков среднего размера  $s_k^2(\bar{d})$ , допустимую погрешность отбора пробы  $s_{\alpha \text{доп}}^2$  и размер кусков массива  $\bar{d}$  с минимальной массой.

В то же время следует понимать, что формула (73) требует экспериментальной работы не только для определения  $\bar{d}$ , что нужно и для формулы (72), но и для определения  $s_k^2(\bar{d})$ , а также несколько загроблена.

Поэтому в табл. 17 сведены исходные для  $d = \text{const}$  и интег-

Формулы минимальной массы для однородного массива

Основная формула	Интегральная формула	Рабочая формула
$q_{o.m} = \rho d^3 s_{\text{max}}^2(d, d_3) / s_{\alpha \text{доп}}^2$	<p>Общий случай</p> $q_{o.m} = \int_0^{d_{\text{max}}} \int_0^{d_3} \int_0^{s_{\text{max}}^2} \rho d^3 \frac{s_{\text{max}}^2(d, d_3)}{s_{\alpha \text{доп}}^2} w(d) \times$ $\times w(d_3) dd dd_3$	<p style="text-align: center;">—</p>
$q_{o.m} = \rho d^3 s_{\text{max}}^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2$	<p>Для зоны дискретного закона</p> $q_{o.m} = \rho \frac{s_{\text{max}}}{s_{\alpha \text{доп}}^2} \int_0^{d_{\text{max}}} d^3 w(d) dd$	<p>Для <math>w(d) = \frac{1}{d_{\text{max}}}</math></p> $q_{o.m} = 2\rho d^3 s_{\text{max}}^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2$ <p>Для классифицированного материала при <math>d_{\text{min}} \neq 0</math></p> $w(d) = \frac{1}{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}$ $q_{o.m} = \rho s_{\text{max}}^2 (2d^3 - d d_{\text{max}} d_{\text{min}}) / s_{\alpha \text{доп}}^2$ <p>Для <math>\alpha &lt; 0, 1 \beta_m</math></p> $q_{o.m} = 2\rho_m \alpha \beta_m d^3 / s_{\alpha \text{доп}}^2$ <p>Для <math>\alpha &gt; 0, 1 \beta_m</math></p> $q_{o.m} = 2\rho_m \alpha (\beta_m - \alpha) d^3 \times [1 - \alpha / \beta_m + \alpha \rho_m / (\beta_m \rho_m)]^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2$

Основная формула	Интегральная формула	Рабочая формула
В общем случае $q_{о.м} = \rho d^b \frac{s_k^2}{s^2 \alpha \text{ доп}}$	$q_{о.м} = \frac{\rho}{s^2 \alpha \text{ доп}} \int_0^{d_{\max}} s_k^2(d) d^3 \omega(d) d d$	$q_{о.м} = 2\rho \bar{d}_k^3 s_k^2(\bar{d}) / s^2 \alpha \text{ доп}$
Для принятых моделей кусков $q_{о.м} = \frac{2^3-b}{4-b} \cdot \frac{\alpha \beta_M}{s^2 \alpha \text{ доп}} \cdot \frac{\rho_M \bar{d}_3^{3-b}}{\bar{\rho} \bar{d}^{3-b}}$	$q_{о.м} = \int_0^{d_b} \frac{2^3-b}{4-b} \cdot \frac{\alpha \beta_M \rho_M \bar{d}_3^{3-b} d^b \omega(d) d d}{s^2 \alpha \text{ доп}}$	Для $\omega(d) = 1/d_{\max}$ , $\alpha < 0,1 \beta_M$ $q_{о.м} = \frac{\alpha \beta_M}{(4-b)(b+1)} \frac{s^2}{\alpha \text{ доп}} \times$ $\times \rho_M \bar{d}_3^{3-b} d^b;$ $\bar{d}_3 < d < \bar{d}_3^{3-b} \sqrt{\frac{\rho_M \beta_M}{\rho_{\max} \alpha}}$
Для зоны нормального закона $q_{о.м} = 2\rho \bar{d}_5^3 s_5^2 / s^2 \alpha \text{ доп}$		

ральные формулы, по которым можно получить в конкретных случаях упрощенные рабочие формулы, а также рабочие формулы для равномерного распределения крупности пробы.

### 36. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УПРОЩЕННЫХ ФОРМУЛ

В основной рабочей формуле минимальной массы пробы

$$q = 2 \cdot 10^{-6} \bar{\rho} \bar{d}_c^3 s_c^2(\bar{d}_c) / s_{\alpha \text{ доп}}^2$$

неизвестной является дисперсия покускового опробования. Для ее определения необходимо отобрать 50—100 кусочков опробуемого материала размером приблизительно  $\bar{d}_c$ . Отбор следует выполнять, равномерно распределив кусочки по всему опробуемому массиву.

Можно отобрать каким-либо общепринятым способом пробу, соответствующую опробуемому массиву, выделить рассевом узкий класс, близкий к  $\bar{d}_c$ , и отобрать от него сокращением 50—100 кусочков, каждый из которых следует проанализировать на содержание определяемого компонента, после чего  $s_k^2(\bar{d}_c)$  вычисляют по известной формуле дисперсии.

Широко распространены упрощенные формулы вида (72).

Такие формулы для конкретных условий могут быть получены экспериментально, что и отражают все существующие в настоящее время государственные стандарты. Так как ГОСТы разрабатываются на основе экспериментальных работ, в указанных ГОСТами условиях эти формулы пригодны для использования. Недостатком является отсутствие указаний о сопутствующих этим формулам погрешностях. Неправильно также стремление расширить область использования таких формул.

Экспериментальная основа определения коэффициентов  $k$  и  $\alpha$  — широко известная методика П. Л. Каллистова, которая состоит в определении минимальных масс  $q_1$  и  $q_2$  для двух классов крупности опробуемого материала  $d_1$  и  $d_2$ , после чего решением системы двух уравнений

$$\begin{cases} q_{1\min} = k d_1^\alpha; \\ q_{2\min} = k d_2^\alpha \end{cases} \quad (74)$$

определяют неизвестные коэффициенты  $k$  и  $\alpha$ .

Определение минимальных масс  $q_{1\min}$  и  $q_{2\min}$  проводят следующим образом (рис. 37, а). Пробу крупностью  $d_1$  и массой  $Q_1$ , заведомо большей, чем предполагаемая минимальная масса, сокращают пополам. Одну половину делят на 16 порций массой  $q_1$ , измельчают их без сокращения до крупности 0,1 мм и сдают на химический анализ. По 16 результатам анализа вычисляют среднюю квадратическую погрешность  $s_{q_1}$ , вторую половину вновь делят пополам и из четверти исходной массы сокращением формируют 16 проб массой  $q_2$  ( $q_2 = 0,5q_1$ ), вычисляют  $s_{q_2}$  и т. д. В итоге

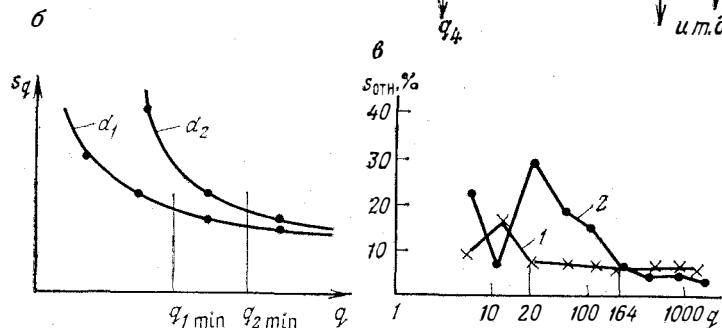
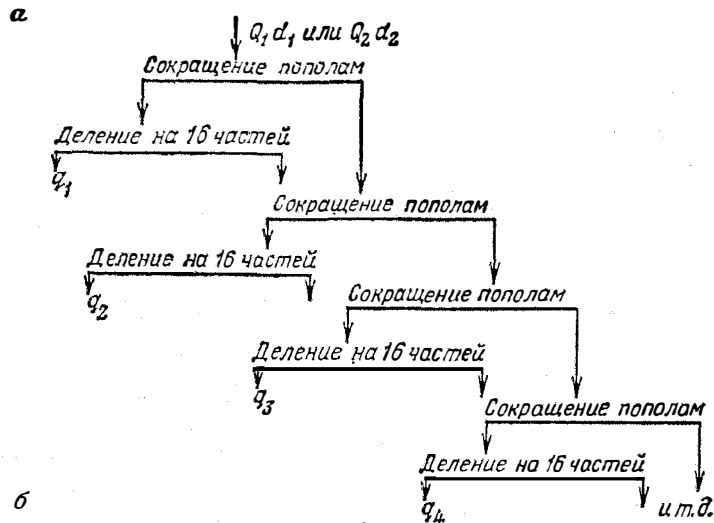


Рис. 37. Экспериментальное определение минимальной массы: а — схема выполнения опытов по методике П. Л. Каллистова; б — предполагаемый вид зависимости погрешности от массы пробы и выделение минимальных масс; в — экспериментальные данные определения параметров формулы минимальной массы для продуктов редких металлов крупностью соответственно 4 (1) и 10 (2) мм

можно для некоторой серии масс  $q_1, q_2, \dots, q_l$  построить зависимость  $s_q$  от массы проб  $q$ . Характерный вид такой зависимости приведен на рис. 37, б для пробы крупностью  $d_1$ . Аналогично проводят работу с другой пробой крупностью  $d_2$  и массой  $Q_2$ , построив зависимость погрешности от массы для крупности  $d_2$ . Минимальную массу пробы устанавливают по графику, считая, что масса, при которой погрешность перестает существенно снижаться, и есть минимальная для данной крупности (например,  $q_{1\min}$  и  $q_{2\min}$  на рис. 37, б).

Приведем результаты применения такой методики для редкометаллических руд [7]. Исходная проба массой 84 кг и крупностью 10 мм сокращена пополам, одна из половинок была раздроблена до крупности 4 мм. Каждая из проб по 42 кг крупностью соответственно 10 и 4 мм обработана по схеме (см. рис. 37, а). Отличие — число параллельных проб (вместо 16 было взято по 8).

На рис. 37, в приведены экспериментально полученные результаты. Было найдено, что для крупности 10 мм минимальная масса составляет 164 г, а для крупности 4 мм — 20 г.

Решив систему по формуле (74)

$$\begin{cases} 0,164 = k 10^\alpha; \\ 0,020 = k 4^\alpha, \end{cases}$$

получим  $k=0,001$  и  $\alpha=2,3$ .

Выполненная таким образом работа показала, что в каждом конкретном случае получаются свои, отличные от других результаты, что найденные коэффициенты  $k$  и  $\alpha$  справедливы лишь в узких интервалах крупности, что общие рекомендации нормативных документов очень грубы и для исследованных случаев завышали минимальную массу пробы в 11—72 раза.

Такие выводы совершенно закономерны, так как закономерность изменения степени при размере кусков в формуле минимальной массы имеет сложный вид и меняется с увеличением размера кусков от 3 до 0, а коэффициент  $k$  очень сильно зависит от допустимой погрешности отбора  $s_{\alpha\text{доп}}^2 = s_{\alpha\text{от}}$ . Сам по себе выбор минимальной массы по экспериментальной ломаной линии также не может быть осуществлен с высокой точностью. Таким образом, были получены коэффициенты  $\alpha$ , равные 1,5—3,1, и коэффициенты  $k$ , равные 0,093—0,0006 соответственно.

Методика П. Л. Каллистова — простейший эксперимент, приспособленный к получению аппроксимирующего уравнения с двумя неизвестными. Остается открытым вопрос даже о форме уравнения, кроме того, остается проблема фиксации минимальной массы, числа параллельных навесок, характер перехода от одной массы к другой и т. п.

Формулы минимальной массы пробы выводят из условия гарантированного совпадения среднего в пробе и в опробуемом массиве в большинстве возможных случаев отбора пробы. Это значит, что формулу минимальной массы нельзя проверить однократным сопоставлением содержаний в пробе и массиве.

Экспериментально рассчитанная масса обычно получается меньше теоретической.

Правильнее сопоставлять средние квадратические отклонения, фактические и допустимые в соответствии с методикой П. Л. Каллистова. Однако и при этом следует помнить, что среднее квадратическое отклонение, найденное по небольшому числу проб, само по себе неточно и характеризуется средней квадратической погрешностью

$$s_{s_\alpha} = s_\alpha (2n - 1)^{-1/2}.$$

Следовательно, если  $n=16$  (как обычно принимают), то

$$s_{s_\alpha} = s_\alpha (2 \cdot 16 - 1)^{-1/2} = 0,2s_\alpha.$$

Это значит, что возможные отклонения от истинного (доверительные интервалы) могут составлять 40—60 %. Для того чтобы зависимости  $s_\alpha$  от  $q$  при использовании этой методики получались достаточно плавными, нужно значительно большее, чем 16, число параллельных проб. Так, например, чтобы отклонения  $s_\alpha$  составляли не более  $\pm 10\%$  (т. е.  $s_{s_\alpha} \leq 0,05s_\alpha$ ), нужно

$$n \geq 0,5 [s_\alpha^2 / (0,05^2 s_\alpha^2) + 1],$$

т. е.  $n \approx 200$ .

Это, конечно, нереально. Поэтому на практике приходится довольствоваться плохими по качеству зависимостями, а о точной фиксации  $q_{\min}$  по методике П. Л. Каллистова при  $n = 16$  говорить не приходится. Так, обычно предлагают принимать минимальную массу, соответствующую практически выположенной ветви зависимости (см. рис. 37, б). Исходя из указанной погрешности этой зависимости, нетрудно представить, что погрешность определения  $q_{\min}$  может быть очень большой и составлять сотни процентов. Методика П. Л. Каллистова имеет скорее методическое, чем практическое, значение и более объясняет суть минимальной массы, чем дает способ ее определения.

### 37. ОБЩАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ ОТ МАССЫ ТОЧЕЧНОЙ ПРОБЫ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА

Минимальная масса для неоднородного массива, как это следует из формулы (53), всегда больше минимальной массы для тщательно перемешанного, т. е. однородного массива, на величину, предопределяемую дисперсией неоднородности массива  $s_{\text{ср}}^2$ :

$$q_{\text{н.м}} = q_{\text{о.м}} + q_{\text{к}} (n_{\text{т}} - 1) s_{\text{ср}}^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2 = q_{\text{о.м}} + (q_{\text{т}} - q_{\text{к}}) s_{\text{ср}}^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2. \quad (75)$$

Следовательно, если рассматривать зависимость минимальной массы для неоднородного массива от массы точечной пробы (рис. 38), то за основу следует взять первое слагаемое формулы (75)  $q_{\text{о.м}}$  как функцию  $q_{\text{т}}$ . Это будет линия  $oabcd$ , уже известная

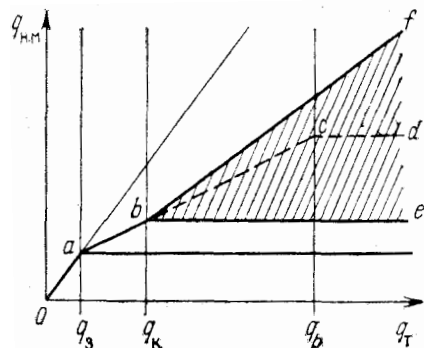


Рис. 38. Общая закономерность изменения минимальной массы от массы точечной пробы для неоднородного массива

по рис. 36 при рассмотрении однородного массива. Линия, естественно, имеет изломы при  $q_{\text{т}} = q_3$  и  $q_{\text{т}} = \rho d^3 b$ .

До тех пор, пока  $q_{\text{т}} < q_{\text{к}}$ ,  $s_{\text{ср}}^2 = 0$  и  $q_{\text{н.м}} = q_{\text{о.м}}$  (линия  $oab$ ). Это равенство следует правильно понимать. Оно справедливо будет лишь в том случае, если все точечные пробы, каждая массой меньшей, чем один кусок, будут равномерно распределены по всему опробуемому массиву. Если мысленно увеличить куски, то получим оставшуюся часть ломаной —  $bcd$ .

Однако, когда в пробу может быть отобрано кусков больше, чем один, возникает неопределенность, зависящая от неоднородности массива.

Если массив тщательно перемешан ( $s_{\text{ср}}^2 = 0$ ), то минимальная масса возрастет не будет и при любой  $q_{\text{т}}$  будет равна  $q_{\text{о.м}}$ , найденной при  $q_{\text{т}} = q_{\text{к}}$  (горизонтальная линия — луч  $be$ ).

Другой крайностью будет весьма неоднородный по качеству массив, когда в каком-либо его месте будут сгруппированы самые богатые куски, а в другом — самые бедные. Тогда величина  $s_{\text{ср}}^2$  будет максимальной, а минимальная масса будет сильно расти, что отражает луч  $bf$ .

Следовательно, фактически зависимость  $q_{\text{н.м}}$  от  $q_{\text{т}}$  будет после точки  $b$  проходить в заштрихованном секторе (см. рис. 38).

### 38. МИНИМАЛЬНАЯ МАССА И ЧИСЛО ТОЧЕЧНЫХ ПРОБ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА

Для неоднородного массива проблема выбора минимальной массы сводится к выбору числа точечных проб принятой массы  $q_{\text{т}}$  по формуле (52).

Следовательно, если  $q_{\text{т}}$  задано, только  $N_{\text{т}}$  предопределяет минимальную массу.

В свою очередь, число точечных проб из формулы (52) является функцией дисперсии массовой доли компонента в точечных пробах массой  $q_{\text{т}}$ :

$$N_{\text{т}} = s_{\text{т}}^2 / s_{\alpha \text{доп}}^2. \quad (76)$$

Допустимое значение погрешности  $s_{\alpha \text{доп}}$  связано с погрешностью, заданной в виде размаха или расхождения между параллельными определениями через параметры нормального распределения. Обычно формируют допустимое отклонение от истинного содержания  $\pm \Delta\alpha$ , имеющее смысл доверительного интервала. Если  $t$  — коэффициент Стьюдента, то

$$s_{\alpha \text{доп}} = |\Delta\alpha| / t.$$

Тогда по формуле (76)

$$N_{\text{т}} = t^2 s_{\text{т}}^2 / (\Delta\alpha)^2.$$

Относительная погрешность  $P$  составляет

$$P = 100 |\Delta\alpha| / \alpha.$$

Тогда дисперсию неоднородности  $s_T^2$  также удобно выразить в относительном виде через коэффициент вариации  $V$  (%):

$$s_T^2 = \alpha^2 V^2 / 100^2.$$

Отсюда

$$N_T = t^2 \alpha^2 V^2 / (100^2 \Delta \alpha^2) = t^2 V^2 / P^2.$$

Для 95 %-ной доверительной вероятности  $t=2$ , тогда

$$N_T = 4V^2 / P^2.$$

Для несимметричных законов распределения отклонение  $+\Delta \alpha$  не равно  $-\Delta \alpha$  при одной и той же доверительной вероятности. Тогда, чтобы обеспечить допустимую погрешность, необходимо принимать  $+\Delta \alpha$  при правосторонней асимметрии и  $-\Delta \alpha$  при левосторонней.

Тогда

$$s_{\alpha_{\text{доп}}} = \Delta \alpha / k;$$

$$N_T = k^2 s_T^2 / (\Delta \alpha)^2 = k^2 V^2 / P^2.$$

Коэффициент  $k$  принимается как квантиль по таблицам соответствующего распределения.

Выполненные Механобром расчеты показали, что практически для наибольшей асимметрии коэффициент  $k$  не превышает 2,38 [12]. Поэтому, понимая, что доверительная вероятность назначается условно, а многие величины в расчетах определены приблизительно, можно за счет незначительного снижения условной доверительной вероятности во всех случаях считать  $k=2$ . Тем более что для удобства рассчитанное значение целесообразно округлять в большую либо меньшую сторону.

Для неоднородного массива основная характеристика — дисперсия точечных проб  $s_T^2$  (коэффициент вариации) может быть определена только экспериментально.

Для того чтобы исключить эту нелегкую и не всегда возможную работу, используют какую-либо связь дисперсии точечных проб с другими априори известными показателями.

Таким показателем в ГОСТах в настоящее время выступает масса. В основе использования массы как показателя неоднородности лежит интуитивное соображение о том, что, чем больше масса, тем труднее ее перемешать и тем неоднороднее она должна быть. Следовательно, чем больше опробуемая масса, тем больше точечных проб следует от нее отобрать. Кроме того, чем больше опробуемая масса, тем ответственнее опробование и тем точнее результат стремятся получить.

В итоге формируются формулы или таблицы, включающие обычно опробуемую массу и в определенной мере массу точечной пробы, проявляющуюся отчасти в коэффициенте вариации  $V$  точечных проб для опробуемого массива.

Так, ГОСТ 14180—80 на руды и концентраты цветных металлов узаконил формулу

$$N_T = 0,075V \sqrt{M},$$

где  $V$  — коэффициент вариации, %;  $M$  — масса, т.

ГОСТ 15054—80 и 16598—80 задают погрешность отбора пробы на железо и марганец как функцию массы. Рекомендуемые этими ГОСТами погрешности отбора проб (%) приведены ниже.

ГОСТ	15054—80	16598—80
Масса партии, тыс. т:		
до 0,5	0,90	0,70
свыше 0,5 до 1	0,78	0,55
1—2	0,70	0,46
2—5	0,59	0,42
5—15	0,49	0,39
15—30	0,45	0,37
30—45	0,42	0,35
45—70	0,40	—
70—100	0,37	—

Число точечных проб, таким образом, определяется как функция массы с использованием формулы (76).

Особенность железных и марганцевых руд позволяет регламентировать средние квадратические отклонения содержания железа (марганца): малая вариация  $s_T=1,25$  % (0,75 %), средняя 1,75 % (1,75 %), большая — 2,5 % (2,25 %).

Согласно ГОСТ 10742—71, для обогащенного каменного угля и антрацита число точечных проб для партии массой до 1000 т всегда равно 16, а для массы свыше 1000 т определяется по формуле

$$N_T = 16 \sqrt{M/1000},$$

где  $M$  — масса партии, т.

Для небогатенного каменного угля и антрацита для партии массой до 1000 т  $N_T$  всегда равно 32, а для больших масс

$$N_T = 32 \sqrt{M/1000}.$$

При этом ГОСТ 10742—71 регламентирует и массу точечной пробы  $q_T$  (кг):

$$q_T \geq 0,06 d_{\text{max}},$$

где  $d_{\text{max}}$  принимается в миллиметрах.

Там же указаны и базовые погрешности опробования: относительная  $\pm 10$  % для зольности до 20 % и абсолютная  $\pm 2$  % для зольности более 20 %.

### 39. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ТОЧЕЧНЫХ ПРОБ

Дисперсию точечных проб  $s_{\tau}^2$  при отборе в точечную пробу кусков больше, чем один, можно определить только экспериментально.

Для этого необходимо отобрать некоторое число точечных проб, равномерно распределенных по всему опробуемому массиву, обработать каждую пробу в отдельности и определить содержание  $\alpha_i$ , после чего найти экспериментальное значение  $s_{\tau,э}^2$ .

Эта дисперсия будет завышенной оценкой  $s_{\tau}^2$ , так как в нее войдут погрешности, связанные с подготовкой проб  $s_{\text{под}}^2$  и анализом навесок  $s_{\text{ан}}^2$ . Это значит, что дисперсию точечных проб следует определять так:

$$s_{\tau}^2 = s_{\tau,э}^2 - s_{\text{под}}^2 - s_{\text{ан}}^2.$$

Приведем рекомендуемую ГОСТами схему определения  $s_{\tau,э}^2$  (например, по ГОСТ 15054—80).

От некоторой  $i$ -й партии или части партии, указанной в ГОСТе, следует отобрать 10 точечных проб, образовать из нечетных проб объединенную пробу  $A_i$ , а из четных —  $B_i$  и обработать объединенные пробы до получения результатов содержаний  $\alpha_{Ai}$  и  $\alpha_{Bi}$ . Такую работу необходимо выполнить для  $k$  партий, частей одной или нескольких партий ( $k \gg 10$ ).

Обработка результатов следующая. Находят размахи

$$R_i = \alpha_{Ai} - \alpha_{Bi}.$$

Отсюда средний размах

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^k R_i / k.$$

Находят дисперсию точечных проб  $s_{\tau}^2$ , учитывая, что анализ выполнен для объединенной пробы из пяти точечных:

$$s_{\tau}^2 / 5 = \bar{R}^2 / d_2^2.$$

Для парных определений  $1/d_2 = 0,8865$ , тогда  $s_{\tau}^2 = 3,93 \bar{R}^2$ .

При опробовании потоков на обогатительных фабриках обычно накапливается богатая информация об изменении свойств опробуемых потоков. В этом случае для оценки  $s_{\tau}^2$  используют все предыдущие данные опробования.

Корреляционная функция на длительном интервале изменения наблюдаемой величины, для которого справедливо предположение о стационарности этой величины, будет иметь вид, представленный на рис. 39. Например, для интервала  $T = 1$  год время корреляции будет  $\tau_{\text{кг}}$  и дисперсия для  $\tau = 0$   $s_{\tau}^2$ .

Для более коротких промежутков времени стационарность не выполняется, в итоге приходится отфильтровывать неслучайную составляющую, что приводит к уменьшению дисперсии наблюдае-

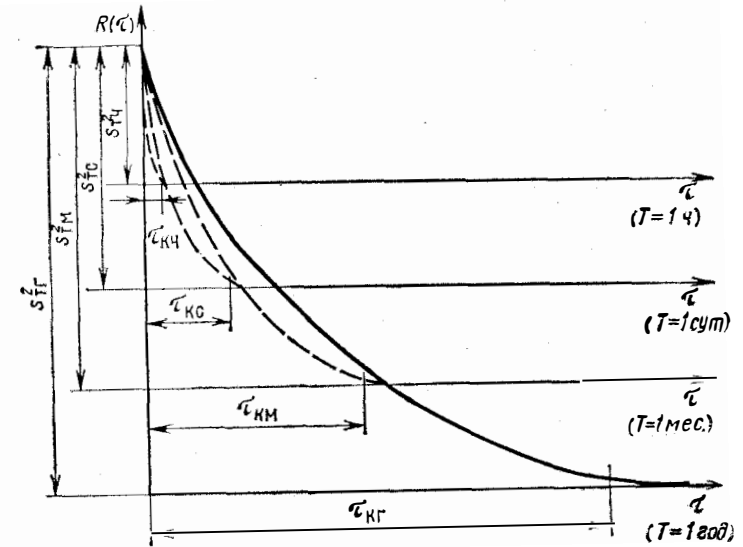


Рис. 39. Относительное изменение корреляционной функции  $R(\tau)$  с изменением интервала наблюдения  $\tau$  (контрольного периода):

$s_{\tau г}^2$ ,  $\tau_{к г}$ ;  $s_{\tau м}^2$ ,  $\tau_{к м}$ ;  $s_{\tau с}^2$ ,  $\tau_{к с}$ ;  $s_{\tau ч}^2$ ,  $\tau_{к ч}$  — дисперсии и время корреляции на интервале наблюдения соответственно 1 год; 1 мес; 1 сут; 1 ч

мой величины и времени корреляции. Образно можно себе представить эти изменения как перемещение вверх оси  $\tau$  (см. рис. 39) с одновременной некоторой деформацией «обрезанной» части корреляционной функции.

Поэтому возможны варианты получения и использования информации о корреляционной функции изменения характеристики опробуемого массива:

получение корреляционной функции для промежутка времени (пространства, массы), соответствующего опробуемому в дальнейшем. Например, если расчет выполняют для сменных проб, то и корреляционную функцию следует получать как усредненную по ряду реализаций для промежутков времени, равных 1 смене, с фильтрацией неслучайных составляющих.

В этом случае можно обойтись без полного расчета корреляционной функции, так как необходимо знать лишь дисперсию на интервале времени, например смены.

Учитывая приближенный характер оценки дисперсии, можно ее оценить по весьма простой формуле

$$s_{\tau}^2 = (0,5 \Delta \alpha_{\text{max}})^2,$$

где  $\Delta \alpha_{\text{max}}$  — максимальное отклонение для отфильтрованных от неслучайных составляющих значений содержаний определяемого компонента в точечных пробах от среднего на принятом интер-

вале времени наблюдения и расчета;

получение корреляционной функции для промежутков времени (пространства, массы), больших тех, которые будут приняты в расчете в дальнейшем.

Например, корреляционная функция получена на интервале 10 сут, а расчет числа точечных проб необходимо сделать для сменной пробы. Тогда дисперсия, которую следует принять в расчете

$$s_T^2 = s^2(0) - s^2(\tau_c),$$

где  $s_T^2$  — дисперсия точечных проб на интервале времени, равном, например, длительности смены;  $s^2(0)$  — дисперсия при значении  $\tau=0$  (полная дисперсия измеряемого параметра);  $s^2(\tau_c)$  — дисперсия при значении  $\tau_c$ , равном продолжительности смены.

#### 40. МИНИМАЛЬНАЯ МАССА И ЧИСЛО ТОЧЕЧНЫХ ПРОБ ПРИ ЗАКОНОМЕРНОМ ИЗМЕНЕНИИ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА

По-другому решается задача определения минимальной массы и числа точечных проб, если свойства массива изменяются некоторым закономерным образом. В этом случае неоднородность массива не может быть охарактеризована дисперсией точечных проб  $s_T^2$ ,  $N_T$  и  $q_{н.м}$  определяют по различным исходным данным.

При закономерном изменении  $\alpha$  может быть выбрано сравнительно небольшое число точечных проб  $N_T$ , обеспечивающих точное определение среднего. На рис. 40, а представлены некоторые варианты закономерного изменения содержания компонентов в опробуемых продуктах.

Для массива, характеризованного неизменным качеством (кривая 1), т. е. для тщательно перемешанного массива, достаточно отобрать одну пробу в любой точке массива. Для массивов, характеризующихся равномерным возрастанием либо снижением каче-

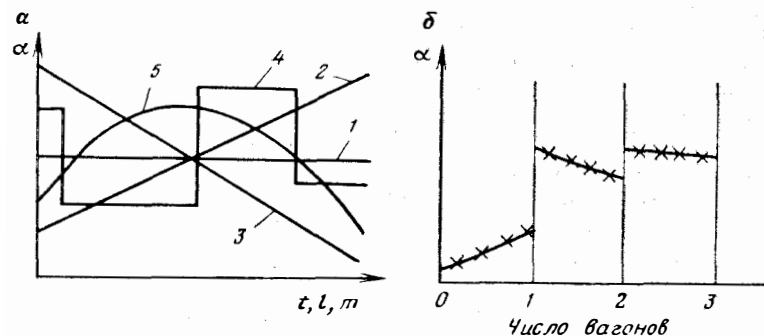


Рис. 40. К характеристике закономерных изменений качества:

а — варианты закономерного изменения массовой доли; б — возможные зависимости изменения качества вдоль вагонов и возможные точки отбора проб (указаны крестиками).

ства (кривые 2 и 3), достаточно двух проб в начале и конце контрольного периода  $t$  (либо отрезка  $l$  или массы  $m$ ).

Для известной качакообразно изменяющейся зависимости (кривая 4) нужно от каждого участка с неизменным содержанием отобрать число точечных проб  $N_{Ti}$ , пропорциональное участку  $\Delta t_i$ :

$$N_{Ti} / \Delta t_i = \text{const.}$$

Благодаря априорным знаниям о характере зависимости можно найти вполне определенное очень малое (для зависимости 1 — одно) число точечных проб, обеспечивающее теоретически полный учет такой неоднородности. Так, для зависимости 5 может быть выполнен соответствующий расчет и получены, например, для параболы три пробы.

Инженеру-технологу сравнительно часто приходится решать такие задачи. Так, обычным является прием формирования объединенной пробы, например суточной, из трех сменных. При этом от каждой сменной пробы отбирается доля, пропорциональная массе переработанной за смену руды.

Важно лишь, чтобы каждая точечная проба при этом с достаточной точностью отражала содержание в опробуемой точке, а это значит, что в данном случае масса точечной пробы становится функцией числа точечных проб и должна быть такой, чтобы при отборе  $N_T$  точечных проб была отобрана проба, равная минимальной массе для однородного массива, т. е.

$$q_T = q_{о.м} / N_T. \quad (77)$$

Если  $q_T$  задана и должна быть принята в соответствии с размерами рабочего инструмента для отбора пробы, то достаточно выполнение неравенства

$$q_T N_T > q_{о.м}. \quad (78)$$

Условия (77) и (78) специфичны для закономерного изменения свойств массива.

Во многих случаях характер закономерного изменения задается тем, что опробуемая масса разбита на ряд порций — элементов, например вагонеток, автомашин и т. п. В этом случае целесообразно выбрать наименьший возможный элемент времени, длины или массы ( $\Delta t_i$ ,  $\Delta l_i$ ,  $\Delta M_i$ ) приемлемого постоянства свойств и найти число точечных проб

$$N_T = T / \Delta t_{\min} = L / \Delta l_{\min} = M / \Delta M_{\min}.$$

Например, при опробовании емкостей в качестве  $\Delta M_{\min}$  целесообразно принять вагонетку, контейнер, вагон и т. д.

Обычно ГОСТы на опробование предусматривают именно такое решение, регламентируя дополнительно некоторое минимальное число точечных проб, отбираемое от одной емкости. Это можно объяснить так (рис. 40, б). Качество продукта от емкости к емкости может существенно меняться. Поэтому необходимо



опробовать каждую емкость. Внутри емкости в связи с ее относительно небольшой массой и обычно неменяющимися условиями загрузки качество продукта не должно меняться резко. Для учета такой неоднородности достаточно иметь 2—3 пробы, распределенные по длине (массе) каждой емкости.

В зависимости от особенностей опробуемых масс ГОСТы рекомендуют различное число точечных проб. Так, ГОСТ 14180—80 от всех емкостей (автомашин, контейнеров) обязывает брать не менее чем 3 пробы; ГОСТ 15054—80 не ограничивает их число, рекомендуя лишь округлять рассчитанное значение до большего целого; ГОСТ 10742—71 оговаривает лишь случаи опробования одиночного вагона ровно восемью точечными пробами.

Во всех случаях масса объединенной пробы должна быть не менее минимальной массы пробы для рассматриваемых условий, т. е. должно выполняться неравенство  $q_T N_T \geq q_{о.м.}$

При этом обеспечивается допустимая погрешность, так как погрешность неоднородности массива ликвидируется системой отбора выбранного числа проб, а погрешность дискретности при отборе пробы массой не менее минимальной не превысит допустимую.

#### 41. МИНИМАЛЬНАЯ МАССА ПРОБЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КЛАССА КРУПНОСТИ, ОГРАНИЧЕННОГО С ОДНОЙ СТОРОНЫ

Для определения гранулометрического состава пробу на сите (грохоте) делят на два класса (плюсовый и минусовый), взвешивают их и определяют доли минусового  $R_-$  и плюсового  $R_+$  классов.

Для получения расчетных формул принимаем, что плюсовый класс состоит из кусочков одинакового размера  $d_+$ , минусовый — из кусочков точно такого же размера  $d_-$ . При этом размер  $d_+$  может быть любым, большим размера ячейки сита. В этом случае числовые и весовые доли кусочков совпадут. Для такой ситуации дисперсия доли  $R$  составит

$$s_{R_+}^2 = s_{R_-}^2 = R_+(1-R_+)/n = R_-(1-R_-)/n.$$

Здесь  $n$  — число кусочков в пробе.

Отсюда, если задана допустимая погрешность  $s_{R_{доп}}^2$ , необходимое число кусочков  $n$  в пробе определится по формуле

$$n = R_-(1-R_-)/s_{R_{доп}}^2.$$

Следовательно, минимальная масса пробы для такого случая составит

$$q = \bar{\rho} d_+^3 = R_-(1-R_-) \bar{\rho} d_+^3 / s_{R_{доп}}^2,$$

где  $\bar{\rho}$  — плотность руды.

Если  $R$  и  $s_R$  выражены в одинаковых единицах,  $\bar{\rho}$  — в г/см<sup>3</sup>,  $d_+$  — в мм, а  $q$  необходимо получить в кг, то следует ввести согласующий множитель  $10^{-6}$ :

$$q = 10^{-6} R (1-R) \bar{\rho} d_+^3 / s_{R_{доп}}^2.$$

Принятое предположение о постоянстве  $d_+$  нереально. Обычно крупность материала распределена по некоторому закону  $w(d)$ . Тогда

$$R_+ = \int_{d_c}^{d_{\max}} w(d) dd,$$

где  $w(d)$  — плотность распределения вероятности крупности материала;  $d_c$  — размер ячейки сита.

Минимальную массу пробы найдем как среднюю взвешенную для различных крупностей при фиксированном  $R_-$ :

$$q = \int_{d_c}^{d_{\max}} R_-(1-R_-) s_{R_{доп}}^{-2} \bar{\rho} d^3 w(d) dd / \int_{d_c}^{d_{\max}} w(d) dd. \quad (79)$$

Примем, что продукты дробления имеют гранулометрический состав, описываемый формулой

$$R_-(d) = (d/d_{\max})^c,$$

где  $c$  — показатель кривизны ( $c=0,8 \div 1,2$ ).

Здесь

$$R_-(d) = \int_0^d w(d) dd.$$

Тогда

$$w(d) = d R_- / dd = c d^{c-1} / d_{\max}^c.$$

Поэтому выражение (79) перепишем в виде

$$q = \bar{\rho} R_-(1-R_-) \int_{d_c}^{d_{\max}} d^3 c d^{c-1} d_{\max}^{-c} dd / \left( s_{R_{доп}}^2 \int_{d_c}^{d_{\max}} c d^{c-1} d_{\max}^{-c} dd \right)$$

Отсюда с учетом коэффициента формы  $f$

$$q = [c/(c+3)] f \bar{\rho} d_c^c (d_{\max}^{3-c} - d_c^{3+c} / d_{\max}^2) / s_{R_{доп}}^2. \quad (80)$$

Из выражения (80) в частном случае, а именно при  $c=1$  и с учетом согласующего коэффициента  $10^{-6}$ , рабочая основная формула минимальной массы для ситового анализа

$$q = 0,25 \cdot 10^{-6} f \bar{\rho} d_c (d_{\max}^2 - d_c^4 / d_{\max}^2) / s_{R_{доп}}^2. \quad (81)$$

Вариации коэффициента  $c$  не оказывают значительного влияния на  $q$  (примерно на  $\pm 10\%$ ): для  $c=1,2$  на  $+10\%$ , для  $c=0,8$  на  $-10\%$  (рис. 41, а), поэтому в дальнейшем за основу примем формулу (81).

На рис. 41, б показана зависимость минимальной массы  $q$  пробы от  $R_-$  при заданной постоянной абсолютной погрешности  $s_{R\text{доп}}$ . Видно, что минимальная масса зависит от значения, определяемого  $R_-$ . Найдем максимальное значение минимальной массы

$$\partial q / \partial d_c = 0,25 \bar{f} \bar{\rho} (d_{\text{max}}^2 - 5d_c^4 / d_{\text{max}}^2) / s_{R\text{доп}}^2 = 0.$$

Отсюда

$$d_c(q_{\text{max}}) = 0,67 d_{\text{max}}.$$

Следовательно

$$q_{\text{max}} = 0,25 \cdot 10^{-6} \bar{f} \bar{\rho} \cdot 0,67 d_{\text{max}} (d_{\text{max}}^2 - 0,67^4 d_{\text{max}}^4 / d_{\text{max}}^2) s_{R\text{доп}}^{-2} = 0,134 \cdot 10^{-6} \bar{f} \bar{\rho} d_{\text{max}}^3 / s_{R\text{доп}}^2.$$

Примем  $\bar{\rho} = 3 \text{ г/см}^3$ ;  $s_{R\text{доп}} = 0,01$ , тогда  $q = 0,004 f d_{\text{max}}^3$ .

Если использовать средний размер кусков  $\bar{d}$ , то, приняв при  $c = 1$ ,  $2\bar{d} = d_{\text{max}}$ , получим

$$q = 0,032 f \bar{d}^3. \quad (82)$$

Минимальная масса, являясь функцией размера сита, имеет экстремальное значение при размере сита, составляющем  $2/3$  размера максимального куска.

Если заранее неизвестно, на каком сите потребуется выполнить анализ, то следует ориентироваться на максимальное значение минимальной массы, которое может быть найдено по упрощенной формуле (82).

Относительная погрешность

$$s_{R\text{отн}} = s_R / R_-,$$

или из формулы (81)

$$s_{R\text{отн}} = \sqrt{0,25 \cdot 10^{-6} \bar{f} \bar{\rho} (d_{\text{max}}^4 - d_c^4) / (q d_c)}$$

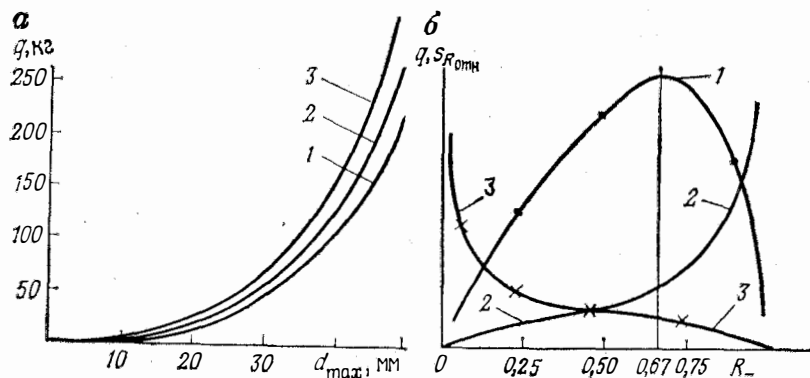


Рис. 41. Зависимость минимальной массы  $q$ :

$a$  — от крупности  $d$  для различных  $c$  по формуле (80) для  $s_R = 0,01$  и  $d_c = 0,67 d_{\text{max}}$ ;  $\bar{\rho} = 3$ ;  $\bar{f} = 0,5$ ; 1—3 — при  $c$ , соответственно равном 0,8; 1; 1,2; б — от доли подрешетного класса  $R_-$  (1) (2—3 — зависимости относительных погрешностей соответственно  $s_{R\text{отн}}$  и  $s_{R\text{отн}}$  от  $R_-$ )

Зависимость  $s_{R\text{отн}}$  от  $R_-$  представлена на рис. 41. Там же приведен график и для  $s_{R_+\text{отн}}$ .

Видно, что относительно неблагоприятные условия возникают при измерении малых значений  $R$  (как  $R_-$ , так и  $R_+$ ). В частности, при значениях  $R < 5-6\%$  относительная погрешность начинает резко возрастать. Это хорошо объясняет экспериментально наблюдаемый факт снижения погрешности с переходом контролируемой величины  $R_-$  от малых значений к средним. Суммарная относительная погрешность будет наименьшей именно для значений  $R_-$  в диапазоне 0,6—0,8.

Поэтому практически не стремятся непосредственно измерять малые значения как  $R_-$ , так и  $R_+$ . Если это необходимо, то целесообразно получить несколько точек кумулятивной характеристики гранулометрического состава. Через точки, одна из которых при  $d = 0$  заранее predetermined, проводится плавная кривая до пересечения с осью абсцисс.

По этой кривой и определяют малые содержания классов, близких к  $d = 0$  и  $d = d_{\text{max}}$ . Обычно, понимая ненадежность определения точки пересечения с осью абсцисс таким образом, в качестве  $d_{\text{max}}$  принимают размер отверстий сита, на котором остается 5% материала.

Минимальная масса пробы для определения гранулометрического состава резко возрастает с увеличением крупности опробуемого материала. Чтобы несколько уменьшить этот рост, можно ввести заданную погрешность в функции крупности с помощью согласующего коэффициента  $a$ , например

$$s_{R\text{доп}} = a d_{\text{max}}. \quad (83)$$

Это соответствует интуитивным представлениям как о возрастающей сложности опробования крупного материала, так и о сложившейся практике установления заданных погрешностей при химическом опробовании руд, например железных, для которых заданная погрешность устанавливается в функции опробуемой массы.

Зададимся, например, значением  $s_{R\text{доп}} = 0,045$  для крупности  $d_{\text{max}} = 100 \text{ мм}$ , тогда выражение (83) примет вид

$$s_{R\text{доп}} = 0,045 d_{\text{max}} / 100 = 0,00045 d_{\text{max}},$$

а минимальная масса пробы  $q$  (кг) для гранулометрического анализа

$$q = 0,134 \cdot 10^{-6} \bar{f} \bar{\rho} d_{\text{max}}^3 / (0,00045 d_{\text{max}})^2 = 2 f d_{\text{max}}. \quad (84)$$

Формула (84) исключительно проста. Формулы вида

$$q = k d_{\text{max}} \quad (85)$$

можно получать для различных значений  $a$ .

В упрощенные формулы типа (84) и (85) входит принятая плотность опробуемого материала  $\bar{\rho} = 3 \text{ г/см}^3$ . Если плотность

материала другая, то и значение коэффициента  $k$  изменится соответствующим образом, например, для угля  $q = d_{\max} = f d_{c \max}$ .

Для значений  $R$ , отличающихся от 0,67, минимальная масса может быть принята меньшей в соответствии с формулой (81).

#### 42. МИНИМАЛЬНАЯ МАССА ПРОБЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЗКИХ КЛАССОВ

Содержание узкого класса (ограниченного с двух сторон) определяют вычитанием результатов отсева на ситах 1 и 2:

$$\Delta R = R_{1-} - R_{2-}.$$

Погрешность определения  $\Delta R$  в соответствии с формулой погрешности сложной функции

$$s_{\Delta R}^2 = s_{R_{1-}}^2 + s_{R_{2-}}^2 \approx 2s_R^2.$$

Следовательно, минимальная масса пробы при ситовом анализе узких классов  $q_{c.a}$  будет в два раза больше, чем вычисляемая по формулам (82) или (84), а именно:

$$q_{c.a} = 0,268 \cdot 10^{-6} \bar{\rho} d_{\max}^3 / s_R^2 \text{ доп.}$$

При  $\bar{\rho} = 3 \text{ г/см}^3$ ;  $s_{R \text{ доп}} = 0,01 q_{c.a} = 0,064 \bar{d}^3 = 0,064 f \bar{d}_c^3$ .

При функциональном задании погрешности  $s_{R \text{ доп}} = 0,00045 d_{\max}$

$$q_{c.a} = 4 d_{\max} = 4 f d_{c \max}.$$

Особенность узкого класса: взяв его меньше некоторой величины, можно получить значение класса  $\Delta R$ , соизмеримое с погрешностью  $s_{\Delta R}$ .

Примем доверительные интервалы для погрешности  $2s_{\Delta R}$ , т. е.  $2\sqrt{2}s_R$ . Теперь можно указать на требуемую связь между выходом класса  $\Delta R$  и допустимой погрешностью  $s_{R \text{ доп}}$ , подставляемую в формулу (81). Если нужно установить выход класса  $\Delta R$  с относительной погрешностью  $P_{\Delta R}$ , то следует выполнять условие

$$\Delta R P_{\Delta R} = 2\sqrt{2} s_R.$$

Отсюда

$$s_{R \text{ доп}} = \Delta R P_{\Delta R} / (2\sqrt{2}).$$

Пусть нужно установить предполагаемое значение  $\Delta R = 0,04$  (т. е. 4 %) с относительной погрешностью 10 %, или 0,1. Тогда

$$s_{R \text{ доп}} = 0,04 \cdot 0,1 / (2\sqrt{2}) = 0,0014.$$

Сформулируем требования к отсева на классы. Если шкала отсева равномерна, т. е.

$$\Delta R = 1/(k+1) \quad (\text{для } c=1),$$

где  $k$  — число сит, причем  $k \geq 2$ , то

$$s_{R \text{ доп}} = P_{\Delta R} / [2\sqrt{2}(k+1)]. \quad (86)$$

Отсюда следует, что, чем больше сит взято для анализа, тем меньше допустимая погрешность отбора проб (86) и тем будет больше минимальная масса пробы на ситовой анализ.

Для равномерного закона распределения крупности оптимальной будет равномерная шкала сит. Для этого случая минимальная масса будет

$$q = 0,25 \cdot 10^{-6} \bar{\rho} d_c \left( \frac{2\sqrt{2}(k+1)}{P_{\Delta R}} \right)^2 (d_{\max}^2 - d_c^2 / d_{\max}^2) = \\ = 2 \cdot 10^{-6} \bar{\rho} d_c (k+1)^2 P_{\Delta R}^{-2} (d_{\max}^2 - d_c^2 / d_{\max}^2); \\ k \geq 2.$$

Приняв вновь для наиболее сложного случая  $d_c = 0,67 d_{\max}$ ;  $P_{\Delta R} = 0,1$ ;  $\bar{\rho} = 3 \text{ г/см}^3$ , получим

$$q = 0,00032 (k+1)^2 f d_{\max}^3.$$

Заметим, что относительная погрешность 10 % для трех классов соответствует абсолютной погрешности 0,033, что выше, чем было принято при выводе формулы (82).

Оптимальная шкала отсева на классы, если  $c \neq 1$ , может быть найдена из условия

$$(c d_{\max}^{c-1} d_{\max}^{-c}) \bar{d}_c \Delta d = \text{const} = 1/(k+1),$$

где  $k$  — число сит.

Тогда

$$d_{b i} = d_{n i} + \frac{1}{(k+1) c d_{\max}^{c-1} [0,5(d_{b i} + d_{n i})]^{c-1}}.$$

Здесь  $d_b$  и  $d_n$  — размеры ячеек верхнего и нижнего сит. Из решения этого уравнения последовательно, начиная с  $d_{n1} = 0$ , получим значения  $d_b$  для выбора сит.

Упростим несколько решение, примем производную не при  $0,5(d_b + d_n)$ , а при  $d_n$ , тогда

$$(d_b - d_n) d_b^{c-1} = d_{\max}^c / c (k+1). \quad (87)$$

Решение уравнения (87) дает оптимальные размеры сит в долях  $d_{\max}$ :

Для четырех сит

$c$	0,8	1	1,2
$d_1$	0,15	0,2	0,25
$d_2$	0,34	0,4	0,45
$d_3$	0,56	0,6	0,63
$d_4$	0,79	0,8	0,81

Для шести сит

$c$	0,8	1	1,2
$d_1$	0,9	0,15	0,19
$d_2$	0,21	0,28	0,34
$d_3$	0,34	0,43	0,48
$d_4$	0,48	0,57	0,62
$d_5$	0,63	0,71	0,75
$d_6$	0,79	0,86	0,88

#### 43. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОБ

Из главы V вытекают следующие общие закономерности образования проб.

**Закономерность I.** Минимальная масса пробы для определения массовой доли компонента предопределяется дисперсией покускового опробования, допустимой погрешностью опробования и размером кусков, поступающих в пробу, в третьей степени.

Из этой закономерности с учетом закономерностей распределения массовой доли в кусках следует: влияние размера кусков на дисперсию покускового опробования приводит к тому, что степень влияния размера кусков на минимальную массу снижается и в зависимости от структуры сростков может быть любой в диапазоне от 3 до 0.

В формулу минимальной массы при этом входит размер зерен определяемого компонента в степени, дополняющей степень при размере кусков до трех.

При превышении кусками некоторого размера они становятся столь велики, что различия между содержанием определяемого компонента в таком куске и средним содержанием в руде определяются случайными причинами.

Минимальная масса пробы начиная с этого размера не зависит от размера кусков, т. е. показатель степени при размере кусков для любого продукта становится равным нулю.

**Закономерность II.** Минимальная масса пробы для определения массовой доли компонента для неоднородного массива — функция массы точечной пробы дисперсии точечных проб и заданной погрешности опробования и может быть любой в диапазоне практически от нуля до весьма большой величины. Характер этой функции зависит от неоднородности массива.

Важнейшим из этой закономерности является следствие многозначности понятия минимальной массы — начальная масса пробы, найденная как произведение массы точечной пробы на число точечных проб (без округления), всегда равна минимальной массе пробы.

Для опробования неоднородного массива важное место занимает определение числа точечных проб — число точечных проб для опробования неоднородного массива является функцией дисперсии точечных проб. Характер этой функции зависит от неоднородности массива.

Экспериментальное определение дисперсии точечных проб необходимо выполнять для той же самой массы точечных проб и того же самого интервала опробования (опробуемой массы), для которых в последующем будет выполняться опробование.

**Закономерность III.** Покусковой отбор при условии согласования массы куска, числа точечных проб-кусков и необходимой массы пробы обеспечивает оптимальный пробоотбор.

**Закономерность IV.** Минимальная масса пробы для определения гранулометрического состава — функция содержания опреде-

ляемого класса крупности, допустимой погрешности определения и максимального размера кусков в опробуемой массе.

Из этой закономерности вытекают следствия:

минимальная масса пробы для определения содержания класса крупности имеет максимум при содержании минусового класса 67 % и равна нулю на концах интервала изменения крупности;

максимальное значение минимальной массы пробы для определения содержания класса может зависеть от размера сита в степени меньшей, чем три, если допустимую погрешность задавать в зависимости от крупности определяемого класса;

минимальная масса для определения выхода узкого класса является функцией выхода этого класса.

### VI. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОБ

#### 44. ТИПИЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОБ

Отобранная проба может быть подвергнута различного рода механическим преобразованиям. Обычно при определении массовой доли это подсушка, перемешивание, сокращение, дробление и контрольное грохочение.

Хотя все эти операции видоизменяют состояние пробы, они, за исключением операции сокращения, не меняют главного свойства пробы-носителя — вполне определенной характеристики опробуемой массы, например среднего содержания компонента, с некоторой погрешностью. Так вот это конкретное значение полученной при отборе пробы погрешности (и скрытое пока в ней) не меняется. Оно может меняться при некачественном выполнении этих операций за счет потерь массы пробы либо засорения ее посторонними добавками, но такое изменение присуще этим операциям органически.

Типичное сочетание операций при подготовке пробы представлено на рис. 42.

Исходная проба по отношению к определяемой характеристике опробуемой массы  $\bar{a}$  обладает случайной погрешностью  $s_{от}^2$ . При дроблении и грохочении за счет потерь либо засорения пробы будет добавлена погрешность  $s_p^2$ . При перемешивании будет добавлена погрешность  $s_n^2$ , возникающая также за счет возможных

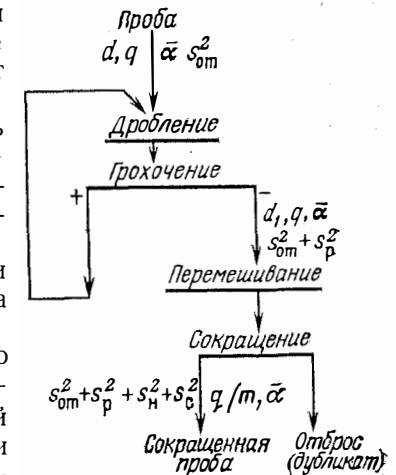


Рис. 42. Типичное сочетание операций при подготовке пробы и формировании погрешности сокращенной пробы

потерь и засорения пробы, но в основном за счет неидеальности перемешивания, а иногда и сегрегации, возникающей при выполнении операции перемешивания. Наконец, при сокращении возникает основная дополнительная погрешность, связанная с преобразованием пробы  $s^2_c$ . Эта погрешность неизбежна, и связана она с уменьшением числа кусков материала, поступающего дальше в обработку. Уже имеющуюся погрешность  $s^2_{от}$  никаким дроблением и никаким преобразованием пробы изменить нельзя. Смысл хорошей подготовки пробы состоит в том, чтобы обеспечить необходимую (и, как правило, малую) для анализа массу с наименьшими добавками погрешностей  $s_p^2$ ,  $s_n^2$  и  $s_c^2$ .

Погрешность изменения материала пробы при дроблении  $s_p^2$  и погрешность неоднородности  $s_n^2$  при перемешивании не являются неизбежными. Они принципиально могут быть сведены до нуля за счет высокого качества выполнения этих операций. В некоторых случаях эти погрешности могут быть очень малы благодаря особенностям пробы, например если потеря некоторой части пылевидных частиц не влияет на среднее содержание определяемого компонента. Обычно подготовка проб выполняется тщательно и величины  $s_p^2$  и  $s_n^2$  бывают (или должны быть) малы.

Таким образом, при выполнении одного типичного сочетания операций подготовки пробы погрешность сокращенной пробы массой  $q/m$  и крупностью  $d_1$  составит

$$s_1^2 = s_{от}^2 + s_c^2 + s_p^2 + s_n^2.$$

Обычно выполняется несколько циклов подготовки пробы в связи с тем, что дробить пробу за одну операцию дробления до конечной необходимой крупности, чаще всего 0,1 мм, технически невозможно. Если выполнено  $k$  типичных циклов, то

$$s^2 = s_{от}^2 + \sum_{j=1}^k s_p^2 j + \sum_{j=1}^k s_c^2 j + \sum_{j=1}^k s_n^2 j.$$

Так как в начальном цикле подготовки пробы сокращение может выполняться без предварительного дробления, удобно считать этот цикл нулевым, тогда погрешность отбора и подготовки пробы, включая нулевой цикл, т. е.  $j=0, 1, 2, \dots, k$ , можно записать в виде

$$s^2 = s_{от}^2 + \sum_{j=0}^k s_c^2 j + \sum_{j=0}^k s_n^2 j + \sum_{j=1}^k s_p^2 j. \quad (88)$$

Таким образом, в формуле (88) число  $k$  означает число операций дробления.

Сокращение можно выполнять в несколько операций. Например, при использовании желобчатых сократителей пробу обычно делят пополам. Если нужно сократить пробу в большей мере, сокращение повторяют несколько раз, например  $l$ .

Тогда формула (88) будет выглядеть так:

$$s^2 = s_{от}^2 + \sum_{j=1}^k s_p^2 j + \sum_{j=0}^k \sum_{i=1}^{l_j} s_n^2 j i + \sum_{j=0}^k \sum_{i=1}^{l_j} s_c^2 j i. \quad (89)$$

В результате подготовки получают пробу, готовую для анализа. Так, для химического или рентгеновского анализа готовят пробу крупностью 0,1 мм, массой 50 г. Описываемая формулой (89) случайная погрешность и будет соответствовать этому пакету, полученному в результате отбора пробы, ее дробления  $k$  раз, перемешивания и сокращения  $l_j$  раз после каждой операции дробления.

#### 45. ПОГРЕШНОСТЬ СОКРАЩЕНИЯ ПРОБЫ

Сокращение — основная операция подготовки пробы, состоящая в  $m$ -кратном уменьшении ее массы. Выполнение такой операции связано с погрешностью, вызываемой прежде всего дискретной формой существования опробуемого компонента, сосредоточенного дискретными порциями в отдельных кусочках. При неизменной крупности обрабатываемой пробы эту погрешность невозможно получить менее некоторой величины, которую можно заранее вычислить. Это — минимально возможная погрешность, достижимая при сокращении идеально перемешанной пробы. Если перемешивание выполнено неидеально, то погрешность сокращения возрастает.

Обозначим  $s_d$  — среднюю квадратическую погрешность сокращения, вызванную дискретностью масс опробуемого компонента. Погрешность, вызванную неидеальностью перемешивания, обозначим  $s_n$ .

Если  $s_k$  — дисперсия покускового опробования, т. е. дисперсия результатов измерения содержания определяемого компонента в отдельных кусках, то для группы из  $n$  кусков дисперсия  $s_d^2$  составит  $s_d^2 = s_k^2/n$ .

Полагая массу  $n$  кусков при постоянных плотностях  $\rho$  и размер  $d$  равной  $q = n\rho d^3$ , получим

$$s_d^2 = s_k^2 \rho d^3 / q.$$

Рассмотрим график изменения  $s_d^2$  в зависимости от массы пробы  $q$  (рис. 43). Если обозначить массу одного куска  $q_k$ , то зависимость  $s_d^2$  от  $q$  пройдет через точку с координатами  $q_k, s_k^2$ , причем справа от  $q_k$  эта зависимость соответствует неразрушаемому опробованию, слева от  $q_k$  график соответствует опробованию с разрушением кусков.

Погрешность дискретности для пробы массой  $q_0$  соответствует

$$s_{d0}^2 = s_k^2 \rho d^3 / q_0, \quad (90)$$

а для пробы массой  $q_1$

$$s_{d1}^2 = s_k^2 \rho d^3 / q_1. \quad (91)$$

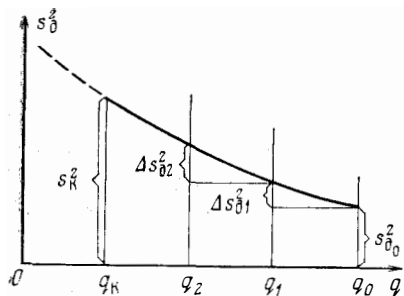


Рис. 43. К объяснению формирования погрешности дискретности при сокращении проб

Следовательно, при сокращении пробы от массы  $q_0$  до  $q_1$  внесится погрешность

$$\Delta s_{c1}^2 = s_{d1}^2 - s_{d0}^2 = s_k^2 \rho d^3 (1/q_1 - 1/q_0). \quad (92)$$

Аналогично на любой  $i$ -й операции сокращения

$$\Delta s_{ci}^2 = s_{di}^2 - s_{d(i-1)}^2 = s_k^2 \rho d^3 (1/q_i - 1/q_{i-1}).$$

В общем случае для  $n$  операций сокращения имеем

$$s_c^2 = \sum_{i=1}^n \Delta s_{ci}^2 = s_k^2 \rho d^3 (1/q_n - 1/q_0). \quad (93)$$

Если считать, что погрешность  $s_{d0}$  внесена при отборе пробы, то погрешность дискретности при опробовании  $s_{d, \text{опр}}^2$  (включающем в себя операции отбора и сокращения пробы) будет равна

$$s_{d, \text{опр}}^2 = s_{d0}^2 + s_{d, \text{под}}^2 = s_k^2 \rho d^3 / q_0 + s_k^2 \rho d^3 (1/q_n - 1/q_0). \quad (94)$$

Видно, что итоговая погрешность дискретности при опробовании составляет

$$s_{d, \text{опр}}^2 = s_k^2 \rho d^3 / q_n$$

и зависит только от конечной массы  $q_n$ , однако в связи с тем, что погрешности  $s_{d0}$  и  $s_{d, \text{под}}$  формируются в весьма различных условиях, будем использовать формулу (94).

Формулы (90)—(94) записаны для условий подготовки пробы, состоящей из кусков одинакового размера. Так как реальные пробы содержат куски, характеризующиеся некоторой плотностью распределения вероятностей по крупности и плотности, общая формула погрешности дискретности будет

$$s_c^2 = \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} \int_0^{\max} s_k^2(d) \rho d^3 (1/q_n - 1/q_0) \omega(\rho) \omega(d) d\rho dd.$$

Для симметричного закона распределения  $\omega(\rho)$  и равномерного закона распределения  $\omega(d) = 1/d_{\max}$

$$s_c^2 = 2\bar{\rho} \bar{d}^3 s_k^2 (1/q_n - 1/q_0). \quad (95)$$

Погрешность  $s_n$  зависит от качества выполнения операций сокращения и не может быть определена теоретически. Ее следует определять экспериментально, сопоставляя дисперсию сокращения, достигаемую каким-либо методом, обеспечивающим близкие к идеальным условия перемешивания, с достигаемой в конкретных условиях дисперсией

$$s_n^2 = s_c^2 - s_{c, \text{ид}}^2.$$

В работе Ш. Ш. Кипниса [13] приведены результаты сравнения погрешностей воспроизводимости зольностью проб, сокращенных разными методами, в частности квартованием и с помощью механического сократителя. Относительная средняя квадратическая погрешность сокращения квартованием составила 1,35%, а с помощью сократителя — 0,55%. Следовательно, дисперсия неидеальности  $s_n^2$  перемешивания квартованием в этих условиях составила

$$s_n^2 = 1,35^2 - 0,55^2 = 1,23^2.$$

А средняя квадратическая относительная погрешность неидеальности перемешивания  $s_n = 1,23\%$ , что для проб зольностью, например, 20% составит 0,25%.

При достаточной точности определения характеристик  $\bar{\rho}$ ,  $s_k^2$ ,  $d$  в качестве  $s_{c, \text{ид}}^2$  можно принимать  $s_{d, \text{ид}}^2$ , определяемую по формуле (95).

Если на каждой операции сокращения погрешности  $s_{ni}$  существуют, то погрешность сокращения составит

$$s_c^2 = 2\bar{\rho} s_k^2 \bar{d}^3 (1/q_n - 1/q_0) + \sum_{i=1}^n s_{ni}^2.$$

#### 46. ПОГРЕШНОСТЬ ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ

Подготовка пробы обычно не сводится только к операциям сокращения. Важнейший прием, обеспечивающий снижение погрешности дискретности пробы, — уменьшение размера отдельных кусков, т. е. дробление, измельчение, истирание.

Изменение крупности пробы приводит к изменению характеристик, предопределяющих погрешность сокращения,  $s_k$  и  $d$ .

Обозначим номер операции дробления через  $j$ , причем если исходная проба обрабатывается без дробления, то  $j=0$ .

Очевидно, что при последовательном выполнении операций сокращения и дробления погрешность подготовки  $s_{\text{под}}$  будет равна

$$s_{\text{под}}^2 = \sum_{j=0}^k (s_{cj}^2 + \sum_i s_{nij}^2 + s_{pj}^2),$$

где  $s_{cj}$  — погрешность сокращения на  $j$ -й операции;  $s_{nij}$  — погрешность, связанная с неидеальностью перемешивания пробы на  $i$ -й операции сокращения при крупности  $j$ ;  $s_{pj}$  — погрешность, предопределяемая операцией дробления (разрушения) пробы при крупности  $j$ .

Погрешность, вносимая операциями дробления, может иметь как случайную, так и систематическую составляющую. Случайная составляющая связана с механическими потерями (просыпями). Систематическая составляющая связана с удалением какого-либо класса в процессе дробления (как правило, пыли).

Следовательно, погрешность подготовки пробы описывается формулой

$$s_{\text{под}}^2 = \sum_{j=0}^k \left[ 2\overline{\rho s}_{kf}^2 \overline{d}_j^3 \left( 1/q_{nj} - 1/q_{0j} \right) + \sum_i s_{ni}^2 + s_{pj}^2 \right]. \quad (96)$$

Наименьшая погрешность подготовки пробы  $s_{\text{д min}}^2$  достигается при измельчении всей исходной пробы до конечной крупности

$$s_{\text{д min}}^2 = \Delta s_{11}^2 = 2\overline{\rho s}_{kf}^2 \overline{d}_{\text{кон}}^3 \left( 1/q_{\text{кон}} - 1/q_0 \right),$$

где  $\Delta s_{11}^2$  — приращение дисперсии погрешности пробы при выполнении одной операции сокращения от  $q_0$  до  $q_{\text{кон}}$  после дробления пробы до конечной крупности  $d_{\text{кон}}$ , предопределяемое только характеристикой измельченного материала и массой конечной навески  $q_{\text{кон}}$ .

Хотя погрешность дискретности в этом случае минимальна, по технико-экономическим соображениям такие условия чаще всего не используют, а применяют чередование операций дробления до некоторых промежуточных крупностей и сокращения на этих крупностях. Погрешность дискретности при этом не будет наименьшей, однако за счет рационального выбора соотношения степеней дробления и сокращения можно обеспечить относительно небольшое увеличение такой погрешности.

Влияние этих погрешностей отражено на рис. 44.

Для простоты рассмотрим случай, когда проба дробится только один раз, т. е.  $k=1$ . Нанесем две кривые покусковой дисперсии для  $j=0$  (1) и  $j=1$  (2) (или крупности  $d_0$  и  $d_1$ ).

Начальная проба имеет погрешность дискретности, соответствующей точке А. Сократив пробу, например пополам, придем в точку В характеристики 1. Дальнейшее сокращение пробы этой крупности  $d_0$  привело бы к резкому возрастанию погрешности. При этом, кроме погрешности дискретности  $\Delta s_{\text{д}10}^2$ , добавятся погрешность неоднородности при сокращении  $s_{\text{н}10}^2$  и погрешность, связанная с операцией дробления  $s_{\text{р}1}^2$ . В итоге при переходе в точку С погрешность пробы возрастет до величины, соответствующей точке В<sub>2</sub>.

Если пробу раздробить, то переходим на характеристику 2. Заметим, что уже имеющаяся в точке В погрешность дискретности пробы не исчезает. По характеристике  $j=1$  будем определять следующие приращения погрешностей. Сократив пробу при этой крупности в 2 раза, получим приращение погрешности, соответствующее подъему кривой 2 от точки С до точки D. Сократив пробу еще в 8 раз, получим приращение погрешности, соответствующее приращению ординаты от точки D до точки E.

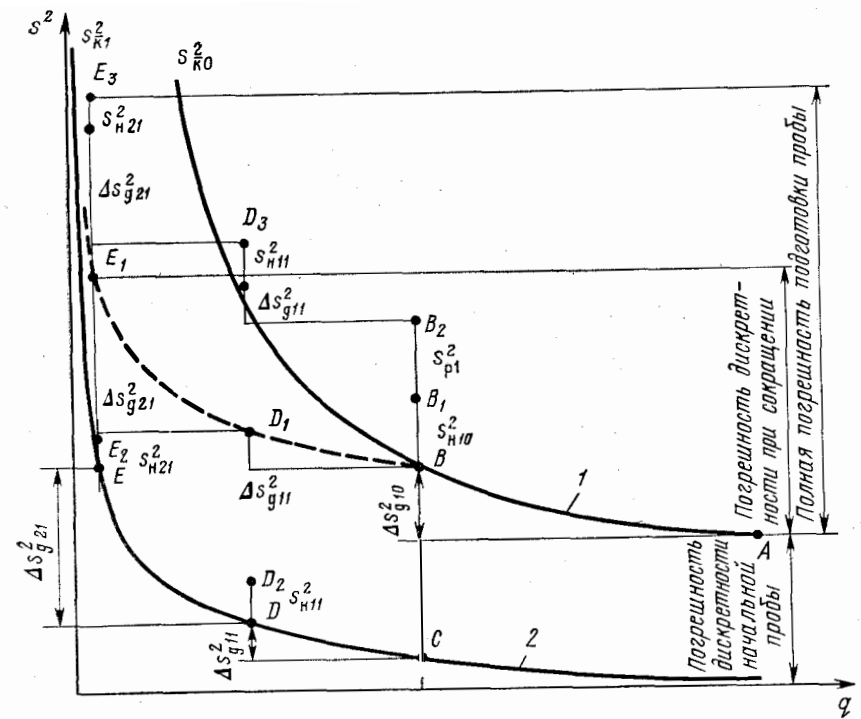


Рис. 44. К объяснению изменения погрешности подготовки пробы с изменением ее массы и крупности

При выполнении этих операций добавятся погрешности  $\Delta s_{\text{д}11}^2$  и  $s_{\text{н}11}^2$ , а также  $\Delta s_{\text{д}21}^2$  и  $s_{\text{н}21}^2$ . Погрешность же, связанная с отбором и подготовкой пробы, возрастает до значения, соответствующего точке E<sub>3</sub>.

Итоговая линия нарастания погрешности сокращения в этом случае (при наличии дробления) соответствует  $ABD_1E_1$ .

Погрешность, формирующуюся вследствие плохого перемешивания (погрешность неоднородности) пробы, будет приводить к увеличению результирующей погрешности в каждой точке сокращения, т. е. в В, D, E.

Погрешность, возникающая при выполнении операции дробления, добавится в точке дробления В.

В итоге полная погрешность подготовки пробы будет описана линией  $AB_2D_3E_3$ .

#### 47. ПОГРЕШНОСТЬ ОТБОРА НАВЕСКИ ДЛЯ АНАЛИЗА

Навеска, направляемая на анализ, обычно имеет очень малую массу, и хотя крупность материала также невелика, именно на этапе формирования навески можно допустить большую погрешность.

Погрешность дискретности навески  $s_{\text{нав}}^2$ , рассчитываемая по формуле, вытекающей из выражения (96):

$$s_{\text{нав}}^2 = 2s_{\text{к нав}}^2 \bar{\rho} \bar{d}^3 (1/q_{\text{нав}} - 1/q_{\text{нач}}) = 2\alpha (\beta_{\text{м}} - \alpha) [1 - \alpha/\beta_{\text{м}} + \alpha\rho_{\text{п}}/(\beta_{\text{м}}\rho_{\text{м}})]^2 \times \rho_{\text{м}} \bar{d}_{\text{нав}}^3 \cdot (1/q_{\text{нав}} - 1/q_{\text{нач}}), \quad (97)$$

является наименьшей из возможных. Здесь дисперсия покускового отбора навески вычислена аналитически.

Погрешность дискретности может быть значительной, как это уже было показано.

Пример. Пусть определяют содержание золота в пробе. Ожидаемое содержание 2 г/т, или  $2 \times 10^{-6}$  долей ед. Проба подготовлена к анализу и измельчена до крупности 0,1 мм, следовательно,  $\bar{d}_{\text{с.нав}} = 0,05$  мм. Для спектрометрического анализа отбирают навеску 12 г от пробы массой 150 г. Плотность руды 3 г/см<sup>3</sup>, плотность золота 18 г/см<sup>3</sup>. По формуле (97) с введением согласующего множителя  $10^{-6}$  и коэффициента формы имеем

$$\bar{d}_{\text{нав}}^3 = \bar{f} \bar{d}_{\text{с.нав}}^3; \\ s_{\text{нав. min}}^2 = 2(18/3) 2 \cdot 10^{-6} (1 - 2 \cdot 10^{-6}) [1 - 2 \cdot 10^{-6}/1 + (2 \cdot 10^{-6}/1) \cdot (3/18)]^2 \times \\ \times 3 \cdot 0,5 \cdot 0,05^3 (1/0,012 - 1/0,150) \cdot 10^{-6} = 0,345 \cdot 10^{-12}.$$

Следовательно, минимальная средняя квадратическая погрешность отбора навески для анализа составит

$$s_{\text{нав. min}} = 0,59 \cdot 10^{-6} \text{ доли ед.}$$

Доверительный интервал погрешности  $\Delta_{\text{нав}}$  при доверительной вероятности 95 % составит

$$\Delta_{\text{нав}} = t s_{\text{нав. min}} = 2 \cdot 0,59 \cdot 10^{-6} = 1,18 \cdot 10^{-6}.$$

Это значит, что погрешность дискретности при отборе навески имеет относительную величину  $P_{\text{нав}}$ :

$$P_{\text{нав}} = 100 \Delta_{\text{нав}} / \alpha = 100 \cdot 1,18 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10^{-6}) = 59 \text{ \%}.$$

Естественно, такого рода расчеты приводят к коренному изменению методик работы с пробой [17].

Массу навески при заданной погрешности отбора  $\pm \Delta_{\text{нав}}$  можно определить по формуле

$$(1/q_{\text{нав}} - 1/q_{\text{нач}})^{-1} = 2 \cdot 10^{-6} \bar{f} s_{\text{к нав}}^2 \bar{\rho} \bar{d}_{\text{с нав}}^3 / s_{\text{нав}}^2; \\ s_{\text{нав}}^2 = (0,5 \Delta_{\text{нав}})^2 = (0,5 P_{\text{нав}} \alpha)^2; \\ s_{\text{к}}^2 = (\rho_{\text{м}}/\rho_{\text{п}}) \alpha (\beta_{\text{м}} - \alpha) [1 - \alpha/\beta_{\text{м}} + \alpha\rho_{\text{п}}/(\beta_{\text{м}}\rho_{\text{м}})]^2.$$

Здесь  $P_{\text{нав}}$  — заданная погрешность отбора навески, доли ед.

В данном случае речь идет именно о погрешности аналитической навески от тщательно перемешанной, измельченной до крупности 0,1 мм пробы, а не о погрешности результата опробования в целом.

Примем для примера плотность минерала равной 7 г/см<sup>3</sup>, руды и породы — 3,5 г/см<sup>3</sup>, содержание полезного компонента в минерале 70 %, тогда

$$q_{\text{нав}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \bar{f} \bar{\rho} \bar{d}_{\text{с.нав}}^3 (\rho_{\text{м}}/\rho_{\text{п}}) \alpha (\beta_{\text{м}} - \alpha) [1 - \alpha/\beta_{\text{м}} + \alpha\rho_{\text{п}}/(\beta_{\text{м}}\rho_{\text{м}})]^2}{0,25 P_{\text{нав}}^2 \alpha^2} = \\ = 8 \cdot 10^{-6} \bar{f} \rho_{\text{м}} \bar{d}_{\text{с.нав}}^3 (\beta_{\text{м}}/\alpha - 1) \cdot [1 - \alpha/\beta_{\text{м}} + \alpha\rho_{\text{п}}/(\beta_{\text{м}}\rho_{\text{м}})]^2 / P_{\text{нав}}^2. \quad (98)$$

Для малых содержаний выражение в квадратных скобках равно единице, тогда

$$q_{\text{нав}} = 8 \cdot 10^{-6} \bar{f} \rho_{\text{м}} \bar{d}_{\text{с.нав}}^3 (\beta_{\text{м}}/\alpha - 1) / P_{\text{нав}}^2.$$

Для  $\alpha = 0,01$  % (или 100 г/т) и  $P_{\text{нав}} = 0,01$

$$q_{\text{нав}} = (8 \cdot 0,5 \cdot 7 / 0,01^2) (70 / 0,01 - 1) \cdot 0,05^3 \cdot 10^{-6} = 0,245 \text{ кг,}$$

т. е. для этих условий аналитическую навеску следует брать массой 245 г.

Приведем зависимость массы навески  $q_{\text{нав}}$ , обеспечивающей при отборе навески относительную погрешность дискретности  $\pm P$  (%) для навесок с максимальной крупностью 0,1 мм в зависимости от ожидаемого содержания (рис. 45). Переменные  $\alpha$  и  $q_{\text{нав}}$  по обеим осям отложены в логарифмическом масштабе.

Рассчитаем по формуле (98) массу навески для различных относительных массовых долей  $\alpha/\beta_{\text{м}}$  и различных допустимых относительных погрешностей отбора навески  $P$  (табл. 18). Чтобы пересчитать массу навески на конкретное отношение  $\rho_{\text{м}}/\rho_{\text{п}}$ , нужно приведенную в табл. 18 массу навески разделить на 2 и умножить на нужное отношение  $\rho_{\text{м}}/\rho_{\text{п}}$ .

В табл. 18 жирной чертой отделена зона, в которой отбор навески 1 г уже не обеспечивает указанной допустимой погрешности только отбора навески.

Вследствие того что в навеске материал пробы должен быть раскрыт, плотности отдельных зерен материала навески будут значительно отличаться. Такой материал склонен к сегрегации, и, несмотря на малую крупность зерен при обработке пробы, сегрегация может наступить. Поэтому при отборе навески предпочтительны способы отбора большого числа микропорций от пробы таким образом, чтобы исключить влияние возможной сегрегации. Это любые способы отбора порций по всей толщине пробы — полное пересечение потока материала пробы при ее истечении через отверстие, способ линейки, когда материал пробы располага-

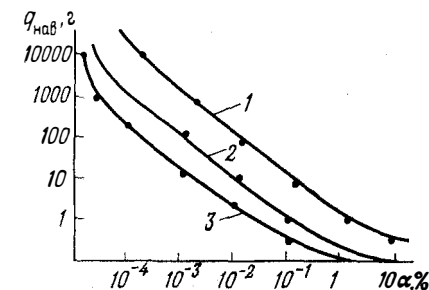


Рис. 45. Масса аналитической навески в функции содержания определяемого компонента и допустимой относительной погрешности дискретности  $P_{\text{нав}}$ : 1—3 — соответственно  $P_{\text{нав}}$  равна 1; 5 и 10 %



Таблица 18

Масса навески (г) для анализа при различных относительных погрешностях отбора навески  $P$  и массовой доле  $\alpha/\beta_m$  для  $\rho_m/\rho_n = 2$

Относительная массовая доля определяемого компонента $\alpha/\beta_m$	Относительная погрешность отбора навески $P$ , %						
	1	5	10	20	30	50	100
$10^{-6}$	30 000	1200	300	75	33	12	3
$10^{-5}$	3000	120	30	7,5	3,3	1,2	0,3
$10^{-4}$	300	12	3	0,75	0,33	0,12	0,03
$10^{-3}$	30	1,2	0,3	0,075	0,033	0,012	0,003
$10^{-2}$	2,9	0,1	0,03	—	—	—	—
$10^{-1}$	0,24	0,01	0,0024	—	—	—	—

ется длинной узкой полосой на краю стола и от этой полосы шпателем отбирается 200—300 микропорций.

Отбор навески для анализа — исключительно ответственная операция и должна осуществляться для малых содержаний методом выделения в навеску большого числа микропорций, а сама навеска должна иметь достаточно большую массу.

#### 48. ПОГРЕШНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ НАВЕСКИ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА

Формулы, представленные в разд. 44—47, справедливы при всех видах опробования, в том числе и при методах, при которых навеска не отбирается, в частности при многих определениях массовой доли в потоках сыпучих и пульпообразных материалов, при рентгеноспектральном анализе и т. п. Во всех этих случаях анализируемая навеска представляет собой часть материала, формирующая сигнал, трактуемый как результат анализа.

Так, известно, что проникающая способность рентгеновского излучения невелика и может составлять доли миллиметра. Вычислим массу навески для рентгеноспектрального анализатора СРМ-18. Диаметр кюветы  $d=45$  мм. Если активная толщина облучаемого материала будет  $h=0,5$  мм и его объемная плотность  $\rho_n=1,5$  г/см<sup>3</sup>, то масса навески

$$q = \rho_n h \pi d^2 / 4 = 1,5 \cdot 0,05 \pi \cdot 4,5^2 / 4 = 1,2 \text{ г.}$$

Эта навеска примерно равна навеске для химического анализа для многих продуктов. Правда, пока предполагают, что все части слоя в 0,5 мм в кювете играют одинаковую роль в формировании флуоресцентного излучения.

В общем случае масса навески при всех видах геофизического опробования равна массе материала, активно формирующего полезный сигнал прибора.

Так, при непрерывных методах анализа для всех анализаторов в потоке, в том числе для СРМ-13, масса навески

$$q = hbv\tau\rho = V_a\rho, \quad (99)$$

где  $h$  — активная толщина облучаемого материала;  $b$  — активная ширина облучаемого материала;  $v$  — скорость перемещения материала в зоне экспозиции;  $\tau$  — продолжительность экспозиции;  $\rho$  — объемная плотность потока по твердому материалу;  $V_a$  — активный объем материала.

В некоторых случаях, например в устройствах определения массовой доли в потоке материала в вагонетках, на конвейере, поток облучения пробы прерывается и за время экспозиции  $\tau$  излучение на пробу поступает порциями. Сквозность этих порций  $v$

$$v = (\Delta\tau_{из} + \Delta\tau_{п}) / \Delta\tau_{из},$$

где  $\Delta\tau_{из}$  — длительность одной порции излучения;  $\Delta\tau_{п}$  — длительность паузы между порциями.

Тогда формула (99) примет вид

$$q = hbv\tau\rho v^{-1}.$$

Для неподвижного материала, например при использовании накладных датчиков, кювет, масса навески также зависит от активного объема материала, т. е. объема, подвергающегося облучению и испускающего характеризующее массовую долю компонента излучение.

Расчеты могут показать, что при использовании методов, казалось бы обеспечивающих высокую представительность, например, при использовании радиоизотопных зондов, масса навески для анализа может быть небольшой, что непосредственно будет сказываться на результатах опробования.

Глубина проникновения излучений, с учетом выхода характеристического излучения, составляет, см:

Излучение	Рентгеновское	Нейтронное
Элементы:		
Pb, W, Hg . . . . .	0,1	—
Cu, Zn, Sb . . . . .	0,1—0,3	—
Тяжелые . . . . .	—	10—20
Be, Al, F . . . . .	—	3—5

При использовании проникающих излучений масса навески определится для неподвижной пробы по формуле (99) и для перемещаемого материала по формуле

$$q = V_a\rho = h_n b v \tau \rho v^{-1},$$

где  $V_a$  — активный объем материала, через который проходит излучение;  $\rho$  — объемная плотность материала в потоке;  $h_n$  — толщина потока материала в зоне прохождения лучей;  $b$  — ширина

зоны, через которую проходят лучи;  $v$  — скорость потока;  $\tau$  — продолжительность измерения проникающего излучения;  $\nu$  — скважность импульсов излучения, если оно прерывается.

Погрешность такого рода навески определяется по формуле (97).

Особенность использования формулы (97) в этих условиях — часто трудно выделить в явном виде нужные для расчета величины. Величина  $q_{\text{нач}}$  — масса пробы, от которой отбирается навеска. Эта масса может быть известна, например, масса пробы, помещаемой в кювету анализатора, либо масса пробы, проходящей за время экспозиции через измерительный прибор. В этих условиях известны  $d_{\text{нав}}$  и  $s_{\text{к нав}}^2$ .

Если же проба не отбирается, то активный объем следует рассматривать как точечную пробу, которая анализируется без подготовки, тогда

$$s_{\text{нав}}^2 = s_{\text{т}}^2,$$

где  $s_{\text{т}}^2$  — дисперсия точечных проб массой, равной массе активного объема, определяемая так, как это описано в разд. 39.

#### 49. ПОГРЕШНОСТЬ ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ С ОБОГАЩЕНИЕМ

Типичное сочетание операций при подготовке пробы (см. рис. 42) в ряде случаев нарушается. В схеме появляется еще одна операция — обогащение (рис. 46).

Значение такой операции состоит в том, что выделение концентрата — продукта, содержащего основную долю определяемого компонента, в отдельный продукт, который в последующем под-

вергается анализу, позволяет направить на анализ гораздо большую массу определяемого компонента, чем та, которая могла бы оказаться в навеске из необогащенного материала, а тем самым снизить погрешность подготовки пробы.

Сопоставим такую схему с обычной. Погрешность обычной подготовки пробы определяется по формуле (96).

Если проба целиком подвергается анализу, то, естественно,

$$s_{\alpha \text{ под}}^2 = 0.$$

Погрешность подготовки и анализа будет

$$s_{\alpha}^2 = s_{\alpha \text{ под}}^2 + s_{\text{ан}}^2.$$

При подготовке пробы с обогащением результат определяется по формуле

$$\bar{\alpha} = (\alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2) / q_0.$$

Погрешность в соответствии с формулой сводного показателя

$$s_{\alpha}^2 = (q_1^2 s_1^2 + q_2^2 s_2^2 + \alpha_1^2 s_{q1}^2 + \alpha_2^2 s_{q2}^2 + \bar{\alpha}^2 s_{q0}^2) / q_0^2. \quad (100)$$

Используя формулы (96) и (100), запишем

$$s_{\alpha}^2 = \frac{1}{q_0^2} \sum_{l=1}^2 \left\{ q_l^2 \sum_{j=0}^k \left[ 2s_{\text{к}jl}^2 \bar{\rho} d_{ij}^3 (1/q_{\text{к}lj} - 1/q_{\text{н}lj}) + s_{\text{п}j}^2 + \sum_i s_{\text{н}lj}^2 + s_{\text{ан}l}^2 \right] + \alpha_l^2 s_{ql}^2 + \alpha_{\bullet}^2 s_{q0}^2 \right\}. \quad (101)$$

Анализируя формулу (101), можно видеть, что  $s_{\alpha}^2$  может быть как больше, так и меньше  $s_{\alpha}^2$ , найденной без обогащения пробы. Все зависит от характера изменения дисперсий  $s_{\text{к}jl}^2$ .

Если пробу вначале подвергают обычной подготовке до некоторой массы, а при достижении массы  $q_0$  обогащают, т. е. делят на две части с разным содержанием определяемого компонента, то погрешность подготовки и анализа определяют по формуле

$$s_{\alpha}^2 = \sum_{j=0}^k \left[ 2s_{\text{к}jl}^2 \bar{\rho} d_{ij}^3 (1/q_0 - 1/q_{\text{нач}}) + s_{\text{п}j}^2 + \sum_i s_{\text{н}ij}^2 \right] + \frac{1}{q_0^2} \sum_{l=1}^2 \left\{ q_l^2 \sum_{j=1}^{k_l} \left[ 2s_{\text{к}jl}^2 \bar{\rho} d_{ij}^3 (1/q_{\text{к}lj} - 1/q_{\text{н}lj}) + \sum_i s_{\text{н}lj}^2 + s_{\text{п}j}^2 + s_{\text{ан}l}^2 \right] + \alpha_l^2 s_{ql}^2 + \alpha_{\bullet}^2 s_{q0}^2 \right\}.$$

**Закономерности преобразования проб.** Преобразование (подготовка) проб приводит к увеличению случайной погрешности.

**Закономерность I.** Погрешность сокращения пробы при тщательном перемешивании — функция покусковой дисперсии, массы и крупности материала.

Отсюда следуют важные выводы:

погрешность отбора аналитической навески в связи с большим изменением массы пробы может достигать большой величины; относительная погрешность сокращения резко возрастает с уменьшением массовой доли определяемого компонента.

**Закономерность II.** Погрешность подготовки пробы будет либо наименьшей при анализе всей пробы, либо близкой к наименьшей при отборе аналитической навески от пробы, измельченной целиком до крупности аналитической навески.

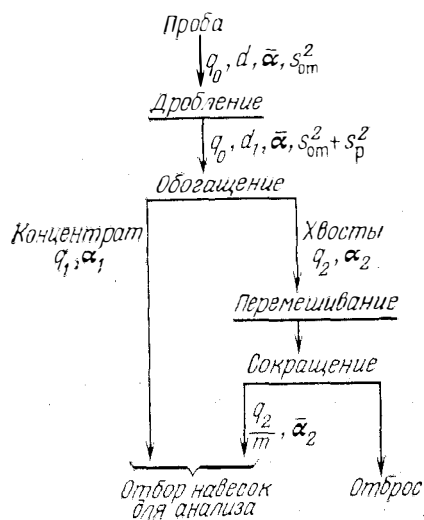


Рис. 46. Схема подготовки проб с обогащением

*Закономерность III.* Включение в схему подготовки пробы операции обогащения с отдельным анализом полученных концентрата и хвостов приводит к снижению погрешности результата.

## VII. ПОГРЕШНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ОПРОБОВАНИЯ

### 50. СТРУКТУРА ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА

Результат опробования — некоторое число  $\alpha$ , которое отличается от истинного значения  $\alpha_{ист}$  на величину  $\Delta\alpha_{рез}$ :

$$\Delta\alpha_{рез} = \alpha - \alpha_{ист}.$$

Структура  $\Delta\alpha_{рез}$  сложна. Эта погрешность формируется на всех этапах работы с пробой, и, следовательно,

$$\Delta\alpha_{рез} = \Delta\alpha_{от} + \Delta\alpha_{под} + \Delta\alpha_{ан}, \quad (102)$$

где  $\Delta\alpha_{от}$  — погрешность отбора пробы;  $\Delta\alpha_{под}$  — погрешность подготовки пробы;  $\Delta\alpha_{ан}$  — погрешность анализа.

Каждая из погрешностей формулы (102) содержит систематическую  $\Delta\alpha_c$ , случайную  $ts_\alpha$  и вероятную систематическую  $\Delta\alpha_{вер}$  погрешности, следовательно,

$$\Delta\alpha_{рез} = \Delta\alpha_c + ts_\alpha + \Delta\alpha_{вер}.$$

Обычно отсутствие систематической погрешности результата называется правильностью опробования. Основные причины возникновения систематической погрешности — нарушение соответствия точечных проб соотносимым с ними элементам массива (нарушение требования непредпочтительности) при отборе точечных проб, сегрегация проб в процессе их подготовки, а также потери материала проб либо их засорение и, наконец, наличие систематической погрешности метода анализа.

Систематическая погрешность должна быть выявлена и устранена. Случайная погрешность результата неустранима. Она является следствием ограниченного числа точечных проб, ограниченной массы пробы на всех этапах ее подготовки, ограниченной массы навески, неидеальности выполнения операций перемешивания, дробления, сушки пробы, наличия случайных отклонений от требуемых параметров и действий при выполнении операций при анализе.

Неустранимость случайной погрешности не означает невозможности ее снижения. Увеличение числа точечных проб, снижение крупности пробы, повышение качества выполнения различных операций — действенные пути снижения случайной погрешности.

Вероятная систематическая погрешность, появляющаяся вследствие асимметричности распределения массовой доли определяемого компонента в отдельных рассматриваемых порциях (пробах, кусках), может быть снижена увеличением числа этих порций в объединенной пробе или вычислена и учтена.

### 51. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ОПРОБОВАНИЯ

Проверка наличия систематической погрешности — проверка правильности результата.

Особенность опробования руд и продуктов обогащения состоит в том, что для этих условий невозможно иметь эталон, с помощью которого можно было бы проверить правильность результата. Перед нами, как правило, всегда неизвестный опробуемый массив, на котором невозможно выполнить прямую проверку на правильность результата. Поэтому обычно такая проверка выполняется косвенно, путем сопоставления контролируемого результата с другими, получаемыми заведомо более совершенным либо более апробированным путем.

Эталон как наилучшее средство контроля правильности используется для проверки правильности выполнения некоторых операций опробования, в частности анализа. Так как анализ выполняется на небольших навесках, возможно приготовить эталоны — навески концентратов (чаще всего) с заранее заданными свойствами и массовыми долями контролируемых компонентов.

Очевидная трудность состоит в том, что на ход анализа, его методику, конкретные числовые характеристики расчетных формул обычно влияет весь минеральный состав продукта (концентрата). Следовательно, эталон нужно готовить для каждой фабрики свой. Приготовление эталона связано с техническими трудностями, так как концентраты обогатительных фабрик, а следовательно, и их эталоны — продукты плохо перемешиваемые, склонные к сегрегации при любой крупности, изменению своего состава как при приготовлении, так и при хранении и т. п. Поэтому, хотя уже известны эталоны ряда продуктов фабрик цветной металлургии и асбообогатительных фабрик, широкого распространения проверка правильности с помощью эталонов не получила.

Сравнительно проще использовать неразрушаемые эталоны. Такие эталоны широко применяют для рентгеноспектральных анализаторов. В этих условиях эталон считается нормой. Эталоны готовят даже для условий опробования крупнокускового материала, например в вагонетках. Обычно это бетонные блоки, в которые при изготовлении внесен в соответствующей массовой доле минерал, элемент которого контролируется в рассматриваемых условиях. Блоков изготавливается несколько (3—4) с массовой долей компонента, перекрывающей возможные диапазоны его изменения в контролируемой массе. Блоки устанавливают либо на тележках, либо на поворотной платформе и периодически подают к измерительной части установки.

Математическое сравнение с эталоном выполняется по критерию Стьюдента

$$t_p = (\alpha - \alpha_0) / s_{в\alpha} < t_\tau,$$

где  $t_p$  и  $t_\tau$  — соответственно расчетное и табличное значения

критерия Стьюдента при принятой доверительной вероятности;  $\alpha$  — измеренная массовая доля компонента;  $\alpha_0$  — эталонное значение массовой доли;  $s_{вк}$  — средняя квадратическая погрешность воспроизводимости для проверяемой установки либо метода.

Погрешность воспроизводимости для установки оценивается заранее путем многократного измерения массовой доли на одном и том же продукте.

Для разрабатываемых образцов способов анализа (химических) оценка систематической погрешности ведется по допустимому расхождению

$$\Delta\alpha = (\alpha - \alpha_0) \leq \Delta\alpha_{доп},$$

где  $\Delta\alpha_{доп}$  — допустимое расхождение между параллельными определениями для эталонов, которое устанавливается по результатам многолетней практики анализа.

При отсутствии эталона проверку правильности ведут путем сравнения результата анализа в контролируемых условиях  $\alpha_1$  и условиях анализа, которые заведомо считаются верными  $\alpha_2$ , например полученными в более технически совершенной либо более авторитетной лаборатории, либо с помощью более совершенной методики и аппаратуры по известному уже правилу

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 \leq \Delta\alpha_{доп}. \quad (103)$$

Если  $\Delta\alpha_{доп}$  не назначено, то следует использовать формулу

$$t_p = (\alpha_1 - \alpha_2) / s_{в(\alpha_1 - \alpha_2)} < t_r, \quad (104)$$

где  $s_{в(\alpha_1 - \alpha_2)}$  — погрешность воспроизводимости разности  $\alpha_1 - \alpha_2$ , которую определяют по формуле

$$s_{в(\alpha_1 - \alpha_2)} = \sqrt{s_{в\alpha_1}^2 + s_{в\alpha_2}^2}.$$

Формулу (104) удобнее приводить к формуле (103) пересчетом

$$\Delta\alpha_{доп} = t_r s_{в(\alpha_1 - \alpha_2)}.$$

Если систематическая погрешность установлена, то она должна быть устранена. Для этого нужно выявить причины, приводящие к систематической погрешности. Это часто непростая задача, требующая тщательной проверки методики анализа и исправности приборов. После определения причины погрешности нужно принять меры по устранению этой причины. Если причиной является медленное изменение характеристик материалов, параметров приборов (дрейф), то систематическая причина устраняется коррекцией результата либо показывающего прибора, а у рентгеноспектральных анализаторов — расчетного уравнения.

Однако все это возможно для одной части опробования — анализа — и почти неосуществимо для опробования в целом.

В таких условиях систематическая погрешность может существовать как угодно длительное время, а ее выявление может быть связано с длительными и трудоемкими работами.

Так как эталоны опробуемых масс не существуют, то нали-

чие систематической погрешности может быть оценено только по результатам определения массовой доли двумя способами — контрольным и сравнительным.

Для сравнения может быть выбран другой способ опробования, отличающийся от контрольного прежде всего другим характером выполнения операций, которые, по мнению специалистов, могут явиться причиной появления систематической погрешности.

Для проверки правильности работы пробоотбирателей либо условий отбора проб на конвейере останавливают конвейер под нагрузкой и отбирают пробы, счищая целиком материал с ленты в намеченных точках; для проверки правильности работы пробоотбирателей пульпы применяют отбор проб в тех же или близких точках с помощью других, проверенных пробоотбирателей либо путем, обеспечивающим более точный результат.

Для проверки правильности сокращения следует использовать как сравнительный более совершенный вариант, в частности, квадратование целесообразно проверять с помощью желобчатого сократителя либо электромеханического делителя.

Проверка правильности выполняется по критерию Стьюдента обычно для средних результатов, полученных при многократном опробовании масс контрольным и сравниваемым методами:

$$t_p = (\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_2) / s_{в(\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_2)} < t_r.$$

Здесь  $s_{в(\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_2)}$  — погрешность воспроизводимости результатов двух методов, определяемая по формуле

$$s_{в(\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_2)} = \sqrt{s_{в\alpha_1}^2 / n_1 + s_{в\alpha_2}^2 / n_2},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — число усредняемых результатов.

На обогатительных фабриках имеется еще одна уникальная возможность получать сравнительный результат — использование уравнений баланса компонентов. Если выполняется равенство

$$K_{вх} = K_{кон} + K_{хв}, \quad (105)$$

то систематическая погрешность отсутствует. Здесь  $K_{вх}$  — масса (объем) определяемого компонента, поданного за контрольный период на вход процесса обогащения;  $K_{кон}$ ,  $K_{хв}$  — масса этого же компонента, перешедшего соответственно в концентрат и хвосты.

Входящие в уравнение (105) массы компонентов должны быть определены независимо друг от друга.

Если равенство (105) не выполняется, то определяется невязка  $\Delta$

$$\Delta = K_{кон} + K_{хв} - K_{вх},$$

являющаяся признаком наличия систематической погрешности при опробовании.

Выявление и устранение систематической погрешности таким путем весьма трудоемко. Поэтому на фабриках стремятся устранить систематическую погрешность без ее расчета правильным

выполнением всех операций опробования и опробования в целом. Это достигается путем:

непредпочтительности отбора точечных проб от всех элементов опробуемой массы;

соответствия инструмента параметрам опробуемой массы;

исключения засорения либо потерь пробы на всех этапах работы с нею;

качественного выполнения операций перемешивания и сокращения, при этом необходимо избегать способов, при которых отбирается малое число микропорций даже при отборе навески (квадратование) либо материал отбирается не по всей глубине пробы;

соблюдения постоянных условий фильтрования и сушки пробы.

С целью обеспечения правильности результата большинство операций опробования жестко регламентируется путем подготовки инструкций опробования вплоть до издания государственных и международных стандартов.

*Определение вероятной систематической погрешности.* Вероятная систематическая погрешность является функцией массы точечной пробы:

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = \alpha_{\text{мо}} - \bar{\alpha},$$

где  $\alpha_{\text{мо}}$  — модальное значение массовой доли для точечных проб принятой массы;  $\bar{\alpha}$  — среднее значение массовой доли.

Величины  $\alpha_{\text{мо}}$  и  $\bar{\alpha}$  — характеристики распределения массовой доли, и для их определения нужно знать закон распределения. При большом числе данных это не составляет большого труда и может быть сделано по известным формулам

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^N \alpha_i / N; \quad \alpha_{\text{мо}} = \alpha_{\text{max}}$$

или по гистограмме по формуле  $\Delta\alpha = Mo(\alpha) - \bar{\alpha}$ .

При малом числе данных расчет  $\bar{\alpha}$  и  $\alpha_{\text{мо}}$  становится ненадежным.

## 52. ОБЩАЯ ФОРМУЛА И ДИАГРАММА ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ОПРОБОВАНИЯ

Случайная погрешность результата опробования  $s_{\text{рез}}$  складывается последовательно из случайных погрешностей отбора пробы  $s_{\text{от}}$ , ее подготовки  $s_{\text{под}}$  и анализа  $s_{\text{ан}}$ :

$$s_{\text{рез}}^2 = s_{\text{от}}^2 + s_{\text{под}}^2 + s_{\text{ан}}^2. \quad (106)$$

Погрешность отбора пробы  $s_{\text{от}}$  предопределяется условиями отбора — массой  $q_{\text{т}}$  и числом  $N_{\text{т}}$  точечных проб:

$$s_{\text{от}}^2 = s_{\text{т}}^2 / N_{\text{т}}. \quad (107)$$

Здесь  $s_{\text{т}}$  — среднее квадратическое отклонение значений опреде-

ляемой величины в точечных пробах принятой массы  $q_{\text{т}}$  на интервале опробования  $T$ .

Погрешность отбора пробы  $s_{\text{от}}$  всегда больше (в предельном случае равна) погрешности отбора пробы от тщательно перемешанного массива, определяемой формулой

$$s_{\text{д.от}}^2 = s_{\text{от.мин}}^2 = 2 \cdot s_{\text{к}}^2 \bar{d}^3 (1/q_0 - 1/q_{\text{мас}}).$$

Так как масса массива  $q_{\text{мас}}$  обычно велика, то

$$s_{\text{д.от}}^2 = s_{\text{от.мин}}^2 = 2 s_{\text{к}}^2 \bar{d}^3 / q_0.$$

Фактическая погрешность отбора пробы в связи с неоднородностью опробуемого массива всегда больше минимальной на величину

$$s_{\text{н}}^2 = s_{\text{т}}^2 - s_{\text{от.мин}}^2.$$

Погрешность подготовки пробы  $s_{\text{под}}^2$  зависит от схемы подготовки и ее параметров и определяется по формуле (96).

Погрешность анализа  $s_{\text{ан}}$  включает в себя погрешность  $s_{\text{нав}}$  отбора аналитической навески и погрешность выполнения операций собственного анализа (метода) либо аппаратного определения содержания компонента  $s_{\text{м}}$ :

$$s_{\text{ан}}^2 = s_{\text{нав}}^2 + s_{\text{м}}^2. \quad (108)$$

Аппаратурная погрешность (погрешность метода) просто определяется при методах анализа, не разрушающих навеску, например рентгеноспектральных. В этом случае  $s_{\text{м}}$  определяется как погрешность воспроизводимости результатов определения содержания в одной и той же навеске. В других случаях, например при химических методах, необходимо использовать дисперсионный анализ.

Погрешность результата опробования  $s_{\text{рез}} = \sqrt{s_{\text{рез}}^2}$ , таким образом, из формул (106) — (108), будет иметь вид

$$s_{\text{рез}}^2 = s_{\text{т}}^2 / N_{\text{т}} + \sum_{i=1}^k \left[ 2 s_{\text{к}i}^2 \bar{\rho} \bar{d}_i^3 (1/q_{\text{т}i} - 1/q_{0i}) + \sum_i s_{\text{н}ij}^2 + s_{\text{р}ij}^2 \right] + 2(\rho_{\text{м}}/\rho_{\text{н}}) \alpha (\beta_{\text{м}} - \alpha) [1 - \alpha/\beta_{\text{м}} + \alpha \rho_{\text{п}}/(\beta_{\text{м}} \rho_{\text{м}})]^2 \times \bar{\rho} \bar{d}_{\text{нав}}^3 (1/q_{\text{нав}} - 1/q_{\text{н}к}) + s_{\text{м}}^2. \quad (109)$$

Эта погрешность формируется на всех этапах опробования (рис. 47).

Кривые 1—3 соответствуют изменению погрешностей дискретности для пробы исходной крупности ( $j=0$ ), дробленой пробы ( $j=1$ ) и измельченной до крупности аналитической навески ( $j=2$ ).

Формирование погрешности результата отражает линия  $PARB_3D_3F_2G$ .

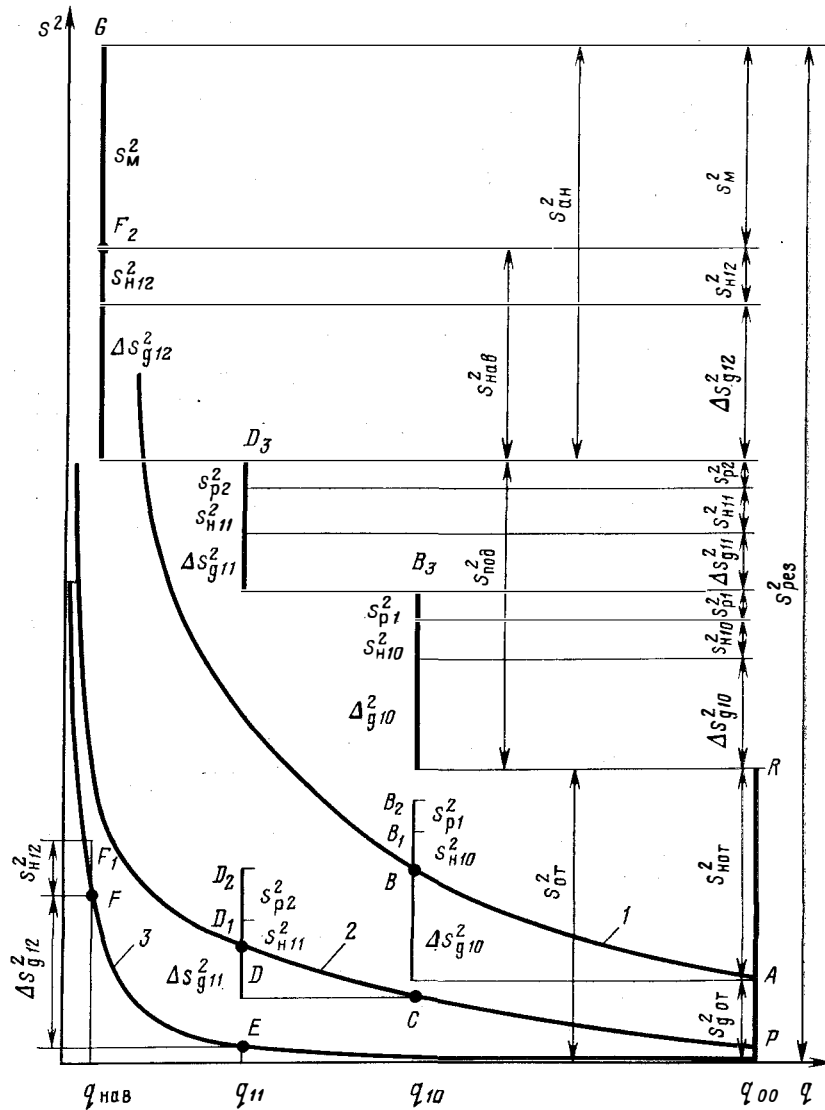


Рис. 47. Общая диаграмма формирования погрешности результата опробования

Отобранная проба массой  $q_n = q_{00}$  имеет погрешность  $s^2_{от}$ , состоящую из погрешности дискретности  $s^2_{д.от}$  и погрешности неоднородности  $s^2_{н.от}$ . Сокращение пробы исходной крупности до массы  $q_{10}$  привносит погрешность дискретности  $\Delta s^2_{д10}$  и погрешность сокращения (качества перемешивания)  $s^2_{н10}$ . Дробление сокращенной пробы вносит погрешность  $s^2_{п1}$ . Сокращение дробленой пробы

до массы  $q_{11}$  вносит погрешность  $\Delta s^2_{д11}$  и  $s^2_{н11}$ , а измельчение (исстирание) этой же пробы вносит погрешность  $s^2_{п2}$ .

Отбор навески от измельченной пробы массой  $q_{нав}$  вносит погрешность  $s^2_{нав}$ , состоящую из погрешности дискретности  $\Delta s^2_{д12}$  и неоднородности  $s^2_{н12}$ . Собственно анализ определяет погрешность метода  $s^2_m$ .

Полная погрешность результата  $s^2_{рез}$  формируется как сумма всех этих погрешностей.

Естественно, соотношение между отдельными составляющими может быть весьма различным для различных конкретных ситуаций.

Формула (109) основная для расчета параметров опробования.

Если задана погрешность результата  $s_{рез}$ , то, варьируя числом точечных проб  $N_t$ , крупностями  $d_j$ , числом операций дробления  $k$  при сокращении, массами, до которых осуществляется сокращение при крупности  $j$ , и, наконец, массой аналитической навески  $q_{нав}$ , можно рассчитать и выбрать рациональный вариант параметров опробования.

### 53. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ОПРОБОВАНИЯ

В основу экспериментального метода положено параллельное парное выполнение одних и тех же операций.

Если расхождения между двумя результатами выполнения одной и той же операции составляют в среднем по абсолютной величине  $\Delta\alpha$ , т. е.  $\Delta\alpha = |\overline{\Delta\alpha_i}|$ , то по свойству нормального закона распределения  $s_{\Delta\alpha} = 1,25\Delta\alpha$ . Но так как  $\Delta\alpha_i = \alpha_{1i} - \alpha_{2i}$ , то

$$s_{\Delta\alpha}^2 = s_{\alpha_1}^2 + s_{\alpha_2}^2 = 2s_{\alpha}^2.$$

Отсюда

$$\sqrt{2} s_{\alpha} = 1,25\Delta\alpha$$

или

$$s_{\alpha} = \Delta\alpha/1,13 = 0,886\Delta\alpha. \quad (110)$$

Здесь  $\Delta\alpha = |\overline{\Delta\alpha_i}|$  — простая средняя погрешность. С учетом формулы (110) выполняется дисперсионный анализ результатов для схемы (рис. 48). Согласно схеме, от партии отбирается  $N_t$  точечных проб, которые образуют две объединенные пробы. Обе пробы делят пополам и подвергают обработке. Анализ также выполняют для параллельных навесок. Работу по схеме (см. рис. 48) необходимо выполнять  $M$  раз (в ГОСТах  $M=10$ ).

Погрешность анализа

$$s_{ан} = \overline{\Delta\alpha_{ан}}/1,13;$$

$$\overline{\Delta\alpha_{ан}} = \sum_j \sum_i \Delta\alpha_{анij} / (nM).$$

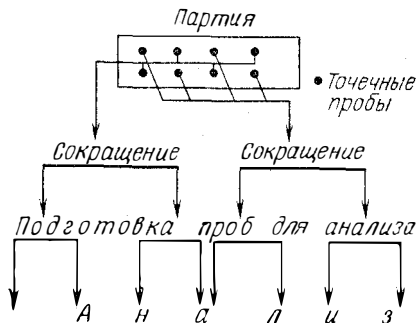


Рис. 48. Схема отбора и подготовки навесок для анализа

Погрешность подготовки

$$s_{\text{под}}^2 = (\overline{\Delta\alpha_{\text{под}}}/1,13)^2 - 0,5s_{\text{ан}}^2;$$

$$\overline{\Delta\alpha_{\text{под}}} = \sum_j \sum_i \Delta\alpha_{\text{под } ji} / (kM).$$

Погрешность отбора проб

$$s_{\text{от}}^2 = (\overline{\Delta\alpha_{\text{от}}}/1,13)^2 - 0,5s_{\text{под}}^2 - 0,25s_{\text{ан}}^2;$$

$$\overline{\Delta\alpha_{\text{от}}} = \sum_i \Delta\alpha_{\text{от } i} / M.$$

Здесь  $\overline{\Delta\alpha_{\text{ан}}}$ ,  $\overline{\Delta\alpha_{\text{под}}}$ ,  $\overline{\Delta\alpha_{\text{от}}}$  — средние разности результатов соответствующих операций, вычисленные по всем полученным данным для  $M$  повторений работы. Анализ выполнен для  $n$  параллельных навесок  $M$  раз. Подготовка выполнена для  $k$  параллельных проб  $M$  раз. Отбор двух объединенных проб выполнен  $M$  раз, т. е. от  $M$  партий или опробуемых масс.

## VIII. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ОПРОБОВАНИЯ

### 54. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРОБОВАНИЯ

Для существующих схем опробования могут быть найдены фактические погрешности. Расчет погрешности результата опробования выполняется по формуле (109), а также формулам, позволяющим вычислить ее составляющие: (96), (97), (107).

Примеры. 1. Расчет случайной погрешности опробования хвостов медной флотации для сменного результата. Исходные данные. Расход сухой руды 100 т/ч, выход хвостов  $\gamma_{\theta} = 0,96$ , средняя массовая доля меди в хвостах 0,05%, крупность хвостов  $d_{\text{max}} = 0,5$  мм. Колебания массовой доли в точечных пробах в течение смены 0,04—0,1%. Число точечных проб, из которых формируется сменная проба, — 48 (проботбиратель отбирает точечную пробу каждые 10 мин).

Масса точечной пробы

$$q_{\text{T}} = Q_{\theta} b / (3600v) = Q_{\gamma_{\theta}} b / (3600v) = 100 \cdot 0,96 \cdot 10 / (3600 \cdot 0,45) = 0,592 \text{ кг.}$$

Начальная масса пробы

$$q_{\text{н}} = q_{\text{T}} N_{\text{T}} = 0,592 \cdot 48 = 28,4 \text{ кг.}$$

Схема подготовки пробы хвостов приведена на рис. 49.

Из исходных данных

$$s_{\text{T}} = (0,10 - 0,04) / 4 = 0,015\%;$$

$$q_{0 \text{ нач}} = 28,4 \text{ кг}; \quad q_{0 \text{ кон}} = 0,355 \text{ кг}; \quad q_{1 \text{ нач}} = 0,355 \text{ кг};$$

$$q_{1 \text{ кон}} = 0,09 \text{ кг}; \quad \bar{d}_0 = 0,25 \text{ мм}; \quad \bar{d}_1 = 0,05 \text{ мм};$$

$$\bar{d}_{\text{нав}} = 0,05 \text{ мм}; \quad q_{\text{пак}} = 0,09 \text{ кг}; \quad q_{\text{нав}} = 0,001 \text{ кг.}$$

По результатам специальных исследований установлено, что средняя относительная квадратическая погрешность при доистирании пробы составляет 0,2%, а при сокращении — 0,5%. Следовательно

$$s_{\text{рj}} = 0,2/100 \cdot 0,05 = 1 \cdot 10^{-4}\%;$$

$$s_{\text{нj}} = 0,5/100 \cdot 0,05 = 2,5 \cdot 10^{-4}\%.$$

Погрешность метода измерения  $\Delta\alpha = 0,005\%$ :

$$s_{\text{м}} = 0,005/2 = 2,5 \cdot 10^{-3}\%.$$

Число анализируемых навесок  $n_{\text{нав}} = 2$ .

Дисперсия покускового опробования для хвостов флотации как для продукта, содержащего в основном раскрытые компоненты для крупности 0,5 и 0,1 мм, одинакова и равна для малых  $\alpha$

$$s_{\text{к}}^2 = \alpha \beta_{\text{м}} \rho_{\text{м}} / \rho_{\text{п}} = (4,2/3) \cdot 0,05 \cdot 34,6 = 2,422 (\%)^2,$$

где  $\rho_{\text{м}}$  — плотность халькопирита ( $\rho_{\text{м}} = 4,2 \text{ г/см}^3$ );  $\rho_{\text{п}}$  — плотность породы ( $\rho_{\text{п}} = 3 \text{ г/см}^3$ );  $\beta_{\text{м}}$  — массовая доля меди в минерале ( $\beta_{\text{м}} = 34,6\%$ ).

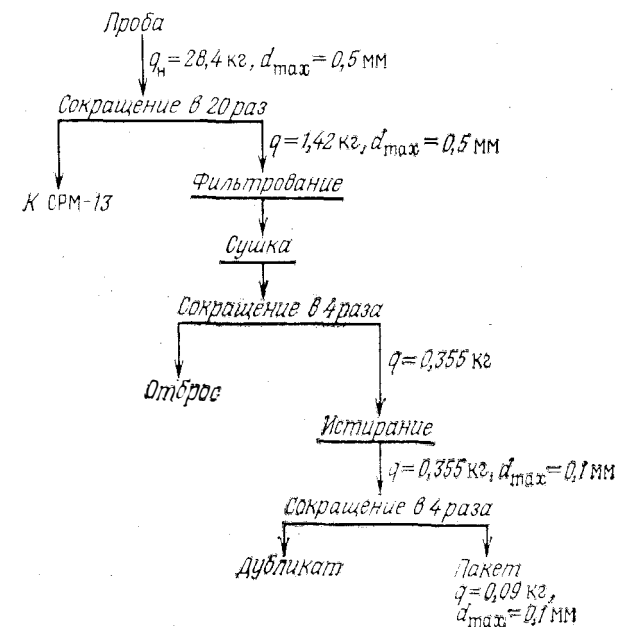


Рис. 49. Схема подготовки пробы хвостов

Рассчитываем погрешность

$$s^2_{рез} = \frac{0,015^2}{48} + \left[ 2 \cdot 2,422 \cdot 3 \cdot 0,25^3 \left( \frac{1}{0,355} - \frac{1}{28,4} \right) \times \right. \\ \times 10^{-6} + 2 \cdot 2,422 \cdot 3 \cdot 0,05^3 \left( \frac{1}{0,09} - \frac{1}{0,355} \right) \cdot 10^{-6} + 10^{-8} + \\ \left. + 3 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-8} \right] + \frac{1}{2} \left[ 2 \cdot 2,422 \cdot 3 \cdot 0,05^3 \left( \frac{1}{0,001} - \frac{1}{0,09} \right) \times \right. \\ \times 10^{-6} + 2,5^2 \cdot 10^{-8} + 2,5^2 \cdot 10^{-6} \left. \right] = 4,7 \cdot 10^{-6} + \left[ 0,63 \cdot 10^{-6} + \right. \\ \left. + 0,015 \cdot 10^{-6} + 10^{-8} + 18,75 \cdot 10^{-8} \right] + 0,5 \left[ 1,8 \cdot 10^{-6} + \right. \\ \left. + 6,25 \cdot 10^{-8} + 6,25 \cdot 10^{-6} \right] = 4,7 \cdot 10^{-6} + \left[ 0,63 \cdot 10^{-6} + \right. \\ \left. 0,015 \cdot 10^{-6} + 0,01 \cdot 10^{-6} + 0,1875 \cdot 10^{-6} \right] + \\ \left. + [0,9 \cdot 10^{-6} + 0,0312 \cdot 10^{-6} + 3,12 \cdot 10^{-6}] = 9,6 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, средняя квадратическая погрешность результата опробования хвостов  $s_{рез} = 3,1 \cdot 10^{-3} \%$ .

Доверительный интервал погрешности результата для 95 %-ной вероятности  $\Delta \vartheta_{рез} = 2 \cdot 3,1 \cdot 10^{-3} = 0,0062 \%$ .

Относительная погрешность результата опробования хвостов

$$P_{\theta} = 100 \Delta \vartheta_{рез} / \vartheta = 100 \cdot 0,0062 / 0,05 = 12,4 \%$$

Анализ цифр в такой записи, как это указано в примере, показывает, что основной вклад в погрешность результата вносят ограниченное число точечных проб и метод анализа. Подготовка пробы заметного влияния на погрешность не оказывает. Если в этих условиях увеличить число точечных проб, например до 96, и число параллельно анализируемых навесок довести до трех, то относительная погрешность результата будет снижена до 9,7 %.

2. Расчет погрешности опробования цинковой руды. *Исходные данные.* Производительность по руде 45 т/ч, влажность руды 10 %, крупность руды 35 мм, массовая доля  $\alpha = 7 \%$ . По размаху изменений  $\alpha$  в течение смены  $s_{\alpha} = 1 \%$ . Масса точечной пробы 4,09 кг; число точечных проб 70; начальная масса пробы 286 кг.

Схема подготовки пробы цинковой руды приведена на рис. 50.

Дисперсия покускового опробования для раскрытого продукта — навески

$$s^2_{к\max} = \frac{4}{3} \cdot 7 \cdot (67,1 - 7) \cdot \left( 1 - \frac{7}{67,1} + \frac{7 \cdot 3}{67,1 \cdot 4} \right)^2 = \\ = 532,06 (\%)^2.$$

Для продуктов крупностью 12; 4; 1,5 мм дисперсия покускового опробования определена экспериментально путем отбора 150 кусков средней крупностью 6; 2 и 0,75 мм (или их групп), анализа каждого куска и вычисления дисперсии. Установлено, что  $s_{\alpha}^2$  соответственно составила 398,13; 488,93 и 517,28  $(\%)^2$ .

Относительная погрешность неидеальности составляет 0,2 %, дробления — 0,1 %. Следовательно,  $s_{ниж} = 0,007 \%$  и  $s_{vj} = 0,0035 \%$ . Число анализируемых навесок  $n_{нав} = 3$ .

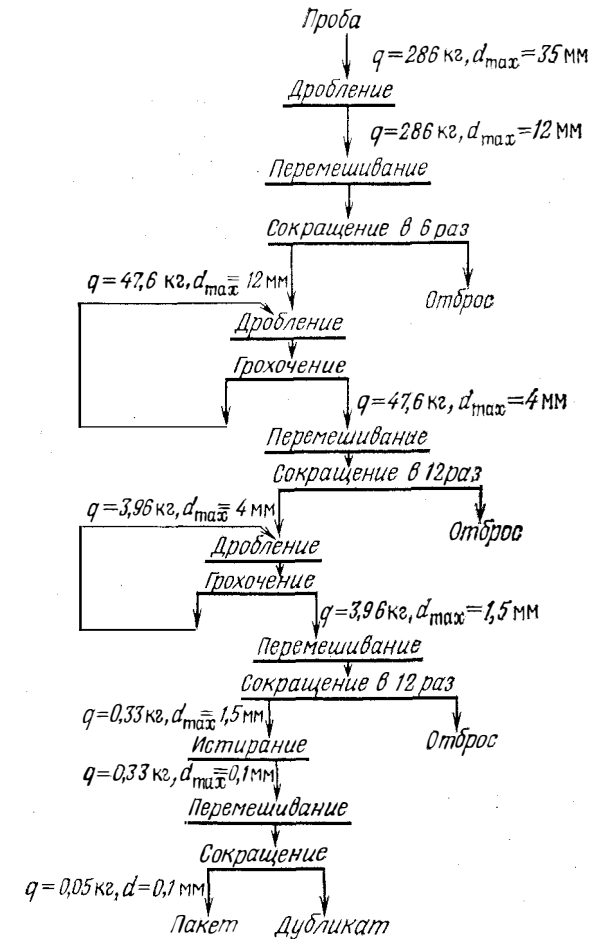


Рис. 50. Схема подготовки пробы цинковой руды

Погрешность метода анализа  $s_m$  при  $\Delta \alpha_{пар} = 0,12 \%$  составляет 0,106 %, а  $s_m^2 = 0,0113 (\%)^2$ . Определяем случайную погрешность

$$s^2_{рез} = s^2_{от} + s^2_{под} + s^2_{ан} = \frac{1}{70} + 2 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 398,13 \cdot 6^3 \left( \frac{1}{47,6} - \right. \\ \left. - \frac{1}{286} \right) \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 488,93 \cdot 2^3 \left( \frac{1}{3,96} - \frac{1}{47,6} \right) \cdot 10^{-6} + \\ + 2 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 517,28 \cdot 0,75^3 \cdot \left( \frac{1}{0,33} - \frac{1}{3,96} \right) \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,5 \cdot 3 \times \\ \times 533,06 \cdot 0,05^3 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,33} \right) \cdot 10^{-6} + 4 \cdot (0,007)^2 + 4 \cdot (0,0035)^2 +$$



$$+ \frac{1}{3} \left[ 2 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 532,06 \cdot 0,05^3 \cdot \left( \frac{1}{0,001} - \frac{1}{0,05} \right) \cdot 10^{-6} + 0,0113 \right] =$$

$$= 14286 \cdot 10^{-6} + 4517,9 \cdot 10^{-6} + 2716,7 \cdot 10^{-6} + 1818,6 \cdot 10^{-6} +$$

$$+ 3,39 \cdot 10^{-6} + 196 \cdot 10^{-6} + 49 \cdot 10^{-6} + (1/3) \cdot [195,5 \cdot 10^{-6} +$$

$$+ 11300 \cdot 10^{-6}] = 27419,4 \cdot 10^{-6} (\%)^2.$$

Отсюда  $s_{рез} = 0,1656 \%$ .

Относительная погрешность результата опробования составляет

$$P_{\alpha} = 2 \cdot 100 s_{рез} / \alpha = 2 \cdot 0,1656 \cdot 100 / 7 = 4,7 \%$$

## 55. РАСЧЕТ ОПРОБОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАНЫХ УСЛОВИЙ — СИНТЕЗ

Расчет опробования для заданных условий выполняется в следующем порядке.

*Выбор средств и способов опробования продуктов.* Способы и средства отбора проб взаимосвязаны и зависят от условий опробования. Каждый принятый способ отбора проб может быть реализован тем или иным средством для отбора проб, поэтому основная цель выбора средств и способа опробования заключается в том, чтобы последующим расчетом проверить, могут ли удовлетворить эти средства требуемым показателям. Выполнением этой части работы решается проблема устранения систематической погрешности, возникающей вследствие несоответствия точечных проб элементам массива, от которых эти пробы отбираются.

При выполнении этой части работы следует руководствоваться следующими рекомендациями. Для балансовых точек обогатительных фабрик следует применять только механические средства отбора проб. Среди них широкое распространение получили ковшовые, секторные, скреперные пробоотбиратели.

Традиционно опробование потоков руды, хвостов и концентрата на фабрике осуществляется методом поперечных сечений, что исключает систематическую погрешность при отборе пробы, хотя для опробования могут успешно использоваться и пробоотбиратели с продольным сечением потока.

*Расчет массы и числа точечных проб и массы накопленных проб.* Расчет массы точечной пробы определеннее всего выполняется для пробоотбирателей с поперечным сечением потока материала. Ковшовые пробоотбиратели получили распространение при поперечном способе отбора проб. Это любой пробоотбиратель, имеющий прямоугольную щель шириной  $b$ , перемещаемую поперек потока и служащую для выделения части этого потока в пробу. Отбираемая проба собирается в ковше или по желобу отводится в приемную емкость.

Секторные пробоотбиратели представляют собой радиальную щель, поворачиваемую при отборе пробы таким образом, чтобы щель пересекала поток производительностью  $Q$ , проходящий по вертикальной трубе.

Скреперные пробоотбиратели предназначены для

отбора проб непосредственно с ленточных конвейеров. Пробоотсекатель представляет собою открытый спереди и снизу скрепер, который счищает часть материала с ленты и сдвигает ее в приемный бункер.

При отборе проб пробоотбирателями с продольным сечением потока нужно знать производительность такого пробоотбирателя  $q_{п}$  и продолжительность отбора пробы  $\tau$ :

$$q_{\tau} = q_{п} \tau.$$

При отборе проб от неподвижных масс следует либо задать массы точечной пробы, либо принять ее соответствующей размерам инструмента — желонки, щупа, лопаты и т. п.

Для расчета числа точечных проб, например для исходной руды, необходимо знать среднее квадратическое отклонение  $s_{\tau}$  содержания определяемого компонента в пробах именно этой массы и для того контрольного периода, для которого выполняется расчет погрешности. Обычно  $s_{\tau}$  определяется экспериментально с использованием формулы

$$s_{\tau}^2 = \sum_i^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 / (n - 1).$$

Или для  $P = 95 \%$

$$s_{\tau}^2 = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min})^2 / 4.$$

В этом случае вариация масс проб за смену не учитывается.

Для учета коэффициента вариации масс  $V_q$  делаем пересчет дисперсии

$$s_{\tau q}^2 = s_{\tau}^2 (1 + 2V_q^2).$$

Теперь число точечных проб за смену

$$N_{\tau} = s_{\tau q}^2 / s_{\alpha_{от}}^2,$$

а масса накопленной начальной пробы руды, концентрата и хвостов за смену определится так:

$$q_{нач} = q_{\tau} N_{\tau}.$$

Здесь  $n$  — число точечных проб, отобранных для определения  $s_{\tau}$ ;  $\bar{\alpha}$  — среднее арифметическое содержание определяемого компонента в  $n$  точечных пробах, %;  $\alpha_i$  — содержание определяемого компонента в  $i$ -й точечной пробе, %;  $V_q$  — коэффициент вариации масс точечных проб, доли ед.;  $s_{\alpha_{от}}$  — допустимая погрешность операции отбора пробы исходной руды. В начале расчета принимаем  $s_{\alpha_{от}}^2 = 0,5 s_{рез, доп}^2$ ;  $s_{рез, доп}$  — допустимая погрешность результата опробования на фабрике исходной руды ( $\alpha$ );  $q_{п}$  — масса накопленной пробы за смену.

Полученные расчетным путем значения  $N_{\tau}$  округляем в большую или меньшую сторону с целью получения удобного для использования числа, например, вместо  $N_{\tau} = 483$  принимаем  $N_{\tau} =$

=480, т. е. в течение смены через каждую минуту отбирается точечная проба.

Согласование относительной и средней квадратической погрешностей проводится следующим образом.

Обычно требования к результату опробования формулируются в виде допустимой относительной погрешности  $P$  (%):

$$P = 100 |\Delta\alpha| / \alpha,$$

где  $\Delta\alpha$  — допустимые абсолютные отклонения результата опробования от истинного  $\alpha$ ;  $|\Delta\alpha|$  — доверительные интервалы, которые могут быть заданы лишь с определенной вероятностью.

Связь доверительных интервалов со средним квадратическим отклонением результата

$$|\Delta\alpha| = t s_{\text{рез. доп.}}$$

где  $t$  — коэффициент Стьюдента (для вероятности 95%  $t \approx 2$ ).

Следовательно, связь  $s_{\text{рез. доп.}}$  с  $P$

$$s_{\text{рез. доп.}} = |\Delta\alpha| / t = P\alpha / (2 \cdot 100).$$

Размерность  $s_{\text{рез. доп.}}$  совпадает с размерностью  $\alpha$ , если  $P$  выражено в процентах.

Составление схемы подготовки проб с указанием крупностей и масс. После выбора средств опробования необходимо обосновать схему обработки накопленных проб за смену. За основу можно принять схемы обработки товарных проб по ГОСТ 14180—80; ГОСТ 15054—80; ГОСТ 16598—80 и др. При выборе схемы обработки проб особое внимание следует обратить на имеющиеся средства дробления, измельчения и сокращения.

Для дробления проб крупностью 10—50 мм и выше используют щековые дробилки, для проб крупностью 10—1 мм — валковые дробилки, для измельчения проб до крупности 0,1 мм — истиратели. Операции поверочного грохочения необходимо предусматривать после дробления пробы до 4—3 мм и менее. На рис. 51 приведена примерная схема подготовки исходной руды.

Расчет случайной погрешности результата опробования накопленных проб. Основная цель расчета — проверка того, могут ли выбранные схемы подготовки проб обеспечивать заданные погрешности, а если нет, то найти целесообразные пути для обеспечения этого.

Случайная погрешность результата опробования определяется по формуле

$$s_{\text{рез}}^2 = s_{\text{от}}^2 + s_{\text{под}}^2 + s_{\text{ан}}^2,$$

где

$$s_{\text{от}}^2 = s_{\text{т}}^2 / N_{\text{т}};$$

$$s_{\text{под}}^2 = \sum_{j=0}^k \left[ 2s_{\text{к}j}^2 \rho \bar{d}_{\text{с}j}^3 (1/q_{\text{к}j} - 1/q_{\text{н}j}) \cdot 10^{-6} + \right.$$

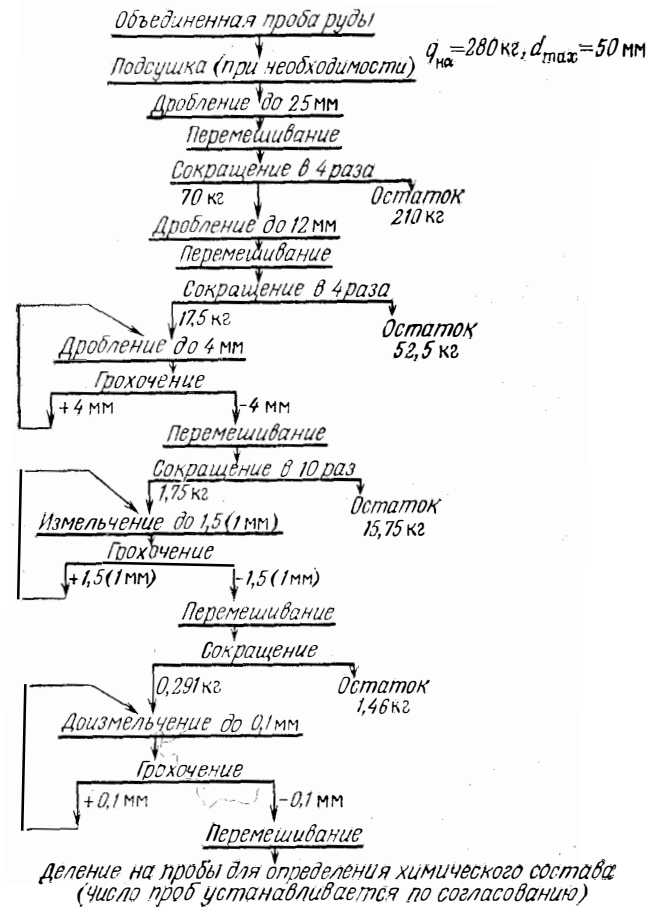


Рис. 51. Схема подготовки накопленной пробы исходной руды

$$\left. + \sum_i^{m_j} s_{\text{н}ij}^2 + s_{\text{р}j}^2 \right];$$

$$s_{\text{ан}}^2 = \frac{1}{n_{\text{нав}}} \left( s_{\text{нав}}^2 + \frac{1}{n_{\text{ан}}} s_{\text{м}}^2 \right). \quad (111)$$

Здесь  $s_{\text{т}}^2$  — дисперсия массовой доли определяемого компонента в точечных пробах массой  $q_{\text{т}}$  с учетом коэффициента вариации, (%)<sup>2</sup>;  $N_{\text{т}}$  — округленное число точечных проб;  $k$  — число операций дробления;  $m_j$  — число операций сокращения после  $j$ -й стадии дробления;  $f$  — коэффициент формы;  $s_{\text{к}j}^2$  — дисперсия покускового опробования материала  $j$ -й крупности для среднего куска, (%)<sup>2</sup>;  $\rho$  — плотность продукта, г/см<sup>3</sup>;  $\bar{d}_{\text{с}j}$  — средняя крупность материала на  $j$ -й стадии дробления, определяемая по раз-

меру сита  $\bar{d}_{cj} = 0,5 d_{c \max}$ , мм;  $q_{nj}$ ,  $q_{kj}$  — соответственно начальная и конечная массы при сокращении после  $j$ -й стадии дробления, кг;  $s_{ni}^2$  — дисперсия  $i$ -й операции сокращения при  $j$ -й крупности,  $(\%)^2$ ;  $s_{pj}^2$  — дисперсия  $j$ -й операции дробления,  $(\%)^2$ ;

$$s_{\text{нав}}^2 = 2s_{\text{к. нав}}^2 / \bar{\rho} \bar{d}_{\text{нав}}^3 (1/q_{\text{к. нав}} - 1/q_{\text{н. нав}}) \cdot 10^{-6} (\%)^2;$$

$n_{\text{нав}}$  — число параллельно анализируемых навесок;  $s_m^2$  — дисперсия погрешности метода анализа,  $(\%)^2$ ;

$$s_m^2 = s_{\text{пар}}^2 - s_{\text{нав}}^2,$$

$s_{\text{пар}}^2$  — дисперсия, определенная по результатам анализа параллельных навесок,  $(\%)^2$ ;  $s_{\text{пар}} = 0,886 \Delta\alpha$ ;  $\Delta\alpha$  — допустимые расхождения по стандарту для двух навесок, %;  $n_{\text{ан}}$  — число параллельных анализов (если они допустимы).

В формуле (111) неизвестной величиной является дисперсия покускового опробования  $s_{kj}^2$ . С целью ее определения строим зависимости дисперсии покускового опробования от крупности (рис. 52), которые следует получать экспериментально.

Значение  $s_{k \max}^2$  определяется по формуле

$$s_{k \max}^2 = (\rho_m / \rho_n) \alpha (\beta_m - \alpha) [1 - \alpha / \beta_m + \alpha \rho_n / (\beta_m \rho_m)]^2,$$

где  $\rho_m$  — плотность минерала, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_n$  — плотность породы, г/см<sup>3</sup>;  $\beta_m$  — содержание ценного компонента в минерале, %.

Если в схеме обработки накопленной пробы предусмотрено изменение размеров кусков руды от 50 до 25 мм, от 25 до 12 мм, от 12 до 4 мм и от 4 до 1 мм, то дисперсия покускового опробования для каждого интервала крупности будет соответствовать дисперсии для среднего куска в каждом интервале, т. е. для первого интервала — для 25 мм, для второго — 12,5 мм, для третьего — 6 мм, для четвертого — 2 мм и для последнего интервала для крупности 0,5 мм. Значения  $s_{kj}^2$  определяют по рис. 52.

По условиям работы полученные значения  $s_{\text{рез}}$  не должны превышать допустимых

$$s_{\text{рез}} \leq P\alpha / (2 \cdot 100),$$

где  $P$  — допустимые относительные погрешности результата опробования.

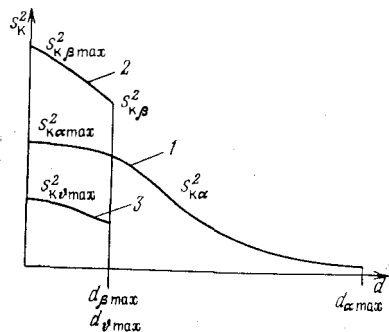


Рис. 52. Зависимость дисперсии покускового опробования для руды (1), концентрата (2) и хвостов (3) от крупности  $d$ . Для малых крупностей  $s_{k\alpha\max}^2$ ,  $s_{k\beta\max}^2$  и  $s_{k\theta\max}^2$  определяются расчетом, как для вскрытых продуктов

Пример. Пусть  $P$  для руды задана 5%. Рассмотрим некоторые возможные ситуации расчета случайной погрешности результата опробования, например исходной руды. Значение  $P_{\text{рез}}$  может получиться различным — 1; 3; 4,5; 5,5; 8; 18; 20%, а по заданию необходимо иметь  $P_{\text{рез}}$  в пределах 5%.

Для  $4,5 \leq P_{\text{рез}} \leq 5,5$  можно считать, что схема и параметры опробования исходной руды выбраны правильно, так как обеспечивается допустимая погрешность.

Для  $P_{\text{рез}} = 1; 3; 18; 20\%$  следует считать, что параметры опробования исходной руды не удовлетворяют заданным требованиям. В этом случае необходимо выполнить анализ всех составляющих величины  $s_{\text{рез}}$ , выбрать те, которые оказывают наиболее значимое влияние, наметить пути их изменения, внести коррективы в схему обработки и вновь определить величину  $s_{\text{рез}}$ , уже для других параметров опробования — отбора проб, схемы и параметров обработки и анализа пробы.

Если повторный расчет не привел к желаемому результату, например  $P_{\text{рез}}$  уменьшилась с 20 до 18% или увеличилась с 1 до 1,5%, то при целесообразности дальнейшего варьирования параметрами следует вновь провести анализ и расчет. В противном случае обосновать нецелесообразность дальнейшего изменения параметров схемы опробования и расчет закончить.

## 56. ОПТИМИЗАЦИЯ ОПРОБОВАНИЯ

Приведенные в разд. 54, 55 расчеты позволяют определить погрешность опробования либо путем многократных расчетов подобрать параметры опробования, близкие к таким, которые обеспечивают заданную погрешность.

Многомерный объект — опробование — позволяет получить заданную погрешность при различных сочетаниях параметров. Следовательно, возможна и необходима постановка задачи оптимизации. Известен оптимальный пробоотбор (см. разд. 33), который заведомо дает наименьшую погрешность с наименьшими трудовыми затратами. Однако оптимальный пробоотбор не реализован. Поэтому рассмотрим задачу оптимизации при существующих схемах подготовки проб.

Необходимо сформулировать целевую функцию. Требовать минимальной погрешности результата нельзя: это дает только оптимальный пробоотбор. Поэтому оптимизацию можно осуществлять, требуя экстремума какого-либо показателя. Так, составим схему опробования, минимизирующую время подготовки пробы. Погрешность результата потребуем заданной и равной  $D$ .

Варьируемыми параметрами примем массы пробы при заданных крупностях руды, а также число точечных проб.

Следовательно, целевая функция

$$t_{\text{под}} \rightarrow \min; s_{\text{рез}}^2 = D; d_0 = A_0; d_1 = A_1; \\ d_2 = A_2; d_3 = A_3; d_n = 0,1 \text{ мм}; q_0 = B_0 \\ q_{\text{нав}} = 0,001 \text{ кг.} \quad (112)$$

Запишем целевую функцию (112) в виде

$$t_{\text{под}} = \sum_i q_i / Q_i \rightarrow \min;$$

$$s_{\text{рез}}^2 = F(q_0; q_1; q_2; \dots; q_k); q_0 = N_{\text{т}} q_{\text{т}}. \quad (113)$$

Здесь  $Q_i$  — производительность  $i$ -й установки подготовки пробы

Будем считать заданными  $d_0, d_1, \dots, d_{\text{нав}}$ , а также известными свойства продукта  $s_{\bar{k}j}^2, s_{\bar{k} \text{ нав}}^2, q_T$  и  $s_T^2, n_{\text{нав}}$  и  $n_{\text{ан}}$ .

Задача (113) существенно нелинейная.

Изложим графический метод решения. Для этого найдем приближительное решение, например такое, что  $s_{\text{от}}^2 = 0,5 s_{\text{рез}}^2$ , а массы,  $d$  которых выполняется сокращение, — изменяющимися примерно так:

$$q_i = q_0/n^i. \quad (114)$$

Степень сокращения на каждой операции сокращения  $n$  найдем исходя из того, что  $q_{\kappa} = q_{\text{пак}}$ , т. е. масса пакета (или пакетов)

$$q_{\text{пак}} = q_0/n^{k+1},$$

где  $\kappa$  — число операций дробления;  $n = \sqrt[k+1]{q_0/q_{\text{пак}}}$ .

В итоге по формуле (114) будет найдено приближенное решение задачи  $q_0, q_1, q_2, \dots, q_{\kappa}$ .

Далее задачу решаем графически (рис. 53) [20]. Вычисляем значения  $t_{\text{под}}$  и  $s_{\text{рез}}^2$  при найденных значениях  $N, q_0, q_1, \dots, q_{\kappa}$  и в осях  $t-s^2$  наносим точку  $1$  с координатами  $t_1, s_{\text{рез}}^2$ . Проводим вертикальную линию с уравнением  $s_{\text{рез}}^2 = D$ .

Придаем последовательно отрицательные приращения на 30 % найденным значениям  $N, q_0, \dots, q_{\kappa}$  и, построив ломаную  $1abc2$ , получим точку  $2$ . Из нее сделаем оптимизирующее построение к линии  $s_{\text{рез}}^2 = D$  таким образом, что движение к ней осуществляем за счет удвоенного изменения последовательно наиболее пологих отрезков линии  $1abc2$ . Самый пологий отрезок  $ab$ , его откладываем влево два раза, затем влево откладываем два раза

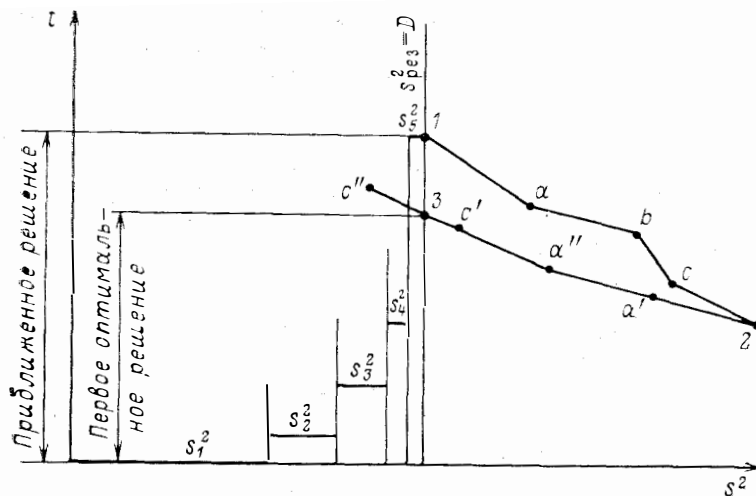


Рис. 53. К оптимизации отбора проб

отрезок  $c2$  и находим решение — точку  $3$ . Из точки  $3$ , приняв найденное решение за базу, вновь выполняем оптимизирующее построение и т. д.

## IX. СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ ПРОБ

### 57. ОТБОР ПРОБ И ОПРОБОВАНИЕ В ЗАБОЯХ

Отбор проб и опробование в забоях обогатитель-технолог выполняет при исследовании руд на обогатимость, при решении спорных вопросов между горным предприятием и обогатительной

Таблица 19

Способы отбора проб в забоях

Способ	Область использования	Отличительные признаки	Масса пробы, кг
Штуфовый	Ориентировочная характеристика состава рудного тела	Отбойка характерного по внешним признакам куска	0,5—2 (кусок, иногда несколько обломков)
Точечный	Опробование равномерно вкрапленных руд	Отбор малых проб 30—100 г с помощью молотка и зубила в узлах правильной сетки	1—5
Шпуровой (шламовый, керновый)	Опробование вкрапленных руд либо при совмещении буровых работ и опробования	Отбор шпуровой муки при бурении шпуров или керна	В зависимости от диаметра шпура или скважины
Бороздовой	Опробование жильных, слоистых руд. Опробование кернов с помощью алмазной пилы	Борозды располагаются перпендикулярно к падению слоев или вкрест жил, ширина борозды 2—20 см (для пилы 3—5 мм), глубина 1—10 см	0,5—50 с 1 м борозды; 0,01—0,1 шлама из распила
Задирковый	Опробование неравномерно вкрапленных руд	Отбор слоя руды 5—10 см с поверхности забоя	50—250 с 1 м <sup>2</sup> забоя
Геофизический	Опробование с помощью чувствительных датчиков	Проба не отбирается, а выделяется на поверхности забоя, в том числе в скважинах	От граммов до сотен килограммов в зависимости от мощности и геометрических размеров датчика
Валовой	Опробование весьма неравномерно вкрапленных руд и при технологических испытаниях	Отбор в пробу всей добытой в забое рудной массы	Десятки и сотни тонн

Способы отбора проб и опробования добытых неподвижных масс

Способ	Область использования	Отличительные признаки
Горстевой	Опробование однородных в объеме масс путем отбора проб с их поверхности  Опробование с помощью датчиков физических свойств рудной массы, например опробование вагонеток с помощью импульсного облучения материала на поверхности вагонетки $\gamma$ -лучами	Отбор малых проб с помощью молотка и совка либо другого инструмента в узлах правильной сетки обычно $0,2 \times 0,2$ м  Проба не отбирается, а выделяется полем датчика, масса пробы зависит от мощности датчика и его геометрических размеров
Вычерпывание	Все емкости, массы, допускающие выкапывание лунок либо внедрение инструмента	Выкапывается лунка глубиной $0,2—0,5$ м, отбор производится совком со стенки лунки, либо лунка образуется рабочим органом инструмента, отбирающего выбранный материал лунки в пробу (например, грейфером)
С помощью щупа	Для мелких (до 3 мм) материалов, сыпучих, если используется щуп с боковой щелью; для влажных (несыпучих), если используется щуп со входом с торца	Проба отбирается в щуп с боковой либо торцевой щелью, который внедряется в опробуемую массу
С помощью желонки	Для весьма сыпучих и жидких материалов	Проба отбирается в желонку при погружении ее в заданную точку опробуемой массы
С помощью шурфов	Для весьма неоднородных отвалов большой высоты, например хвостохранилищ	Проба отбирается со стен горной выработки — шурфа, либо в пробу выделяется весь материал из шурфа
С помощью шпуров и скважин	Лунка образуется буровым инструментом	В пробу отбирается продукт бурения
С помощью канав	Для неоднородных отвалов небольшой высоты и большой площади  С помощью датчиков физических свойств рудной массы	Проба отбирается со стен горной выработки — канавы, либо в пробу выделяется весь материал из канавы  Проба не отбирается, а выделяется полем датчика. Масса пробы зависит от характера перемещения датчика
Выборочный или фракционный	Опробование масс, подвергающихся погрузке или перегрузке	В пробу отбирается каждая $n$ -я порция (лопата, ковш экскаватора и т. п.)

фабрикой, а также при работе в составе геологической партии. Используемые способы приведены в табл. 19 в порядке повышения трудоемкости и надежности опробования. Все способы отбора проб в забоях отличаются активным взаимодействием пробоотборного инструмента с горной массой.

Общие правила при опробовании забоев:

забой должен иметь свежую поверхность, характерную для только что вскрытого рудного тела;

пробы рекомендуется отбирать только со стенок либо кровли выработки. Отбор пробы с почвы либо дна выработки допустим лишь в случае невозможности отбора ее со стенок или кровли, при этом должна быть обеспечена чистота пробы;

на почву выработки при отборе пробы необходимо уложить брезент, листы металла, деревянный настил и т. д.;

при отборе пробы необходимо соблюдать все правила безопасного ведения работы в забое.

Пробы в забое отбирают с помощью молотка, зубила, кирки, отбойного или бурильного молотка, сверла, буровых станков, погружных и добычных машин.

#### 58. ОТБОР ПРОБ И ОПРОБОВАНИЕ НЕПОДВИЖНЫХ МАСС

Опробование неподвижных масс составляет значительную часть работы на обогатительных фабриках. Это опробование складов, штабелей, бункеров, контейнеров, вагонов, автомашин, барж, мешков, хвостохранилищ, сгустителей и т. п.

По существу, основной способ отбора проб — вычерпывание, остальные, кроме выборочного, можно представить его вариантами. Так, горстевой способ — вычерпывание без лунки, а способы опробования шурфами и канавами — вычерпывание с помощью больших лунок, имеющих специфические названия; опробование с помощью щупа и желонки — вычерпывание из лунок, образуемых самими отборными инструментами (табл. 20).

Принципиально выделяется только выборочный (фракционный) способ, обеспечивающий возможность наиболее полного опробования материала. Так как этот способ трудоемок, обычно при его реализации опробование совмещают по времени с перегрузкой.

В связи с большим разнообразием условий отбора проб от неподвижных масс и наличием различных особенностей отбора, перечислим некоторые общепринятые правила такого отбора. Эти правила отражают либо требование равной представительности элементов массива в пробе, либо обеспечение чистоты пробы:

при отборе пробы нельзя допускать высыпания из отборного устройства уже попавшего в точечную пробу материала;

массы точечных проб, используемых для формирования объединенных проб, должны быть пропорциональными массам, соотносимым с этими точечными пробами. При ручном отборе допускаются отклонения точечных проб, отбираемых от равных масс

на 20 %. С целью обеспечения таких отклонений ГОСТы регламентируют наименьшую массу точечной пробы, отбираемой вручную.

**Наименьшие массы точечных проб (кг) при отборе вручную, регламентируемые ГОСТами**

ГОСТ . . . . .	14180—80	15054—80; 16548—80
Крупность материала, мм:		
до 1 . . . . .	0,1	0,1
до 10 . . . . .	1	0,3
20 . . . . .	—	0,8
до 50 . . . . .	2	1
более 50 . . . . .	—	1 (с молотком)
50—100 . . . . .	—	4

Действительно, если оговорено, что вручную нельзя отбирать пробы массой меньше, чем 1 кг, то обеспечить реальное значение массы в диапазоне 0,8—1,2 кг легче, чем если бы отбирать пробы массой 0,1 кг с необходимостью гарантии реальной пробы в диапазоне 0,08—0,12 кг;

нельзя отдавать предпочтение каким-либо точкам или отдельным кускам. Необходимо стремиться отбирать пробу точно по намеченной схеме, как бы это не представлялось неудобным (требование равнопредставительности элементов массива в пробе);

при опробовании емкостей нельзя отбирать пробу непосредственно у стенок. Регламентируются значения 0,5 м от стенки вагонов либо не менее 1/3 радиуса от борта круглого контейнера (ГОСТ 10742—71 регламентирует 1 м);

точки отбора проб из емкостей у поставщика и потребителя должны располагаться одинаково, а расположение их в каждой емкости должно быть таким, чтобы в сумме по группе емкостей они образовывали правильную сетку;

если опробуемая масса состоит из нескольких пространственно разделенных тел (несколько штабелей, вагонов и т. п.), то общее число точечных проб распределяется между ними пропорционально их массам;

опробование штабелей, конусов рекомендуется производить по мере их формирования так, чтобы проводить опробование слоя не более 1,5 м.

Наиболее эффективный способ вычерпывания — высверливания (выбуривание) лунки с отбором в пробу выбираемого материала. Для рыхлого материала используется шнек, забирающий пробу и перемещающий ее к приемному устройству. Возможно наличие у шнека режущих кромок, разрушающих крупные куски материала.

Для сыпучих материалов (например, угля) применяется шнек с кожухом, внедряемый вместе со шнеком в опробуемую массу. Отобранный материал шнеком транспортируется вверх и высыпа-

ется в приемную емкость. Конструктивно такое отборное устройство выполняется в виде специальной машины, приспособленной для отбора проб из вертикальных и наклонных лунок. Соответственно механизуются все операции, связанные с перемещением шнека к нужной точке, установкой его под необходимым углом и отбором пробы для заданной глубины.

Для мелких материалов типа кека флотационного концентрата, находящегося в контейнере, можно использовать шнек без кожуха. Влажный материал при внедрении шнека остается в пазах, шнек извлекается при остановленном приводе, переносится в приемную емкость и включается вновь. Материал из пазов шнека выбрасывается в приемную емкость.

Пассивный вариант полного отбора материала из лунки, образуемой инструментом, — использование шупов, в которые материал входит через нижнее отверстие. Такой шуп вдавливается в опробуемую массу, а затем вытаскивается, и столбик материала переносится в приемную емкость. Для удобства извлечения материала из шупа внутренняя полость последнего делается слегка конической, расширяющейся кверху. Таким путем можно опробовать мелкозернистый влажный материал, образующий столбик, не разрушающийся при подъеме шупа.

Если материал слишком сыпуч и такого столбика не образует, то можно использовать шуп с дном и вертикальной щелью. Крупный недостаток таких шупов — зависимость отбора пробы через щель от свойств материала. Сыпучие материалы, как правило, обладают специфическими свойствами течения через сложные отверстия. Обычно материал начинает интенсивно стекать в шуп с поверхности или из какой-либо полости, случайно возникшей у щели. Вследствие этого, по существу, вместо отбора материала по всей глубине лунки будет произведен отбор из какой-то ее части, преимущественно верхней. Работа со шупами всегда трудоемка.

Для весьма сыпучих сухих материалов либо весьма влажных (и следовательно, текучих и жидких) лучше использовать желонки (рис. 54), представляющие собой сосуды 3 с крышкой 5 либо с закрываемым с помощью пружины 2 отверстием, которые после внедрения сосуда в материал на заданную глубину штангой 4 могут быть открыты тягой 1. В этом случае отбирается точечная проба небольшой массы. Однако, применяя соответствующие схемы отбора проб (их правильное распределение по всему объему опробуемого материала), можно добиться высокого качества опробования.

Шурфы, канавы, скважины большого диаметра являются, по существу, не лунками, а горными выработками, и опробование в них осуществляется в соответствии с методами и правилами опробования забоев.

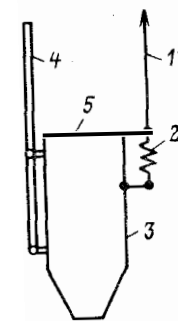


Рис. 54. Схема желонки

Способы отбора проб и опробования потоков

Способ	Разновидность	Область использования	● Глицительные признаки
Поперечных сечений	С пассивным отбором кусков	Для любых потоков	В пробу отбирается выделяемая отборной щелью поперечная полоса В пробу отбирается вырезаемая отборным инструментом поперечная полоса Проба не отбирается, а выделяется полем датчика в виде поперечной полосы
	С активным воздействием на куски	То же	
	С помощью датчиков	»	
Продольных сечений	С пассивным отбором кусков	Для тщательно перемешанных потоков	В пробу отбирается выделяемая отборной щелью продольная полоса В пробу отбирается вырезаемая отборным инструментом продольная полоса Проба не отбирается, а выделяется полем датчика в виде продольной полосы
	С активным воздействием на куски	То же	
	С помощью датчиков	»	
Извлечение элементов потока	С пассивным отбором кусков	Для любых потоков	В пробу отбирается выделенная отборным инструментом ограниченная часть потока В пробу отбирается вырезанный инструментом элемент потока Проба не отбирается, а полем датчика выделяются локально ограниченные массы
	С активным воздействием на поток	То же	
	С помощью датчиков	»	

Пробы достаточно большой массы можно отбирать с помощью машин, в частности грейфером из железнодорожных вагонов. При этом ширина раскрытия челюстей грейфера должна быть не менее половины ширины вагона, а ширина челюстей не менее  $2,5d_{\max}$ . Грейфер должен погружаться в опробуемую массу не менее чем на 0,4 м при полном раскрытии его челюстей (ГОСТ 10742—71).

Выборочный способ отбора проб применяется чаще всего в совокупности с каким-либо технологическим процессом, связанным с погрузкой или разгрузкой опробуемой массы. При этом период  $r$  (число рабочих циклов погрузчика-разгрузчика, через которое отбирается одна проба)

$$r = M/(N \cdot m),$$

где  $M$  — масса партии, т;  $m$  — масса, перемещаемая погрузчиком за один цикл, т;  $N_T$  — число точечных проб.

### 59. ОТБОР ПРОБ И ОПРОБОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ МАСС

Обычно опробуемая масса на обогатительной фабрике обрабатывается в соответствии с принятой технологией и вся целиком проходит через определенные точки схемы, в которых удобно отобрать из нее пробу. Такая масса доступна опробованию целиком. Известно несколько способов отбора проб от потоков (табл. 21).

*Способ поперечных сечений* распространен исключительно широко. Заключается он в том, что с помощью устройства, основным элементом которого является отбирающая пробу щель, выделяется из потока материала поперечная полоса (рис. 55, а), что и составляет точечную пробу.

Основное требование к полосе

$$L_j = \sum_{i=1}^N l_{ij} = \text{const},$$

где  $L_j$  — суммарная длина  $N$  отрезков для  $j$ -й линии за контрольный период;  $i$  — номер полосы;  $j$  — номер любой линии вдоль потока;  $l_{ij}$  — длина  $j$ -й линии в  $i$ -й полосе.

На рис. 55 представлены правильные (а, б) и неправильные (в) варианты расположения полос, выделяемых при отборе проб.

Можно изобрести много как правильных, так и неправильных вариантов отбора проб способом поперечных сечений. Все неправильные варианты отбора характерны тем, что отбирается относительно большая часть пробы от какой-либо части сечения потока. При наличии сегрегации это приводит к систематической погрешности.

Важное достоинство способа поперечных сечений — возможность отбора относительно малой точечной пробы и полный учет поперечной сегрегации материала в потоке. Недостаток — слож-

ность отбирающих пробу устройств и требование наличия в большинстве случаев перепада потока.

*Способ продольных сечений* состоит в том, что с помощью устройства, содержащего щель, выделяется из потока продольная полоса (см. рис. 55, г), материал которой и составляет пробу, рассматриваемую и как точечную, и как объединенную в зависимости от того, дискретно или непрерывно отбирается таким образом проба.

Основное требование к продольному способу — среднее значение определяемого показателя в части потока, выделяемой щелью пробоотбирателя, должно быть равно среднему значению этого показателя во всем сечении потока (это обеспечивается при интенсивной турбулизации потока). Возможно применение

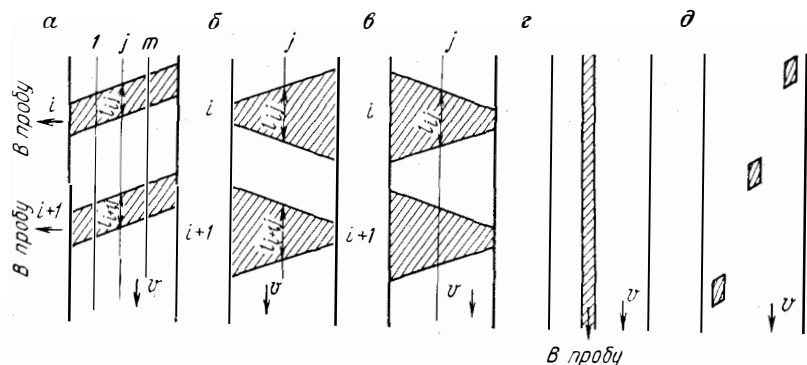


Рис. 55. Способы отбора проб:

*а—б* — правильные поперечные; *в* — неправильный поперечный; *г* — продольный; *д* — извлечение элементов потока (*v* — скорость потока)

способа и без выполнения этого требования, если использовать систему щелей.

Достоинство способа продольных сечений — простота конструкции пробоотбирателей и обеспечение максимально возможного соответствия неоднородности пробы и опробуемого массива вдоль потока, что эквивалентно условию  $N_T \rightarrow \infty$  (число точечных проб чрезвычайно велико). Недостаток способа — отбор довольно большой по массе пробы, составляющей от нескольких процентов до половины массы потока. Поэтому распространено комбинирование продольного способа отбора с вторичным поперечным отбором. Часто продольный способ отбора используется при обработке проб при их сокращении.

Внедрение на обогатительных фабриках рентгеноспектральных анализаторов открывает большие возможности для оперативного контроля и управления. При этом возникает необходимость отбора проб в таких точках процесса, где установка пробоотбирателей с поперечным сечением потока затруднительна либо невозможна. Способ продольных сечений при этом находит все более широкое применение. Это возможно благодаря организации сильного перемешивания потока перед его разделением или такому расположению отборных щелей, при котором учитывается возможная сегрегация.

Возможен способ отбора точечных проб, при котором точечную пробу не образует ни поперечная, ни продольная полоса опробуемого материала, а элемент, поперечные и продольные размеры которого соизмеримы (см. рис. 55, *д*) [14].

Такой способ позволяет в максимальной мере использовать достоинства обоих ранее рассмотренных методов: за счет соответствующего выбора точек отбора в поперечном сечении обеспечить ликвидацию влияния поперечной сегрегации, что делает его эквивалентным поперечному способу, а за счет отбора большого числа таких элементов, последовательно следующих друг за дру-

гом, обеспечить ликвидацию пространственной (временной) неоднородности потока, что делает его эквивалентным продольному способу пробоотбора.

Широкое использование различного рода устройств, позволяющих получать информацию о массовой доле без отбора проб, а лишь выделяющих часть потока, взаимодействующую с чувствительным полем датчика, доказывает, что все способы отбора проб от перемещаемых масс могут быть реализованы и условно, т. е. выделением их, без физического отбора.

Идея оптимального пробоотбора, состоящая в том, что минимальная масса пробы должна быть равна необходимой, приводит к необходимости разработки устройств отбора проб с активным воздействием на куски потока, т. е. таких устройств, которые могут разрушать куски и отбирать их части в пробу. Такие устройства не выделяют, а вырезают поперечную или продольную полосу и вырезают либо отбивают в потоке локальные массы.

#### 60. ПРОБООТБОРНЫЕ УСТРОЙСТВА, ВЫДЕЛЯЮЩИЕ ПРОБУ СПОСОБОМ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

Пробоотборное устройство при своем пересечении потока должно выделить из него определенную часть материала. Масса этой части, а также ее представительность зависят от параметров пробоотборного устройства, а именно от ширины щели, скорости ее перемещения и вместимости сосуда, принимающего пробу.

Параметры пробоотборного устройства не могут быть произвольными, так как при слишком малой ширине щели куски материала могут просто не проходить в нее, при большой скорости куски также не в состоянии проникнуть в щель пробоприемника.

Приняты следующие требования к пробоотбирателям:

ширина пробоприемной щели  $b$  должна быть больше или равна трем диаметрам максимальных кусков опробуемого потока  $b \geq 3 d_{\max}$ .

Соотношение  $b \geq 3 d_{\max}$  справедливо для кусков размером от 250 до 3 мм. При  $b < 3$  мм ширина отсекающего устройства должна быть равной 8—10 мм независимо от крупности материала и его состояния. Пробоотбиратели с меньшей шириной щели не обеспечивают представительного отбора;

кромки щели должны быть параллельны друг другу или направлены по радиусу, а длина их должна быть такой, чтобы отбор производился по всей толщине потока;

вместимость пробоотсекающего устройства (ковша, лотка) должна быть такой, чтобы проба целиком помещалась в нем. Если проба в процессе отбора не удаляется за пределы устройства, то его вместимость должна быть по крайней мере на 20—25 % больше объема, занимаемого наибольшей пробой;



скорость пересечения потока должна быть постоянной в течение всего промежутка времени, пока осуществляется отбор материала, и такой, чтобы исключалось отбрасывание (выбрасывание) кусков материала за пределы пробоотбирателя.

П. Жи и Л. Марэн получили эмпирическую связь для скорости  $v$  пересечения потока

$$v = 0,3 [1 + b/(3d_{\max})],$$

из которой следует, что для  $b = 3d_{\max}$ ,  $v = 0,6$  м/с.

Отметим, что на эту формулу должны быть наложены естественные ограничения  $b > d_{\max}$  и  $v < v_{\text{отбрасывания}}$ .

Указанные соотношения  $b = 3d_{\max}$ ;  $v = 0,6$  м/с справедливы для пробоотборных устройств с вертикальными приемными стенками.

Более обосновано стенки пробоприемных устройств принимать наклонными под углом  $\alpha$  (рис. 56), равным углу направления вектора относительной скорости падающих кусков  $v_k$  и пробоотборного устройства  $v_n$ :

$$\alpha = \text{arctg}(v_n/v_k).$$

При этом попадающие в ковш куски не будут испытывать тормозящего действия стенки ковша и препятствовать входу в ковш последующих кусков. Так как в потоке могут быть различные куски как по крупности, так и по парусности, то в точке отбора пробы будут находиться куски, падающие с различной скоростью. Для обеспечения условий представительного отбора в этом случае стенки ковша следует делать разнонаклонными. Передняя стенка должна быть наклонена под углом  $\alpha$  к вертикали:

$$\alpha = \text{arctg}(v_n/v_{k_{\max}}),$$

а задняя — под углом  $\beta$ :

$$\beta = \text{arctg}(v_n/v_{k_{\min}}).$$

Для ковшей с наклонными стенками соотношения скорости и ширины щели будут другими. Могут быть пробоотбиратели с большей скоростью пересечения потока. У таких пробоотбирателей угол  $\alpha$  будет большим и может приближаться к  $90^\circ$ .

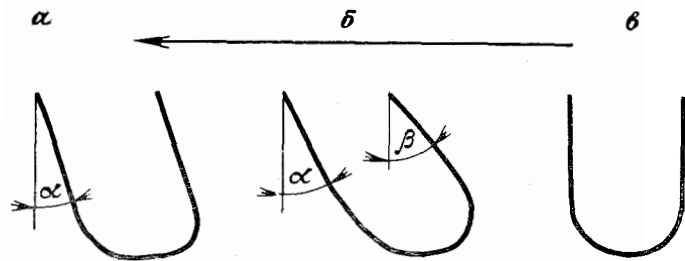


Рис. 56. Профиль ковшей пробоотбирателей:

$a$  — с параллельными наклонными стенками;  $b$  — с разнонаклонными стенками, не препятствующими отбору пробы;  $c$  — обычного. Стрелкой указано направление движения ковшей

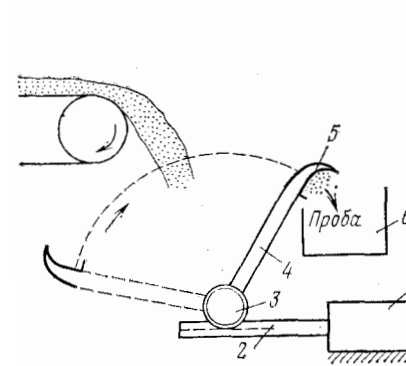


Рис. 57. Схема ударного пробоотбирателя

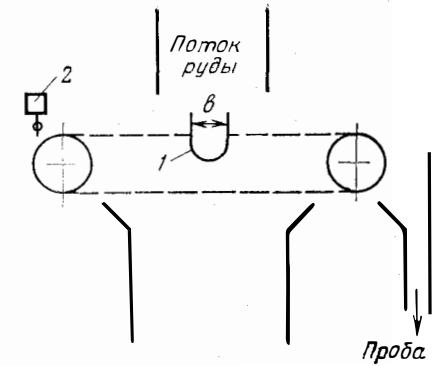


Рис. 58. Схема ковшового пробоотбирателя

На рис. 57 представлен ударный пробоотбиратель, имеющий ковш, стенки которого наклонены на  $90^\circ$  к вектору скорости кусков материала в точке пересечения потока. Пневмоцилиндр или электродвигатель 1 с помощью зубчатой рейки 2 и колеса 3 поворачивает с большой скоростью рукоять 4 с пробоотборной чашей 5 на конце. Отобранная проба переносится в приемную емкость 6. Этот пробоотбиратель можно считать ковшовым с практически горизонтальной задней стенкой, выполненной в виде выступа на рукояти и близкой к горизонтальной передней (имеется в виду угол кромки).

С углом  $\alpha = 90^\circ$  конструируются многие пробоотбиратели с пневмоприводом.

Широкое распространение при поперечном способе отбора проб получили ковшовые пробоотбиратели (рис. 58). Они имеют прямоугольную щель шириной  $b$ , перемещаемую поперек потока и служащую для выделения части этого потока в пробу, т. е. в понятие «ковшовые» входят и ножевые, и лотковые пробоотбиратели. Отбираемая проба либо собирается в ковше 1, конструкция и вместимость которого могут быть различными, либо отводится по трубе или желобу в приемную емкость, находящуюся в удобном для накопления пробы месте. Остановка пробоотбирателя в крайнем положении осуществляется концевым выключателем 2.

Масса точечной пробы ковшового пробоотбирателя

$$q_\tau = Qb\tau/L,$$

где  $Q$  — производительность потока;  $b$  — ширина щели;  $\tau$  — длительность пересечения потока;  $L$  — ширина потока руды в месте отбора.

Так как  $\tau = L/v$ , то

$$q_\tau = Qb/v,$$

где  $v$  — скорость пересечения потока.

Обычно выражают  $Q$  в т/ч,  $b$  — в мм,  $v$  — в м/с. Тогда, чтобы получить  $q_\tau$  в кг, вводят согласующий множитель 1/3600:

$$q_\tau = Qb/(3600v).$$

Число точечных проб обычно задается с помощью реле времени.

При наличии вычислительной техники выработка команд на отбор проб выполняется ею.

Секторные пробоотбиратели (рис. 59) представляют собой устройства, содержащие радиальную щель 1, поворачиваемую при отборе пробы таким образом, что щель пересекает поток производительностью  $Q$ . Остановка пробоотбирателя в крайних положениях осуществляется концевыми выключателями. Целесообразно использовать секторный пробоотбиратель с перемещением внутри минимально необходимого сектора с углом  $\varphi$ . Масса точечной пробы секторного пробоотбирателя

$$q_\tau = Q\tau s(\varphi)/S = Q(\varphi/\omega) [s(\varphi)/S],$$

где  $\tau$  — длительность пересечения потока ( $\tau = \varphi/\omega$ );  $s(\varphi)$  — площадь щели;  $S$  — площадь потока;  $\varphi$  — угол, составляемый активной частью потока;  $\omega$  — угловая скорость пересечения потока.

Основной принцип представительного отбора — отбор равных по массе проб от равных по массе порций материала. При пересечении сектором с углом  $\beta$  трубопровода радиусом  $R$  части проб, отбираемых от разных участков трубопровода, пропорциональны долям потока, проходящего через эти участки.

Масса точечной пробы, если  $s(\varphi) = \text{const}$ :

$$q_\tau = Q(\varphi/\omega)(\beta/\varphi) = Q\beta/\omega.$$

Так как  $\omega = 360n$ , где  $n$  — частота пересечения струи в единицу времени, то

$$q_\tau = Q\beta/(360n).$$

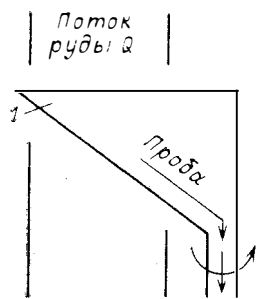


Рис. 59. Принципиальная схема секторного пробоотбирателя

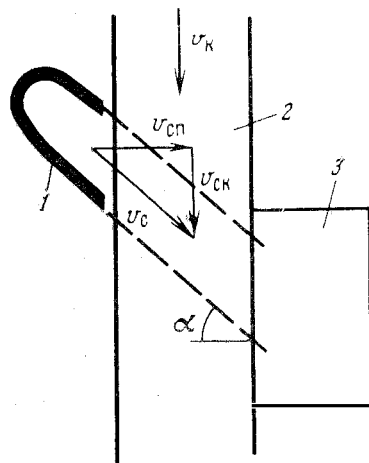


Рис. 60. Принципиальная схема скреперного пробоотбирателя

Если подставить  $\beta$  в градусах,  $Q$  — в т/ч,  $n$  — в  $\text{мин}^{-1}$ , то, чтобы получить  $q_\tau$  в кг, нужно использовать коэффициент 0,0463:

$$q_\tau = 0,0463Q\beta/n.$$

Требования к ширине щели и скорости движения секторных пробоотбирателей такие же, как и для ковшовых.

Так как наиболее узкая щель будет у меньшего радиуса  $R_{\min}$ , то и наименьшая ширина щели должна быть равна  $3d_{\max}$ , а наибольшая линейная скорость для  $R_{\max}$  — не более 0,6 м/с.

С учетом установленной связи между скоростями пересечения и шириной щели и соотношения  $b_{\min} = \beta R_{\min}$ , можно наибольшую линейную скорость найти в зависимости от выбранного  $b_{\min}$ :

$$b_{\max} = \beta R_{\max} = b_{\min} R_{\max}/R_{\min};$$

$$v_{\max} = 0,3 [1 + b_{\max}/(3d_{\max})] = 0,3 [1 + b_{\min} R_{\max}/(3d_{\max} R_{\min})].$$

Скреперные пробоотбиратели (рис. 60) предназначены для отбора проб непосредственно с ленточных конвейеров. Пробоотсекатель представляет собой открытый спереди и снизу скрепер 1, который счищает материал с ленты 2 и сдвигает его в приемный бункер 3. В месте установки скрепера ленту конвейера делают плоской или вогнутой в зависимости от конструкции пробоотбирателя. Обратный ход осуществляется при поднятом скрепере. Скреперные пробоотбиратели изготавливают для лент с шириной до 1600 мм и производительностью по потоку до 1300 м<sup>3</sup>/ч. Крупность материала до 300 мм, влажность — до 14 %.

Скреперные пробоотбиратели устанавливают таким образом, чтобы при своем прохождении скрепер не создавал помехи движущемуся материалу. Для этого направление движения скрепера выбирают под углом  $\alpha$ , равным (см. рис. 60).

$$\alpha = \arcsin(v_k/v_c),$$

где  $v_k$  — скорость ленты конвейера;  $v_c$  — скорость скрепера;  $v_{ск}$  — составляющая скорости скрепера вдоль ленты конвейера;  $v_{сп}$  — то же, поперек ленты.

В этом случае составляющая скорости скрепера вдоль конвейера будет равна скорости ленты.

Масса точечной пробы

$$q_\tau = q_n b = Qb/v_k$$

или, если  $Q$  — в т/ч,  $b$  — в мм,  $v_k$  — в м/с и  $q_\tau$  — в кг,

$$q_\tau = Qb/(3600v_k).$$

Здесь  $b$  — ширина скрепера;  $q_n$  — удельная производительность.

Так как скреперные пробоотбиратели отбирают пробу из относительно неподвижного (для скрепера) потока, то ширина скрепера может быть принята минимально возможной, но большей  $d_{\max}$ .

Пробоотбиратели с неподвижной щелью. При поперечном пересечении потока возможен вариант отбора, когда

пробоприемная щель неподвижна, а поток перемещается в поперечном по отношению к своей основной скорости направлении пересечения кромки щели.

На рис. 61 представлены варианты перемещения потока путем поворота трубы или конуса 1 тягой 2 (рис. 61, а) или путем линейного перемещения трубы либо конуса (рис. 61, б, в).

Если поток пересекает щель 3 полностью, то за одно пересечение отбирается точечная проба

$$q_T = Qb/(3600v_{п.п}),$$

где  $v_{п.п}$  — скорость поперечного перемещения потока.

Ручными пробоотбирателями (рис. 62) опробуется только мелкий движущийся материал, чаще всего пульпы, кеки, порошки. Если вручную необходимо опробовать крупнокусковой материал, то опробуют его в тех местах, где он неподвижен.

Основной элемент пробоотбирателя — щель 1. Как правило, щель соединена с приемным сосудом 2, снабженным ручкой 3. Ручка изготавливается такой формы и длины, которая удобна для отбора пробы в конкретных условиях. Длина щели пробоотбирателя должна быть больше толщины опробуемого потока.

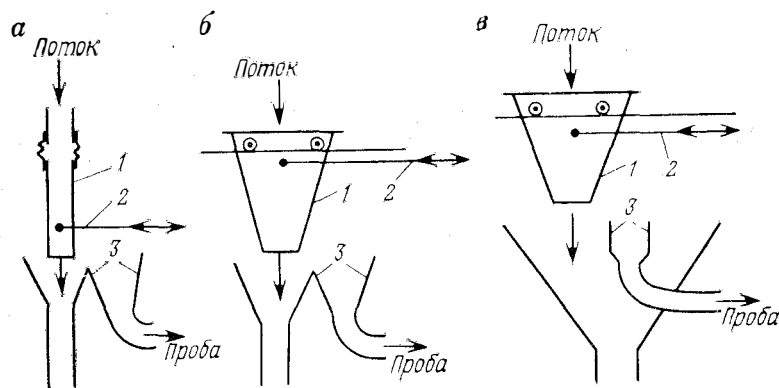


Рис. 61. Схемы пробоотбирателей с неподвижной щелью

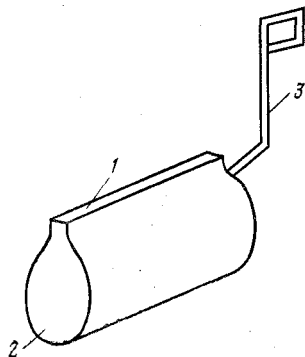


Рис. 62. Пробоотбиратель для ручного отбора проб от потоков

При отборе пробы необходимо перемещать пробоотбиратель с постоянной скоростью перпендикулярно к потоку. Удаление пробы в накопительную емкость производится через щель 1. Обычно после отбора каждой пробы остатки ее смывают в ту же емкость чистой водой.

Пробоотбиратели, отбирающие пробу способом поперечных сечений с активным воздействием на куски. Ограничение  $b \geq 3d_{max}$  на ширину пробоотбирателей ковшового типа предопределяет массу точечной пробы. Оптимальный пробоотбор требует точечных проб малой и весьма малой массы.

На больших потоках массы точечных проб также становятся неприемлемо большими.

Пробоотбиратели с активным воздействием на куски позволяют снять ограничение  $b \geq 3d_{max}$ . Пробоотбирающие кромки при этом должны быть режущими. В этом случае нет необходимости свободного входа кусков в щель пробоотбирателя и она может быть любой (как угодно малой) ширины.

Проблема при этом — обеспечение условий такого пропиливания полосы, которая удовлетворяла бы требованиям поперечного отбора проб, т. е. имела бы постоянную ширину.

Так как куски материала находятся в движении, выполнить это требование непросто. Поэтому первые пробоотбиратели такого типа стали применять при опробовании угля, который является сравнительно мягким материалом и крепость породы такова, что отбойные (режущие) кромки пробоотборной щели в состоянии отбивать и куски породы.

К пробоотбирателям, отбирающим пробу способом поперечных сечений с активным воздействием на куски, относится баровый пробоотбиратель ПБ-2, разработанный УкрНИИУглеобогащением и рассчитанный на большие потоки угля (1—3 тыс. т/ч). Баровый пробоотбиратель отбирает пробу отсечением мелких и частичным скалыванием или срезом крупных кусков. Это позволяет отбирать от столь мощных потоков с кусками крупностью до 300 мм точечные пробы массой 17,1—51,1 кг.

Сравнительные испытания барового пробоотбирателя с традиционным отбором показали отсутствие систематической погрешности. При сравнительном опробовании 9856 тыс. т угля марок ОС и К зольностью 8,85—21,2% получено среднее отклонение зольности  $\Delta A = 0,15\%$  и влажности  $\Delta W = 0,28\%$ .

#### 61. ПРОБООТБИРАТЕЛИ ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ СПОСОБОМ ПРОДОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ

Продольный способ отбора проб отличается тем, что используется неподвижное (статическое) пробоотбирающее устройство, отбирающее непрерывно или дискретно пробу в одной точке потока. В связи с тенденцией любого потока подвергаться сегрегации, первоочередной задачей, связанной с использованием

продольного способа отбора, является доказательство представительности избранной точки, или, другими словами, доказательство того, что отбираемая струйка представляет собой среднюю характеристику потока. Как правило, это возможно лишь в одном случае,—если все точки равнозначны (при интенсивной турбулизации потока).

Такие условия формируются только для тонких материалов, например флотационных пульп. Для них при условии достаточной турбулентности применяют точечные пробоотбиратели, представляющие собой заборную трубку, помещаемую в одну из точек потока. Таким является вакуумный пробоотбиратель, используемый на Тырныауской обогатительной фабрике и установленный в измерительной коробке, создающей за счет перегородок дополнительную турбулизацию потока. Такого же типа пробоотбиратель используется в комплексах зарубежных анализаторов, таких как «Курьер-300».

Однако даже мелкозернистые продукты и пульпы, перемещаясь в трубопроводах и по желобам, подвергаются существенной сегрегации. Сегрегация в вертикальном направлении, вследствие постоянного действия силы тяжести и различий в плотности и крупности зерен, проявляется наиболее ярко.

В качестве примера приведем сегрегацию пульпы в трубе по данным Алмалыкской (рис. 63, а) и в желобе по данным Качканарской (рис. 63, б) обогатительных фабрик.

Содержание металла  $\theta$  в хвостах в верхней и нижней частях трубы выше, чем в средней части (см. рис. 63, а). Характеристики потока хвостов железорудной фабрики (см. рис. 63, б) изменяются весьма сильно с глубиной. Так, на дне желоба содержание твердого  $T$  достигает 20 %, тогда как у поверхности составляет 1—3 %. Содержание класса  $-0,071$  мм  $R_{-0,071}$  на дне желоба мало и с приближением к поверхности резко возрастает.

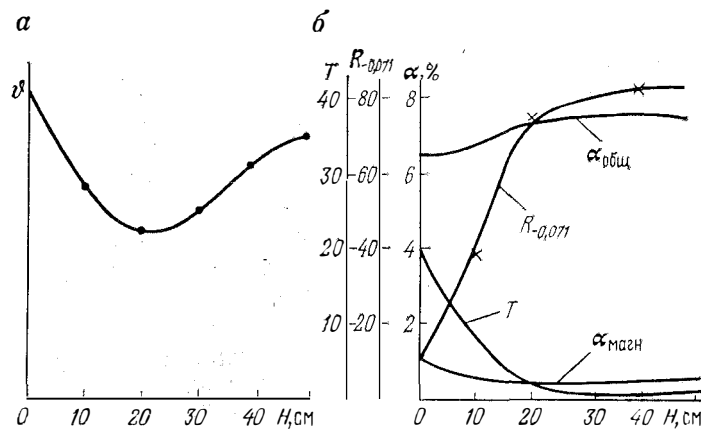


Рис. 63. Характеристики сегрегации потоков на обогатительных фабриках.

Содержания общего железа  $\alpha_{\text{общ}}$  и магнитного  $\alpha_{\text{магн}}$  также претерпевают некоторые изменения.

Сегрегация в горизонтальном направлении выражена намного слабее и может быть следствием влияния центробежных сил при криволинейном профиле трубы или желоба. Поэтому при опробовании целесообразно использовать прямолинейные участки с установкой пробоотборных устройств в конце их.

Так как вертикальная сегрегация почти неустранима, в качестве пробоотборных устройств с продольным способом пробоотбора в трубах и желобах используют щелевые пробоотбиратели с вертикальной щелью, обычно пересекающей все сечение потока. Конечно, отбираемая таким пробоотбирателем проба будет большого объема, поэтому используют импульсный отбор, либо открывая периодически щель, либо используя вторичный, как правило, поперечный пробоотбор от опробуемого щелевым пробоотбирателем потока.

Сегрегация как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении неизбежна, и если невозможно применение продольного отбора пробы в точке либо щелью, используют совокупность точек либо щелей, которая обеспечивает учет всех видов сегрегаций.

Так, известны устройства в виде труб с просверленными в них дырами, обеспечивающими точечный продольный пробоотбор. На сливе классификатора устанавливают трубу с отверстиями. Такое устройство при малой толщине потока обеспечивает учет продольной сегрегации. При большой толщине устанавливают несколько параллельных труб. На сливе мельницы на бутаре можно укрепить винтообразную трубу с отверстиями, которые отбирают пробу, а винтообразная труба перемещает при своем вращении пробу к разгрузочному концу.

Устройства с системой щелей, например вертикальных, расположенных по всей ширине потока, обычно не используют при отборе в связи с большим объемом отбираемой пробы, они нашли применение при сокращении пробо.

С целью уменьшения массы отбираемой пробы можно использовать не совокупность отборных щелей и точек, а одну точку или щель, перемещаемую в промежутках между моментами отбора проб в очередное место потока таким образом, что за принятый цикл перемещений совокупность точек отбора проб охватывает все сечение опробуемого потока.

Объем точечной пробы, отбираемой таким путем:

$$V_T = nsv_{\text{вх}}\tau,$$

где  $n$  — число отверстий или щелей;  $s$  — сечение пробозаборной трубки или щели;  $v_{\text{вх}}$  — скорость потока при входе в отверстие либо щель;  $\tau$  — продолжительность отбора точечной пробы.

Масса точечной пробы по твердому

$$q_T = V_T(\delta - 1)\rho/(\rho - 1),$$

где  $\delta$  — плотность пульпы;  $\rho$  — плотность твердого.

Отбор пробы способом продольных сечений может осуществляться путем принудительного засасывания в трубку либо щель пульпы вакуумом. Если трубка расположена так, что пульпа при всасывании перемещается вверх, то для обеспечения полного засасывания всех частиц скорость всасывания должна быть больше критической.

Для трубок диаметром 10—25 мм критическая скорость составляет 1,5—2 м/с.

Промышленные испытания для сравнения работы пробоотбирателей, работающих по принципу поперечного и продольного отбора проб, выполнены на хвостах контрольной молибденовой флотации [23]. Вакуумный пробоотбиратель был установлен в хвостовой камере флотации, а пневматический — в трубопроводе, в который поступают эти хвосты, АП-1 — на сливе пульпы хвостов. Управление пробоотбирателями выполнялось от одного реле времени. Сравнение выполнено на 124 пробах. Систематических и случайных расхождений не обнаружено. Фактически полученные результаты приведены в табл. 22.

Видно, что проба вакуумного пробоотбирателя обогащена тонкими классами, а пневматического, наоборот, крупными. Поэтому доказательство применимости пробоотбирателей с продольным способом отбора проб остается всегда.

Для отбора пробы бурового шлама, образующегося при бурении станками СБШ-250МН, можно использовать кассетный пробоотбиратель (рис. 64), которому присущи все характерные особенности пробоотбирателей для движущихся продуктов способом продольных сечений. Особенность станков этого типа —

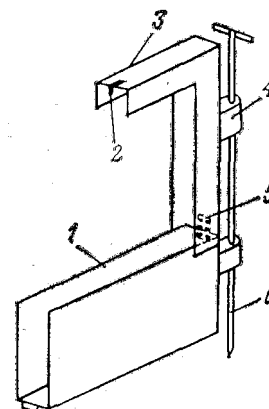


Рис. 64. Кассетный пробоотбиратель

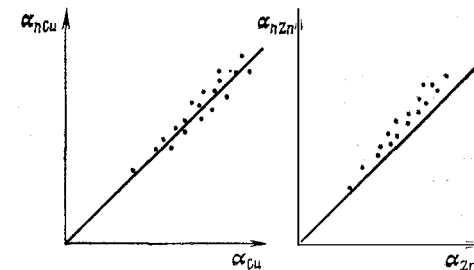


Рис. 65. Связь между результатами анализа обычных  $\alpha_{Cu}$ ,  $\alpha_{Zn}$  и пылевидных  $\alpha_{пCu}$ ,  $\alpha_{пZn}$  проб на Гайской обогатительной фабрике

Таблица 22

† Характеристика проб, отобранных от хвостов флотации пробоотбирателями различных типов

Контролируемая величина	Тип пробоотбирателя	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$	$\bar{\alpha}$	$s_{\alpha}$	$V_{\alpha}$
Массовая доля молибдена	АП-1	0,010	0,027	0,01697	0,00120	7,07
	Вакуумный (трубчатый)	0,008	0,027	0,01635	0,00125	7,64
	Пневматический (щелевой)	0,008	0,027	0,01673	0,00128	7,65
Массовая доля трехокси вольфрама	АП-1	0,105	0,398	0,243	0,068	28,0
	Вакуумный (трубчатый)	0,095	0,419	0,242	0,076	31,4
	Пневматический (щелевой)	0,106	0,448	0,253	0,072	28,5
Массовая доля класса —74 мкм	АП-1	37,4	69,4	55,2	6,98	12,6
	Вакуумный (трубчатый)	42,2	72,5	58,4	7,14	12,2
	Пневматический (щелевой)	41,3	75,1	53,9	6,73	12,5

вначале шлам выносится водовоздушной смесью к устью скважины, а затем отбрасывается потоком воздуха, создаваемого шахтным вентилятором «Проходка-500-2М», образуя шлейф шлама длиной 10 м и шириной 4 м. Кассетный пробоотбиратель устанавливается непосредственно у устья скважины и наполняется бризгами вылетающего шлама. Пробоотбиратель состоит из корпуса-кассеты 1, который может закрываться крышкой 3, имеющей шарнир 5 и защелку 2. В нужном положении пробоотбиратель закрепляется с помощью штыря 6, втыкаемого в породу. Пробоотбиратель устанавливается в открытом положении у устья скважины, в процессе бурения в нем накапливается шлам, после окончания бурения штырь 6 вынимается, а крышка 3 закрывается и фиксируется защелкой 2. Записанный номер скважины находится в пенале, выполненном в виде ручки 4. Испытания пробоотбирателя на Тейском железорудном месторождении показали хорошую сходимость содержания компонентов в валовых и точечных пробах [19].

Особенность кассетного пробоотбирателя — его используют в условиях сильно сегрегированного потока не только по крупности, но и по массовой доле компонента. Поэтому в таких условиях ищут характерную точку. Так, для станков СБШ-200 (250) эта точка найдена на расстоянии 1,5 м от скважины.

Пробоотбиратели, отбирающие пробу способом продольных сечений с активным воздействием на куски. Пробоотбиратели, основанные на способе продольных сечений, широко используют на пульпах и почти не используют на крупнокусковых продуктах. Это происходит прежде всего потому, что при таком способе отбора от крупнокусковых продуктов должна быть отобрана слишком большая проба. Уменьшить существенно массу пробы

можно, применяя пробоотбиратели с активным воздействием на куски, т. е. пробоотбиратель должен иметь щель со скалывающими либо режущими кромками.

Такие пробоотбиратели разработаны и широко используют для потоков, представленных сплошным телом, например керном. Пробоотбиратель при перемещении под ним керна пропиливает алмазным диском борозду, шлам при пропиливании и составляет материал пробы.

На обогатительных фабриках материал разрушен на куски. Поэтому устройства подобного рода еще не созданы для потоков кусковой руды.

Используется другой вариант, в котором активно воздействуют на куски либо сами куски, либо рабочие органы машины, например дробилки. В результате такого воздействия выделяется пыль, которая и может составить материал пробы. Пыль может собираться при ее естественном осаждении либо отсасываться и осаждаться в специальном пылеприемнике. В итоге может быть отобрана проба, почти идеально соответствующая оптимальному пробоотбору.

Такой способ отбора проб показал хорошие результаты на железорудной фабрике, где прочность отдельных минералов, составляющих руду, отличается незначительно.

Проверка такого способа на Гайской обогатительной фабрике показала, что при различной прочности отдельных минералов скалывание микрочастиц в свободном движении приводит к некоторому различию состава пылевой пробы и опробуемого материала, что нельзя не учитывать. Правда, наблюдается тесная корреляция между массовыми долями компонентов пыли и опробуемого материала, что и может быть использовано при опробовании (рис. 65).

## 62. ОПРОБОВАНИЕ СПОСОБОМ ПРОДОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ

Взаимодействие потока с каким-либо датчиком вещественного состава удобнее всего реализуется способом, эквивалентным отбору проб способом продольных сечений. При этом чувствительным полем датчика выделяется некоторый объем материала, формирующий полезный сигнал о массовой доле определяемого компонента, который при движении материала образует продольную полосу, составляющую выделяемую, но неотбираемую пробу.

Наилучшим является случай, при котором весь поток взаимодействует с полем датчика. При этом вся проходящая масса является пробой. Такой случай чаще всего реализуется при измерении массовой доли магнитных продуктов. Чувствительным элементом при этом является катушка, охватывающая конвейер либо пульпопровод. К устройству, реализующему такой способ опробования, относится датчик МФ-Т.

Пробу большой массы выделяют все датчики, использующие

способ измерения проникающих излучений (гамма-абсорбционные датчики), а также датчики, контролирующие естественную либо наведенную радиоактивность опробуемого материала. К устройствам такого вида относится большинство золомеров.

Значительно меньшую по массе пробу выделяют датчики, основанные на измерении рентгеновского флюоресцентного излучения, рассеянного излучения всех видов. К устройствам этого вида относятся зондовые датчики состава пульпы с радиоактивным изотопом либо рентгеновской трубкой (в том числе зондовые датчики фирмы «Филипс», система «Курьер-30»).

Объем пробы  $V$ , выделяемой любым датчиком:

$$V = sv_n\tau,$$

где  $s$  — сечение потока, взаимодействующее с датчиком;  $v_n$  — скорость потока;  $\tau$  — интервал времени, за который накапливается информация (делается отчет).

Масса пробы сухого материала

$$q = V\rho_n,$$

масса пульповой пробы

$$q = V(\delta - 1)\rho/(\rho - 1),$$

где  $\rho_n$  — насыпная плотность материала;  $\rho$  — плотность пульпы;  $\delta$  — плотность материала.

## 63. ПРОБООТБИРАТЕЛИ, ОСНОВАННЫЕ НА ИЗВЛЕЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОТОКА

*Отбор проб извлечением элементов потока.* Способ продольного отбора проб имеет тот существенный недостаток, что может обладать систематической погрешностью, которая возникает вследствие сегрегации потока. Этот недостаток так велик, что способ продольного пробоотбора не может признаваться как достоверный при балансовых расчетах. Отбираемая (выделяемая) при продольном способе отбора проба велика, и увеличивать ее, контролируя несколько точек либо сечений, — это значит увеличить и без того большую пробу либо увеличивать затраты на создание большого по размерам и мощности датчика.

Способ извлечения элементов потока совмещает преимущества продольного и поперечного способа отбора пробы.

Основным вариантом реализации такого способа для пульп является пробоотборная трубка, непрерывно отбирающая пробу и перемещаемая непрерывно по всему сечению потока, — сканирующая пробоотборная трубка 1 (рис. 66). Такая трубка будет отбирать бесконечное число элементов потока, что естественно приведет к получению пробы также большой массы. Поэтому такая сканирующая трубка дополняется устройством 2, периодически перекрывающим ее либо отводящим отбираемый поток от пробоприемного сосуда, что и дает желаемый экономичный вариант.

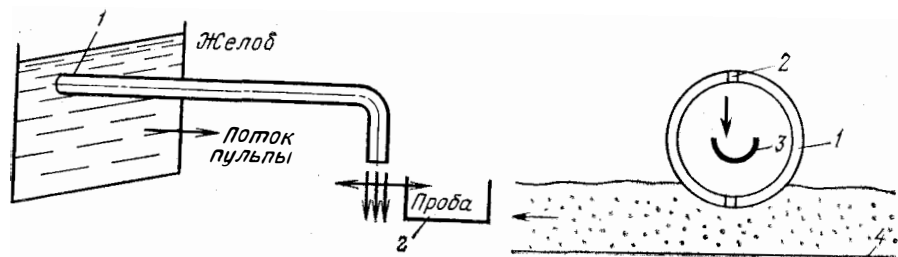


Рис. 66. Реализация способа извлечения элементов потока

Рис. 67. Схема пробоотбирателя для флотационного концентрата

Масса точечной пробы (элемента потока)

$$q_{\tau} = s v_n \Delta \tau (\delta - 1) \rho / (\rho - 1),$$

где  $\Delta \tau$  — интервал времени отбора одного элемента потока.

Число точечных проб для такого устройства — число элементов потока, отобранных за контрольный период.

Механобром разработан пробоотбиратель для концентрата (рис. 67), основной элемент которого — колесо 1 с отверстиями 2, в котором при вращении колеса от перемещаемого конвейером 4 флотационного концентрата вдавливаются точечные пробы концентрата, представляющие собою элементы потока концентрата. В пробоотбирателе для флотационного концентрата имеется ряд отверстий, что не дает возможности считать, что этот пробоотбиратель полностью реализует способ извлечения элементов потока. Для полной реализации следовало бы снабдить пробоотбиратель несколькими колесами, причем отверстия в колесах должны быть сдвинуты при переходе от одного колеса к другому на некоторую величину. Проба накапливается в приемном сосуде 3.

Отбор проб извлечением элементов потока с активным воздействием на поток будет разрабатываться для кусковых материалов. Трудности реализации как способа поперечных сечений, так и способа продольных сечений для потоков с активным воздействием на них пробоотбирателя должны привести к разработке устройств, некоторым образом фиксирующий элемент потока как с прерыванием движения этого элемента, так и без такого прерывания. Пробоотбиратель с активным воздействием на поток будет отбирать от такого элемента пробу такой массы (в том числе весьма малой), чтобы реализовать оптимальный пробоотбор.

Фиксация элемента потока необходима, так как обеспечить активное взаимодействие пробоотбирателя с движущейся крупнокусковой массой весьма трудно.

Опробование элементов потока с помощью датчиков осуществить реальнее всего, так как чувствительное поле датчика наилучшим образом взаимодействует с потоком, чем любая механическая система, однако для реализации такого способа необходимо целенаправленное изменение (перемещение) объема материала, взаимодействующего с датчиком.

С некоторыми допущениями можно считать такой способ реализованным в системе многократной циркуляции пульпы в кювете анализатора СРМ-13.

#### 64. ПОДГОТОВКА ПРОБ

Подготовка проб для химических (и многих других) видов анализов заключается в подготовке навески массой 1—500 г, крупностью 0,1—0,2 мм. Это значит, что начальная проба должна быть уменьшена как по массе, так и по крупности (рис. 68). При ситовом и фракционном анализах дробление не производится.

Операции грохочения необходимы для контроля крупности пробы. Первая операция грохочения может отсутствовать. Иногда вводят дополнительные операции: подсушку, сушку, фильтрование, разрыхление.

Для подготовки проб используют следующее оборудование:

- дробилки, мельницы и истиратели, соответствующие крупности и твердости опробуемого материала и схеме его подготовки;
- механические грохоты и ручные сита, соответствующие схеме подготовки проб;

устройства и приспособления для перемешивания и совки для них;

сократители проб ручные и механические и совки к ним;

весы лабораторные с погрешностью взвешивания 0,05 %;

весы технические грузоподъемностью от 50 до 1000 кг;

фильтровальные установки и приспособления для декантации;

шкафы сушильные с терморегулятором;

посуду лабораторную.

При наличии соответствующего оборудования для подготовки проб можно использовать проборазделочные машины (иногда машины, обеспечивающие подготовку двух-трех аналитических проб, а некоторые и одной лабораторной). Такие машины в основном разработаны для углеобогатительных фабрик.

Во всех случаях при подготовке проб следует предохранять их от изменения состава на всех стадиях отбора, подготовки и хранения. Все механизмы, инструменты, пробоприемные устройства должны быть очищены от загрязнения и отрегулированы. При отборе и подготовке проб должны быть обеспечены условия безопасного труда. Попадание в пробу посторонних продуктов в процессе отбора либо подготовки называется засорением проб.

Засорение проб может привести к грубым случайным (а иногда и систематическим) погрешностям, поэтому возможность засорения должна быть устранена.

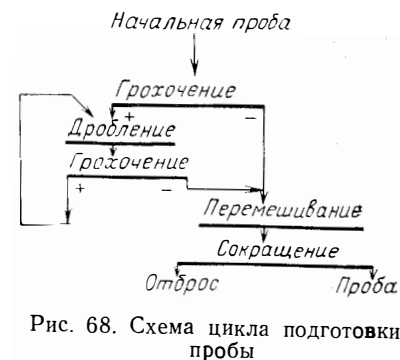


Рис. 68. Схема цикла подготовки пробы

Возможные причины засорения:

случайное попадание просыпей либо переливов в оставленные без надзора открытые емкости с пробами. Особенно сильно засоряют пробы руды или хвостов богатые продукты. Если оставить, например, ведро с пробой возле флотационной машины, то брызги концентрата могут привести к засорению пробы. Если в системе доставки проб есть открытые участки, то при близком их расположении возможно попадание брызг в соседние участки. Известно, что при сушке проб без перемешивания образуется корочка, которая затем растрескивается и кусочки пробы разлетаются, попадая в соседние чашки, и т. п.;

остатки предыдущих проб, оставшиеся в емкости либо на инструменте, не вычищенные с должной тщательностью.

Для исключения засорения необходима тщательная очистка всех устройств, используемых для отбора и подготовки проб. Другим решением, позволяющим несколько ослабить это требование, является использование одних и тех же устройств и инструментов для опробования близких по составу продуктов, а еще лучше только одного и того же продукта.

Пробы дробят в лабораторных дробилках соответствующего типоразмера.

Для дробления проб крупностью 10—50 мм и выше используют щековые дробилки, для проб крупностью 10—1 мм — валковые дробилки, для измельчения проб до крупности 0,1 мм — истиратели.

Недостаток обычно используемых дробилок — возможность потерь за счет просыпей и удаления образующейся пыли.

Разработка компактных установок для подготовки проб руды связывается в настоящее время с использованием инерционных дробилок КИД-300. Разработанные образцы таких дробилок производительностью до 0,3 т/ч позволяют за одну операцию доводить исходную пробу крупностью 20 мм и влажностью до 4 % до крупности — 0,1 мм.

Истирание вручную проводится в агатовых или фарфоровых ступках.

Наиболее широко распространены электромеханические истиратели. Самая распространенная конструкция содержит 2—4 стальных цилиндра с помещенным в каждый из них закаленным стержнем диаметром, составляющим 60—70 % внутреннего диаметра цилиндра. В каждый цилиндр загружается проба массой около 100 г, а цилиндрам, помещенным на какой-либо раме, сообщаются энергичные движения, аналогичные движениям центробежно-инерционных грохотов.

Имеется ряд эффективных конструкций аппаратов для измельчения и истирания. Если необходимо измельчать пробу большой массы, то используют шаровые мельницы.

Разработан доизмельчитель проб мокрым способом инерционного типа 135-Др-Б, в котором ролики за счет дебалансов обкатываются по внутренней стенке вертикального барабана.

Грохочение проб выполняется на ручных или механических грохотах с размерами ячеек сита, соответствующими технологической схеме подготовки проб.

Крупные пробы обрабатывают на инерционных наклонных грохотах.

Грохот 138-Гр, установленный на раме в комплекте с бункером, питающим лотком и приемниками, известен как 93-УС1.

Небольшие навески (до 200 г) могут быть просеяны на ситовом анализаторе 236-Б-Гр. Однако при опробовании ситовой анализатор используется редко. При ручной обработке проб для этой цели используется контрольное сито, при механическом истирании крупность обеспечивается подбором режима работы истирателя.

Декантация (т. е. слив жидкой фазы) выполняется после отстаивания пробы. Жидкая фаза сливается через край сосуда или с помощью шланга таким образом, чтобы сливалась только чистая жидкость без захвата твердых частиц, поэтому эту операцию следует проводить максимально осторожно. Для ответственных, в частности всех товарных, проб декантация не рекомендуется.

Не следует осуществлять декантацию и для проб, определяемый компонент которых может оказаться в растворенном виде в декантируемой части пробы.

Фильтрация осуществляется с целью экспрессного удаления влаги и получило широкое применение с использованием высокопроизводительных рентгеноспектральных анализаторов. Выпускается фильтровальная установка 39-ФТ-Б на два стакана размером 150×120 мм, однако чаще фильтровальные устройства изготовляют непосредственно на фабрике. При массовом поступлении проб на фабриках устанавливают специальные фильтровальные столы, содержащие 10—12 фильтровальных ячеек и работающие как под разрежением, так и под давлением.

Фильтровальная ячейка (рис. 69, а) состоит из цилиндра 2, устанавливаемого на фильтровальное решето 4, на которое предварительно укладывается фильтровальная бумага 3.

В цилиндр 2 поступает проба 1, которая фильтруется через бумагу под действием вакуума ( $p=0,07$  МПа), подводимого через патрубок 5, через который происходит и слив фильтрата.

Фильтровальное решето 4 имеет бортик, а цилиндр 2 подогнан так, чтобы при закреплении фильтровальной бумаги образовывалось герметичное соединение цилиндра с решето.

При использовании рентгеноспектральных квантомет-

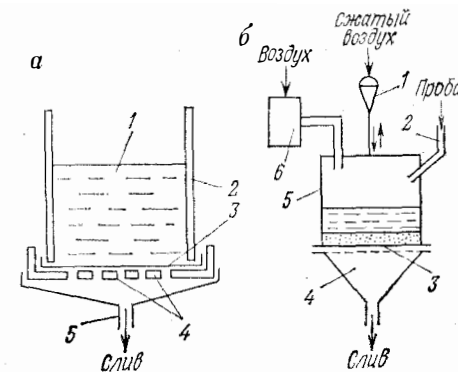


Рис. 69. Фильтровальная ячейка (а) и фильтровально-сушильная установка (б)



ров типа КРФ-17, КРФ-18 и СРМ-18 продолжительность отдельных операций подготовки пробы составляет, мин:

Транспортирование проб . . . . .	1
Фильтрация (вакуум 0,07 МПа) . . . . .	3—25
Сушка . . . . .	5
Донстирование . . . . .	5
Анализ проб . . . . .	10

На Тырнаузской обогатительной фабрике реализовали фильтрацию под давлением с одновременной сушкой [3].

При использовании сжатого воздуха с избыточным давлением 0,2 МПа продолжительность фильтрации уменьшается в 3 раза. Поддача под таким давлением горячего воздуха обеспечивает одновременно сушку пробы.

Фильтровально-сушильная установка (рис. 69, б) работает следующим образом. Фильтрующая поверхность 3, состоящая обычно из нескольких слоев фильтровальной бумаги, укладывается на основу 4. На нее устанавливается стакан 5, который прижимается пневматическим исполнительным механизмом 1. Пробу заливают (или она поступает по системе трубопроводного транспорта) по трубке 2, после чего в стакан подают горячий воздух от нагревателя 6 под давлением 0,2 МПа.

Анализ содержания каких-либо компонентов в пробе выполняется в расчете на сухую массу. Поэтому навеска, передаваемая на анализ, должна быть сухой.

Сушат пробы в сушильных шкафах. Температура сушки должна быть такой, чтобы не приводила к другим изменениям пробы. Поэтому уголь сушат при температуре 35—55 °С, сульфидные руды — при температуре 105—110 °С. При сушке материал способен образовывать на поверхности корки, которые растрескиваются. При растрескивании корки могут вылетать из чашек и засорять другие пробы. Поэтому пробы при сушке необходимо периодически перемешивать.

Если проба при сушке выделяет вредные вещества, то ее необходимо сушить в шкафах, оборудованных вытяжной вентиляцией.

Помещаемая в сушильный шкаф проба должна иметь маркировку.

*Перемешивание* проб необходимо при сокращении пробы на одну или несколько частей однократным отделением этой части от всей пробы (или путем отделения этой части отбором небольшого числа порций от 2 до 20—30).

При идеальном перемешивании не имеет значения, сколько порций формируется при сокращении, и теоретически вполне достаточно однократного отбора сокращенной части. Однако убедиться в идеальности перемешивания нельзя, поэтому предпочитают даже при перемешивании отбирать несколько порций (от двух при квартовании до 20—30 при квадратировании).

Способы перемешивания проб приведены в табл. 23.

Механическое перемешивание при наличии оборудования мо-

Способы перемешивания проб

Способ	Область использования	Отличительные признаки
Перелопачивание	Пробы большой массы (>100 кг)	Проба перебрасывается из кучи в кучу, причем отдельные порции при перебрасывании берутся в произвольных точках
Способ кольца и конуса	Пробы средней массы (100—2000 кг) крупностью до 60 мм	Проба поочередно разбрасывается в кольцо и собирается в конус, при формировании конуса материал высыпается на его вершину, при разбрасывании и сборе пробы порции надо брать в различных частях конуса или кольца
Перекатывание	Пробы небольшой массы и крупности	Проба помещается на клеенку и резкими движениями перекатывается с угла на угол 20—30 раз
Просеивание	Пробы малой массы и крупности, в частности после сушки	Растирая комки резиновой пробкой, пропускают пробу 2—3 раза через сито с ячейками в 2—3 раза больше максимальной крупности частиц пробы
Механическое перемешивание	Различная масса и крупность в зависимости от используемого оборудования	Проба помещается в какое-либо перемешивающее устройство (мельница без шаров или с 3—5 фарфоровыми шариками, смеситель)

жет быть использовано для проб любой массы и крупности. Обычно используют для этой цели мельницы. Основной проблемой при этом является доказательство именно перемешивающих, а не сегрегирующих свойств оборудования.

Перемешивание является традиционно используемой, но не обязательной операцией подготовки пробы. Перемешивание принципиально необходимо лишь при сокращении пробы делением ее на небольшое число порций. При сокращении пробы делением на большое число микропорций перемешивание не обязательно.

*Сокращение пробы* — наиболее ответственная операция, собственно, при ее выполнении и появляется основная погрешность подготовки пробы.

Идеальными ситуациями при сокращении неподвижных проб являются два противоположных по технике выполнения сокращения: однократный отбор необходимой массы от идеально перемешанной пробы и покусковой случайный отбор пробы от массы любой степени неоднородности. Эти идеальные ситуации недостижимы в практике подготовки пробы, поэтому обычно применяют перемешивание (возможно, неидеальное) и сокращение пробы несколькими порциями. В случае возможности отбора числа порций, равного нескольким сотням, используют сокращение без перемешивания,

Таблица 24

## Способ сокращения неподвижных проб

Способ	Область использования	Отличительные признаки
Квартование	Сокращение проб, высыпаемых на конус и тщательно перемешанных	Проба делится однократным введением крестовины в развернутый ею конус. Сокращенной пробой считается материал, взятый из двух накрест расположенных секторов
Квадратование (практически вычерпывание)	Сокращение проб, выровненных тонким слоем и достаточно тщательно перемешанных	Сокращение производится отбором нескольких десятков микропорций в узлах правильной сетки. Во избежание устранения влияния сегрегации порцию отбирают, погружая совок (шпатель) на всю глубину слоя
Способ линейки	Сокращение проб, расположенных длинной узкой полосой на краю стола, перемешивание не требуется	От всей полосы отбирается 150—300 микропорций. Если лопатка, которой сгребают эти порции, достаточно узка, то может быть отобрана сразу аналитическая навеска

Таблица 25

## Способы сокращения перемещаемых проб

Способ	Область использования	Отличительные признаки
<i>Методом поперечных сечений</i>		
Выборочный (фракционный)	Сокращение больших проб ручным инструментом без перемешивания	При перегрузке или перебра- сывании пробы в сокращенную часть отбирается каждая <i>n</i> -я порция
Механическое сокращение с помощью:	Сокращение любых проб, для которых пригодно имеющееся оборудование	Отбор нескольких сот порций в пробу. Деление пробы на 12 частей 720 микропорция- ми
механических сократителей МСП-1; МСП-2; МСП-3	Мелкие продукты	Деление пробы на 10 частей
электромеханического сократителя	Для проб массой до 50 кг, крупностью до 4 мм	Деление на <i>n</i> равных частей и одну половинную пробу
<i>Методом продольных сечений</i>		
С помощью желобчатых сократителей	Для средних и малых проб (до 25 кг) небольшой крупности; целесообразно хотя бы слабое перемешивание	Проба делится на 10—16 параллельных струй, четные из которых объединяются в одну пробу, нечетные — в другую
С помощью статических сократителей	Жидкие пробы и пульпы	Проба перед делением турбулизуется и делится на 2 части. Такое деление выполняется несколько раз

Сокращение может проводиться как неподвижных проб (табл. 24), так и проб, масса которых каким-то образом перемещается (пересыпается, переливается) (табл. 25). В последнем случае при сокращении пробы возможен как поперечный, так и продольный способ отбора микропорций.

## 65. ПРОБОРАЗДЕЛОЧНЫЕ МАШИНЫ

Установки, предназначенные для механической обработки проб и выполняющие несколько операций, в том числе дробление, сокращение, перемешивание, сушку проб, с выдачей измельченной пробы небольшой массы, называются проборазделочными машинами. Большинство из них предназначено для обработки проб угля.

Проборазделочные машины работают при исходной влажности углей и сланцев не более 17—18 % и бурых углей не более 40 %.

На углеобогатительных фабриках проборазделочными машинами МПЛ-300 и МПЛ-150 оборудовано свыше 80 пунктов отбора и подготовки проб, с их помощью опробуется более 200 млн. т угля в год.

Исходную пробу угля крупностью до 300 мм подают ленточным питателем в молотковую дробилку и дробят до 25 мм, затем с помощью наклонного многоковшового сократителя сокращают. Сокращенную пробу во второй молотковой дробилке дробят до крупности 3 мм и сокращают до массы лабораторной пробы.

В машинах МПА и МЛА, подготавливающих аналитические навески, производится подсушка проб при температуре  $115 \pm 10$  °С.

Проборазделочные машины для руд не выпускают, кроме установок для подготовки геологических проб — УОГП. В УОГП обработка ведется мокрым способом, так как потери материала пробы при обработке сухим способом могут быть велики. При избирательном дроблении (измельчении) эти потери могут привести к изменению состава пробы.

Остатки материала предыдущей пробы могут вызывать засорение последующей пробы.

Таблица 26

## Потери материала при дроблении проб за счет удаления пыли, просыпей

Оборудование	Крупность материала на выходе, мм	Относительные потери массы, %
Дробилка:	щечковая	10
	валковая	4
	»	1
Дисковый истиратель	0,05	До 30

В УОГП реализован теоретически оптимальный режим подготовки проб крупностью 8—10 мм. На этой установке пробы массой 0,5—20 кг в течение 3—15 мин измельчают в центробежной роликовой мельнице до крупности 70—80 % — 0,071 мм с одновременным сокращением пробы и получением двух проб массой 80—220 г каждая. Сокращение производится отсечкой измельченного материала методом поперечных сечений со степенью сокращения 6—90 по массе. Число отсечек на пробе наименьшей массы (0,5 кг) составляет 30.

Масса установки 690 кг. УОГП включает измельчитель-сократитель и лабораторный стол.

Измельчитель-сократитель состоит из электромагнитного питателя, центробежной роликовой мельницы и вращающегося секторного пробоотбирателя.

Лабораторный стол служит для выполнения операций обезвоживания, сушки, взвешивания и упаковки лабораторных проб. Обезвоживание проводится под вакуумом, для чего в стол вмонтирован вакуум-насос. На столе установлены сушильный шкаф и весы.

## 66. СИСТЕМЫ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ ПРОБ РУДЫ

Совокупность пробоотборных средств и средств подготовки проб вплоть до лабораторной пробы или аналитической навески составляет систему.

Такие системы отбора и подготовки проб кусковых продуктов, включающие ковшовые типа ПК или скреперные пробоотбиратели ПС и проборазделочные машины типа МПЛ-150 или МПЛ-300, установленные непосредственно у пробоотбирателя, распространены на углеобогатительных фабриках.

Достоинства этих систем — комплексность поставки пробоотбирателей и проборазделочных машин и, следовательно, предопределенность всех операций подготовки проб. Для конкретной углеобогатительной фабрики определяется технологическая точка отбора пробы и намечаются к установке указанные средства.

Для рудных фабрик такие системы собираются в виде технологических цепочек из отдельных единиц оборудования.

Системы отбора и подготовки проб кусковых продуктов позволяют осуществлять так называемое головное опробование, которое дает возможность получить информацию о перерабатываемых продуктах на входе обогатительной фабрики.

Возможны следующие варианты опробования руды:

повагонное опробование до первых стадий дробления;

опробование дробленой руды перед бункерами главного корпуса;

опробование дробленой руды перед подачей ее в мельницу.

Чем раньше по ходу технологического процесса начато опробование руды, тем полнее и точнее может быть собрана информация и тем шире возможности по управлению на фабрике. Раннее оп-

робование в начале процесса позволяет дробить, складировать и направлять на обогащение руду с учетом ее качества.

Однако чем раньше по ходу технологического процесса начато опробование, тем труднее его осуществлять в связи с резким возрастанием крупности опробуемого материала, мощности опробуемых потоков либо необходимостью отбора пробы от большого числа отдельных транспортных емкостей. Поэтому на подавляющем большинстве рудных обогатительных фабрик головное опробование кусковых материалов отсутствует.

Опишем имеющиеся случаи использования таких систем.

На рис. 70 представлена схема отбора и подготовки проб дробленой руды. Система предназначена для отбора суточных химических проб руды, проб на влажность, а также технологических проб. Она смонтирована на перепаде руды с конвейера на конвейер и состоит из цепного ковшового пробоотбирателя 1, перегрузочной воронки 2 с двойным желобом и перекидным шибером 3, бункера 4 на два отделения с заслонками 5, лоткового питателя 6, валковой дробилки 7, двух секторных сократителей 8, установленных в наклонном желобе 9, бункера 10, ленточного конвейера 12 и нескольких заслонок 11.

Цепной пробоотбиратель настроен на 20 отсечек в час. Скорость движения ковша 0,9 м/с, ширина ковша 200 мм. Крупность руды принята —15+0 мм. Проба (2—4 т), отбираемая за сутки, попадает в одно из отделений бункера 4, проба за следующие сутки — в другое отделение. Проба за истекшие сутки дробится до крупности —6+0 мм и сокращается двумя сократителями примерно в 30 раз. Таким образом, масса пробы, выдаваемой станцией, составляет 60—150 кг в сутки при крупности —6+0 мм. Остатки руды ленточным конвейером удаляют в процесс, материал после первого приема может быть отправлен на технологические исследования.

Системы для отбора и подготовки проб крупнокусковых продуктов создают и внедряют там, где опробование мелкокусковых продуктов либо пульпы невозможно, главным образом потому что с некоторого момента поток руды становится неидентичным входному потоку руды на фабрике.

Так, на асбестообогатительных фабриках извлечение асбеста начинается уже при крупности 100 мм, в связи с чем станции отбора и подготовки проб устанавливают для опробования руды крупностью 100 мм (рис. 71). Отобранная на перепаде руды с конвейера 1 пробоотбирателем 2 за одно отсекание проба массой 200 кг ленточным конвейером 3 подается в промежуточный бункер 4, из которого электровибрационным питателем 5 подается в щековую дробилку 6, после которой установлен стационарный делитель шибера типа 7. После второй стадии дробления 8 секторный сократитель 9 выделяет точечную пробу массой 7—8 кг. Точечные пробы накапливаются в сборнике пробы 10, образуя в нем объединенную (сменную) пробу. Остатки пробы накапливаются в бункере 11, откуда удаляются конвейером 12.

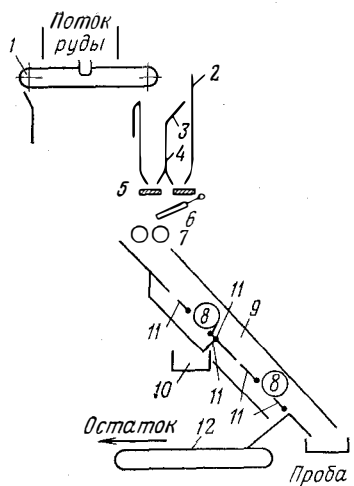


Рис. 70. Схема отбора и подготовки пробы дробленой руды

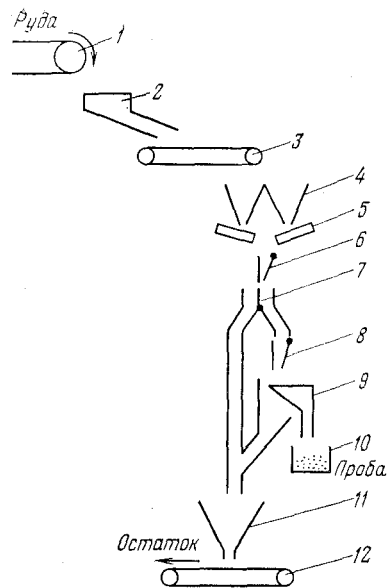


Рис. 71. Схема отбора и подготовки пробы асбестовой руды

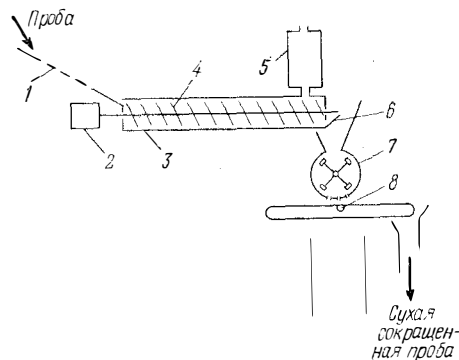


Рис. 72. Схема подготовки влажных крупнокусковых проб

Система для обработки влажных проб, например концентратов отсадочных машин [13] (рис. 72), состоит из вибропитателя 1 с обезвоживающей поверхностью, на который поступает отбираемая пробоотбирателем проба. Вибропитатель подает пробу в сушилку 3 длиной 2 м, диаметром 200 мм, внутри которой находится вращающийся шнек 4 с приводом 2. В сушилку подается сжатый воздух, который проходит через нагреватель 5, сушит материал пробы, взрыхляемый и перемещаемый шнеком. Высушенная проба постепенно поступает в молотковую дробилку 7, которая дробит концентрат до крупности 1,5 мм и, наконец, на сократитель 8. На выходном канале системы установлен затвор 6, обеспечивающий отсутствие подсосов холодного воздуха в сушилку.

## 67. СИСТЕМЫ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ ПУЛЬПООБРАЗНЫХ ПРОБ

Отбор проб пульпы исключительно широко распространен на большинстве обогатительных фабрик. Это связано прежде всего с широким распространением мокрых процессов обогащения и с допущением возможности опробования головного потока руды либо на сливе мельницы, либо на сливе классификатора.

Достоинство опробования пульпы — максимально полная подготовка пульпообразных продуктов для анализа, что упрощает и отбор, и подготовку проб.

Пробы пульпообразных продуктов обогащения отбирают в основном на горизонтальных или вертикальных перепадах из труб и желобов, транспортирующих пульпу.

Требования при организации пробоотбора следующие: возможность наблюдения за состоянием питающего желоба, перегрузочного ящика и пробоприемного устройства. Желоб должен подводить пульпу к перепаду без завихрений и брызг. Во время пауз между отсечками подтеки или капли пульпы не должны попадать ни на пробоотсекающий нож, ни в щель пробоприемного устройства. Весьма важно правильное решение узла установки пробоотбирателя.

На рис. 73 показан пример установки пробоотбирателя типа АП-1 на горизонтальном участке потока пульпы. Пробоотбиратель 1 с пробоотсекательным ножом 2 устанавливается на определенном расстоянии от подводящего пульпу короткого желоба 3, ширина которого на 150 мм меньше хода ножа. Козырек желоба 4 и кольца 5 на патрубке ножа служат защитой от проникновения подтеков и брызг пульпы в пробоприемную коробку 6. Пульпа самотеком или насосами подается в буферную коробку 7 с успокоительной стенкой 8, не доходящей до дна коробки. Успокоенный поток пульпы проходит по желобу 3 и попадает в распределительную коробку, откуда через патрубок направляется на дальнейшие операции. Проба, отсеченная ножом 2, движущимся вдоль прорези, попадает в пробоприемную коробку 6, откуда через патрубок направляется в закрытый на замок ящик с сосудом для пробы.

Необходимость системы отбора и подготовки проб крупнокусковых продуктов возрастает при использовании развитых схем обогащения.

На фабриках, обогащающих минералы с большой плотностью (золото, касситерит, танталоколумбит и т. п.), возможно изменение состава руды уже на стадиях ее подготовки (измельчение, классификация). На фабриках, обогащающих минералы, склонные к ошламованию, возможно изменение состава руды при промывке ее либо при удалении пыли.

В настоящее время решающее значение придается развитию операций рудоподготовки. Следовательно, системы опробования крупнокусковых материалов получают повсеместное распространение.

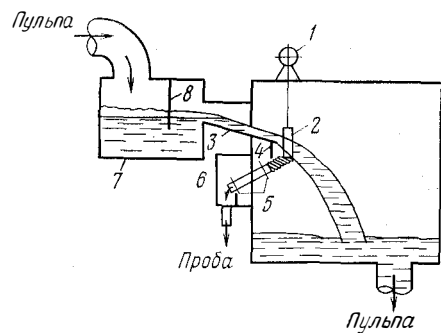


Рис. 73. Установка пробоотбирателя с поперечным сечением потока

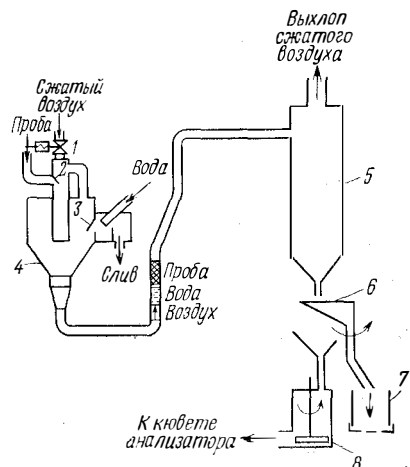


Рис. 74. Схема одной линии опробования пульпы с доставкой пробы сжатым воздухом

Если пульпу к пункту опробования подают только самотеком, то буферную коробку 7 не устанавливают, а пульпопровод сопрягают непосредственно с желобком 3.

Установка пробоотбирателей других типов отличается от описанной лишь способом крепления пробоотсекателя, узел перепада пульпы остается практически постоянным.

Во многих случаях, когда организация перепадов пульпы практически невозможна, а также при эпизодическом опробовании каких-либо продуктов или при генеральном опробовании установка автоматических пробоотбирателей нецелесообразна. В этом случае пробы отбирают вручную.

При организации ручного отбора проб необходимо выполнение следующих обязательных правил:

для каждого продукта следует выделить отдельные пробники, сократители, пробоприемные коробки, ведра и прочий вспомогательный инвентарь;

точечные пробы необходимо отбирать через строго одинаковые промежутки времени;

при поперечном сечении опробуемого потока пробник должен пересекать весь поток так, чтобы струя беспрепятственно прошла в пробник и не выплескивалась из него;

скорость пересечения потока пробником, направление и число приемов пересечения должны быть одинаковы для всех точечных проб в течение всего периода отбора объединенной пробы независимо от неравномерностей потока и изменения его производительности;

после отбора каждой точечной пробы пробник должен быть вымыт и храниться в опрокинутом состоянии.

Качественное управление процессом возможно при наличии информации о многих продуктах, точки отбора которых расположены в различных, как правило, удаленных друг от друга местах фабрики. При этом необходимо обеспечить минимальные запаздывания в определении содержаний металлов после отбора проб. Таким образом, современная постановка задачи оптимального управления технологическими процессами обогащения требует решения вопроса одновременного отбора представительных проб в различных точках схемы, быстрой доставки их к рентгеноспектральному анализатору, непродолжительной подготовки к анализу и экспрессного анализа проб.

Система оперативного опробования обеспечивает отбор, доставку и подготовку пробы пульпы методом сокращения и включает в себя следующие узлы: пробоотбиратель для отбора проб от технологических продуктов; станцию накопления и отправки проб; трубопровод для транспорта проб; устройства приема и сокращения проб; пульт дистанционного программного управления.

Требования, предъявляемые к автоматическим системам оперативного опробования по цветной металлургии, регламентированы ОСТ 48-5-75 (Методы оперативного технологического опробования руд и продуктов обогащения. Минцветмет СССР, 1975).

Отобранные пробоотбирателем точечные пробы пульпы самотеком поступают в станции накопления, которые одновременно являются станциями отправки проб (рис. 74). Объем накопителя 6—24 л.

Пробы пульпы можно транспортировать с помощью сжатого воздуха по трубопроводам в виде «пульповой пробки» длиной от 29 до 140 м в зависимости от объема накопителя.

Необходимое условие пневмотранспорта пробы пульпы — обеспечение непрерывной «пульповой пробки» при скорости ее перемещения 2—5 м/с давлением сжатого воздуха 0,5—0,6 МПа.

Станция приема проб располагается, как правило, в непосредственной близости от экспресс-лаборатории и функционально связана с устройством для сокращения проб.

Точечные пробы можно отбирать при этом обычными пробоотбирателями, однако применяют и местные специализированные варианты.

Точечные пробы поступают по гибкому шлангу в накопительную емкость, которая одновременно является и пробоотправной станцией (см. рис. 74). Проба накапливается в нижней части накопительной емкости, при этом происходит физическое усреднение пробы. Отправка пробы происходит по заданной программе (по сигналу от блока управления). В накопительную емкость поступает вода до перелива (объема 5 л), которая транспортируется вслед за «пульповой пробкой», промывает трубопроводы и накопительную емкость и предотвращает загрязнение последующих проб. При срабатывании мембранного вентиля 1 в накопительную емкость 4 подается воздух под давлением 0,6 МПа, который закрывает клапаны 2, 3 пульпы и воды, и проба в виде «пульповой

пробки» транспортируется по трубам диаметром 15 мм со скоростью 8—12 м/с в экспресс-лабораторию. Там проба поступает в приемный сосуд 5, из которого самотеком вытекает в зумпф насоса 8, перекачивающего пробу через кювету анализатора. В момент истечения пробы из сосуда 5 ее сокращают сократителем 6 для выделения сменной пробы, накапливаемой в фильтровальной ячейке 7.

Потери пульпы невелики (до 6%), причем, как показывают исследования, составы остатка и исходной пробы идентичны.

После сокращения пробы поступают в рентгеноспектральный анализатор. Таким образом, рентгеноспектральный анализатор связан со всеми нужными точками технологического процесса. Частота и порядок опробования в различных точках задаются блоком программного управления.

В СССР разработаны и эксплуатируются также вакуумные системы доставки проб (Соколовско-Сарбайский ГОК).

В случае опробования крупнокусковой руды предусматривают дробление, измельчение отобранной пробы в месте ее отбора. Измельченная руда в виде пульпы поступает в секторный сократитель, из которого отобранная часть самотеком поступает на станцию отправления и далее с помощью системы пневмотранспорта направляется в экспресс-лабораторию.

Системы прободоставки некоторых зарубежных фирм (Канады, Финляндии и др.) отличаются методом транспортирования пульпы. Пульпа непрерывно или в виде дискретных проб подается к анализатору по трубопроводу с помощью центробежных насосов или самотеком.

Для пульпообразных продуктов разработаны технические средства, обеспечивающие отбор, транспортирование, сокращение и при необходимости фильтрование и сушку проб. Вручную выполняют операции доистирания и зарядки кассет анализатора.

Комплекс технических средств для отбора пульпообразных продуктов, их транспортирования, подготовки к анализу, анализа и выдачи результатов с помощью машинного управления этим комплексом получил название АСАК — автоматизированная система аналитического контроля. При использовании спектрометров СРМ-13 эта система является автоматической и называется АСАПП.

Основное назначение АСАК — получение на основе опробования и анализа проб информации о составе продуктов обогащения и передача этой информации для контроля и управления либо технологическому персоналу, либо автоматическим системам управления процессом, а также для составления отчетных данных о работе фабрики.

Обычно в АСАК предусматривается деление пробы. Одна часть ее направляется для оперативного анализа, другая используется для формирования сменной либо суточной пробы.

Для обеспечения относительной погрешности сокращения по дисперсии 0,4—0,5% следует выполнять 60—80 отсечек, а при

числе накопленных за контрольный период точечных проб менее 16 — до 100 отсечек.

В соответствии с заданием АСАК может быть укомплектована как пульповыми, так и порошковыми спектрометрами. При этом к одной ЭВМ можно подключать до трех спектрометров. Пульповый спектрометр лучше всего использовать для оперативного анализа, а порошковый — для анализа накопленных сменных либо суточных проб, являющихся, как правило, балансовыми.

Для различных обогащательных фабрик требуется разное число точек опробования, позволяющих осуществлять оперативное управление и выполнять балансовые расчеты. Для фабрики, перерабатывающей руды цветных металлов, на одну секцию производительностью 21 млн. т руды в год необходимо иметь 10—12 точек оперативного и три и более (в зависимости от числа получаемых концентратов) точек балансового опробования.

Для контроля за работой АСАК в экспресс-лаборатории имеется пульт оператора. В настоящее время выпускают спектрометры и пульты на 12 каналов отбора и анализа проб. Каждый пробоотбиратель и линия транспортирования пробы снабжены местным щитом управления.

Комплект приемных станций из 12 или 24 формирователей обслуживается своим местным щитом управления.

Работа 12 насосов обеспечивается своим щитом. Наконец, связь всей системы опробования с ЭВМ осуществляется через щит-реле.

АСАК, работающую круглосуточно и оснащенную двумя спектрометрами СРМ-13, одним СРМ-18 и двумя ЭВМ М-6000, обслуживают 38 человек (18 ИТР и 20 рабочих). Состав ИТР: 1 начальник, 4 сменных инженера по рентгеноспектральной аппаратуре, 4 техника-оператора СРМ-18, 4 инженера по ЭВМ, 2 техника-электроника, 1 инженер-механик, 1 техник-механик, 1 инженер-химик. Состав рабочих: 8 препараторов по подготовке проб для СРМ-18, 4 лаборанта-химика, 8 слесарей-механиков по пробообеспечению. Следует указать, что в связи с условиями работы смена обслуживающего персонала АСАК длится 6 ч.

Кроме АСАК описанного типа, в мировой практике получили распространение системы с отбором проб продольным способом и непрерывной их прокачкой через подготовительную и анализирующую части системы.

## 68. КОНТЕЙНЕРНАЯ ДОСТАВКА ПРОБ

Отобранные и подготовленные пробы на большие расстояния транспортируют в контейнерах с помощью электромагнитных транспортных установок или пневмопочты.

Принцип работы установки контейнерной доставки состоит в том, что пробу помещают в контейнер, направляемый в отправительную станцию, из которой она движется с помощью вакуума по трубопроводу или с помощью электромагнитов по трассе,

## X. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА И ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### 69. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА

*Технологический баланс* — это совокупность расчетов показателей на основе системы уравнений материального баланса компонентов потоков технологических аппаратов либо их совокупностей. Обычно выполняют расчеты неизвестных выходов  $\gamma$  либо массовых долей  $\alpha, \beta, \vartheta$ .

Уравнения материального баланса должны выполняться для любых компонентов потока руды либо пульпы. Для технологической схемы с двумя выходами это:

баланс по твердому

$$\gamma_\alpha = \gamma_\beta + \gamma_\vartheta;$$

баланс по  $i$ -му компоненту

$$\alpha\gamma_\alpha = \beta\gamma_\beta + \vartheta\gamma_\vartheta;$$

баланс по воде (жидкому)

$$\gamma_{в\alpha} = \gamma_{в\beta} + \gamma_{в\vartheta};$$

баланс по  $j$ -му классу крупности

$$\alpha_{кл}\gamma_\alpha = \beta_{кл}\gamma_\beta + \vartheta_{кл}\gamma_\vartheta.$$

Таким образом, для схемы с двумя (и более) выходами может быть составлено много уравнений материального баланса, каждому из которых описываемая схема должна соответствовать.

Основным является решение системы, число неизвестных в которой равно числу уравнений. Для схемы с двумя выходами таких уравнений два. Больше число уравнений приводит к переопределенной системе, которая не имеет точного решения.

Обычно составляют систему уравнений, включающих баланс по твердому и одному из компонентов:

$$\begin{cases} \gamma_\alpha = \gamma_\beta + \gamma_\vartheta; \\ \alpha\gamma_\alpha = \beta\gamma_\beta + \vartheta\gamma_\vartheta. \end{cases}$$

Из этих двух уравнений находят  $\gamma_\beta$  и  $\gamma_\vartheta$ .

Для составления технологического баланса необходимо знать массовую долю полезного компонента в исходном продукте (питании)  $\alpha$  и массовую долю полезного компонента в выходных продуктах ( $\beta$ -концентрате и  $\vartheta$ -хвостах).

С помощью этих данных могут быть рассчитаны такие показатели:

выход концентрата  $\gamma_\beta$  в долях (или процентах) от массы сухой руды в питании;

выход хвостов  $\gamma_\vartheta$  в долях (или процентах) от массы сухой руды в питании;

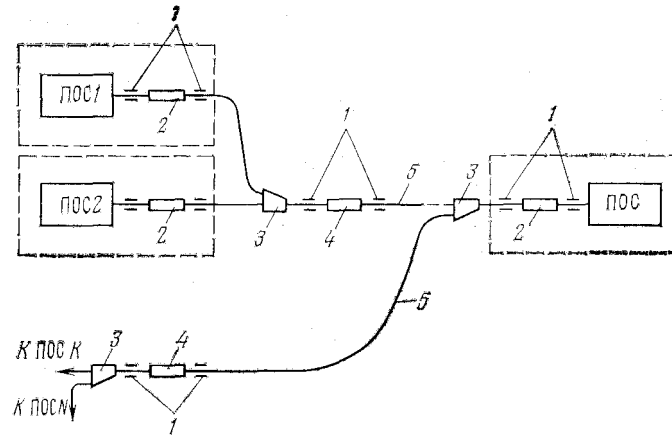


Рис. 75. Схема электромагнитной транспортной установки

состоящей из параллельных стержней, образующих в поперечном сечении контур цилиндра. Контейнеры движутся со скоростью более 15 м/с на расстояние более 300 м.

На рис. 75 показана схема электромагнитной транспортной установки [9].

Отобранную пробу вручную помещают в контейнеры, которые с помощью приемно-отправительных станций ПОС поступают на трассу. В состав ПОС входят пульт управления отправкой и приемом контейнеров и индукторы 2, снабженные двумя бесконтактными путевыми выключателями 1. Индукторы 4, расположенные на определенных расстояниях друг от друга на трассе 5, перемещают контейнер. На трассе имеются электромагнитные стрелки 3. Движение контейнера осуществляется за счет взаимодействия «бегущего» магнитного поля, образованного катушками индуктора с контейнером. Направление движения контейнера по трассе изменяют перекоммутацией обмоток питания индуктора.

Пневматический вариант доставки проб в контейнерах получил название пневмопочты.

ВНИИАчерметом разработана система автоматического отбора и транспортирования проб шихтовых материалов АП-Ш в лабораторию анализа на окомковательных и агломерационных фабриках. Пробы отбирают с заданной периодичностью от шихтовых материалов, загружают в патрон и транспортируют сжатым воздухом по трубопроводу на станцию разгрузки, установленную в пункте подготовки проб к анализу. После разгрузки патрон возвращается по тому же трубопроводу на станцию загрузки. Масса патрона с пробой составляет 2 кг, средняя скорость движения патрона 10 м/с, давление сжатого воздуха 0,35 МПа, интервал отбора проб — 10; 20; 30; 40; 50; 60 мин.

извлечение в концентрат  $\varepsilon_\beta$ , равное отношению массы компонента в концентрате  $K_\beta$  к массе компонента в руде  $K_\alpha$  в долях единицы:

$$\varepsilon_\beta = K_\beta / K_\alpha,$$

извлечение в хвосты  $\varepsilon_\vartheta$  в долях единицы

$$\varepsilon_\vartheta = K_\vartheta / K_\alpha.$$

С помощью уже найденных показателей — выходов — извлечение может быть определено по формулам

$$\varepsilon_\beta = \beta \gamma_\beta / \alpha;$$

$$\varepsilon_\vartheta = \vartheta \gamma_\vartheta / \alpha.$$

Извлечение, определяемое при расчете технологического баланса, называется технологическим.

Если измерить массу исходного продукта  $M_\alpha$  и его влажность  $W_\alpha$ , то могут быть определены абсолютные значения выходных показателей:

масса сухой руды

$$M_{c\alpha} = M_\alpha (1 - W_\alpha);$$

масса концентрата

$$M_\beta = M_{c\alpha} \gamma_\beta;$$

масса хвостов

$$M_\vartheta = M_{c\alpha} \gamma_\vartheta;$$

масса компонента в руде

$$K_\alpha = M_{c\alpha} \alpha = M_\alpha (1 - W_\alpha) \alpha;$$

масса компонента в концентрате

$$K_\beta = M_\beta \beta = M_{c\alpha} \gamma_\beta \beta = M_\alpha (1 - W_\alpha) \gamma_\beta \beta;$$

масса компонента в хвостах

$$K_\vartheta = M_\vartheta \vartheta = M_{c\alpha} \gamma_\vartheta \vartheta = M_\alpha (1 - W_\alpha) \gamma_\vartheta \vartheta.$$

Кроме технологического различают *товарный баланс*.

Различие между технологическим и товарным балансами состоит в том, что технологический баланс составляют на основе измеренных значений массовых долей компонентов во всех продуктах обогащения и результатов взвешивания и определения влаги исходного сырья; товарный же баланс обязательно составляют как на основе анализа, так и на основе взвешивания и определения влаги всех входных и выходных продуктов обогащения, в том числе отгружаемой фабрикой продукции, и продуктов, находящихся в емкостях фабрики.

Так как обычно взвесить все входные продукты можно только при поступлении на фабрику, а выходные — при отгрузке с фабрики, разница между технологическим и товарным балансами состоит еще и в том, что товарный баланс обычно охватывает ра-

боту и состояние всей фабрики, а технологический баланс может быть составлен для любой, даже малой части технологического процесса, но чаще всего операции обогащения.

Применительно к технологическим балансам следует говорить о точности рассчитываемых показателей, применительно же к товарным балансам говорят о невязке — разнице между массами полезного компонента, поступившего и вышедшего за пределы фабрики в учтенных потоках.

Рассмотрим системы уравнений и расчетные формулы для типичных участков.

*Простейшая операция* (рис. 76). Уравнение материального баланса для выходов

$$1 = \gamma_\beta + \gamma_\vartheta.$$

Уравнение материального баланса для масс полезного компонента

$$\alpha \cdot 1 = \beta \gamma_\beta + \vartheta \gamma_\vartheta.$$

Система уравнений баланса

$$\begin{cases} \alpha \cdot 1 = \beta \gamma_\beta + \vartheta \gamma_\vartheta; \\ 1 = \gamma_\beta + \gamma_\vartheta. \end{cases}$$

Неизвестные — выходы (в долях ед.):

$$\gamma_\beta = \left| \begin{array}{c|c} \alpha \vartheta & | \\ 1 & 1 \end{array} \right| / \left| \begin{array}{c|c} \beta \vartheta & | \\ 1 & 1 \end{array} \right| = (\alpha - \vartheta) / (\beta - \vartheta);$$

$$\gamma_\vartheta = 1 - \gamma_\beta = (\beta - \alpha) / (\beta - \vartheta).$$

Массы соответственно сухого продукта, руды, концентрата и хвостов

$$M_{c\alpha} = M_\alpha (1 - W_\alpha); \quad M_\beta = M_{c\alpha} \gamma_\beta; \quad M_\vartheta = M_{c\alpha} \gamma_\vartheta.$$

Технологическое извлечение

$$\varepsilon_\beta = \beta \gamma_\beta / \alpha = [(\alpha - \vartheta) / (\beta - \vartheta)] \beta / \alpha.$$

*Операция с двумя выходами* (рис. 77).

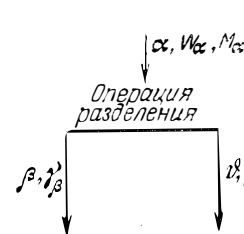


Рис. 76. Простейшая операция разделения

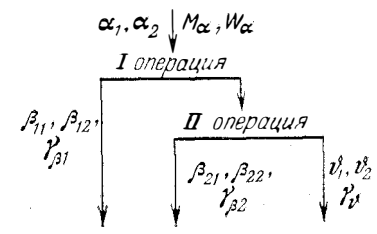


Рис. 77. Схема с двумя выходами концентратов



Система уравнений баланса

$$\begin{cases} \alpha_1 \cdot 1 = \beta_{11}\gamma_{\beta 1} + \beta_{21}\gamma_{\beta 2} + \vartheta_1\gamma_{\vartheta}; \\ \alpha_2 \cdot 1 = \beta_{12}\gamma_{\beta 1} + \beta_{22}\gamma_{\beta 2} + \vartheta_2\gamma_{\vartheta}; \\ 1 = \gamma_{\beta 1} + \gamma_{\beta 2} + \gamma_{\vartheta}. \end{cases}$$

Решение этой системы — выхода:

$$\begin{aligned} \gamma_{\beta 1} &= [\alpha_1(\beta_{22} - \vartheta_2) - \beta_{21}(\alpha_2 - \vartheta_2) + \vartheta_1(\alpha_2 - \beta_{22})]/\Delta; \\ \gamma_{\beta 2} &= [\beta_{11}(\alpha_2 - \vartheta_2) - \alpha_1(\beta_{12} - \vartheta_2) + \vartheta_1(\beta_{12} - \alpha_2)]/\Delta; \\ \gamma_{\vartheta} &= [\beta_{11}(\beta_{22} - \alpha_2) - \beta_{21}(\beta_{12} - \alpha_2) + \alpha_1(\beta_{12} - \beta_{22})]/\Delta. \end{aligned}$$

Здесь  $\Delta$  — главный определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{21} & \vartheta_1 \\ \beta_{12} & \beta_{22} & \vartheta_2 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = \beta_{11}(\beta_{22} - \vartheta_2) - \beta_{21}(\beta_{12} - \vartheta_2) + \vartheta_1(\beta_{12} - \beta_{22}).$$

Массы соответствующих продуктов

$$M_{\beta 1} = M_{\alpha} \gamma_{\beta 1}; \quad M_{\beta 2} = M_{\alpha} \gamma_{\beta 2}; \quad M_{\vartheta} = M_{\alpha} \gamma_{\vartheta}.$$

Технологические извлечения

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\beta 1} &= \beta_{11}\gamma_{\beta 1}/\alpha_1; & \varepsilon_{\beta 2} &= \beta_{22}\gamma_{\beta 2}/\alpha_2; \\ \varepsilon_{\vartheta 1} &= \vartheta_1\gamma_{\vartheta}/\alpha_1; & \varepsilon_{\vartheta 2} &= \vartheta_2\gamma_{\vartheta}/\alpha_2. \end{aligned}$$

Аналогично составляют и решают системы уравнений для операций с любым числом выходов.

Для реальных технологических схем обычно не стремятся вывести формулы выходов для всей схемы сразу, а выполняют расчет в несколько стадий. Для сложной схемы (рис. 78) выхода рассчитывают чаще всего следующим образом.

Составляют систему уравнений для I операции обогащения:

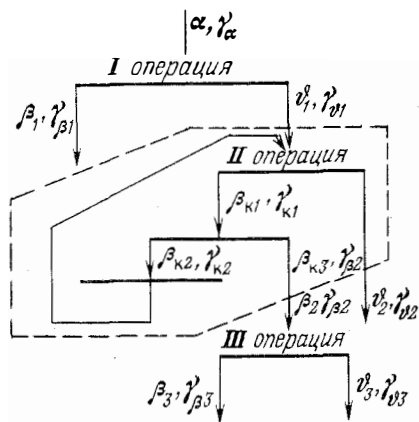


Рис. 78. Сложная схема

$$\begin{cases} \alpha\gamma_{\alpha} = \beta_1\gamma_{\beta 1} + \vartheta_1\gamma_{\vartheta 1}; \\ \gamma_{\alpha} = \gamma_{\beta 1} + \gamma_{\vartheta 1}. \end{cases}$$

откуда находят с учетом, что  $\gamma_{\alpha} = 1$ :

$$\begin{aligned} \gamma_{\beta 1} &= (\alpha - \vartheta_1)/(\beta_1 - \vartheta_1); \\ \gamma_{\vartheta 1} &= 1 - \gamma_{\beta 1} = (\beta_1 - \alpha)/(\beta_1 - \vartheta_1). \end{aligned}$$

Затем таким же образом находят выхода для II операции обогащения:

$$\begin{aligned} \gamma_{\beta 2} &= \gamma_{\vartheta 1}(\vartheta_1 - \vartheta_2)/(\beta_2 - \vartheta_2); \\ \gamma_{\vartheta 2} &= \gamma_{\vartheta 1}(\beta_2 - \vartheta_1)/(\beta_2 - \vartheta_2). \end{aligned}$$

и наконец, для III операции

$$\begin{aligned} \gamma_{\beta 3} &= \gamma_{\beta 2}(\beta_2 - \vartheta_3)/(\beta_3 - \vartheta_3); \\ \gamma_{\vartheta 3} &= \gamma_{\beta 2}(\beta_3 - \beta_2)/(\beta_3 - \vartheta_3). \end{aligned}$$

Если необходимо рассчитать выход циркулирующего продукта, то следует ввести две какие-либо дополнительные точки контроля, например для операции классификации (обычно по данным ситового анализа на расчетный класс):

$$\begin{cases} \beta_{\kappa 1}\gamma_{\kappa 1} = \beta_{\kappa 2}\gamma_{\kappa 2} + \beta_{\kappa 3}\gamma_{\beta 2}; \\ \gamma_{\kappa 1} = \gamma_{\kappa 2} + \gamma_{\beta 2}. \end{cases}$$

Отсюда  $\gamma_{\kappa 2} = \gamma_{\beta 2}(\beta_{\kappa 3} - \beta_{\kappa 1})/(\beta_{\kappa 1} - \beta_{\kappa 2})$ .

Аналогично по анализу проб на содержание твердого рассчитывается расход воды (расчеты водно-шламовой схемы).

## 70. ПОГРЕШНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Погрешность расчетного показателя — важная характеристика технологического баланса. Общую схему расчета погрешности поясним применительно к схеме (рис. 79). Пусть необходимо рассчитать погрешности извлечения и массы металла во втором концентрате.

Вычисляем выхода

$$\gamma_{\vartheta 1} = (\beta_1 - \alpha)/(\beta_1 - \vartheta_1); \quad \gamma_{\beta 2} = \gamma_{\vartheta 1}(\vartheta_1 - \vartheta_2)/(\beta_2 - \vartheta_2).$$

Извлечение во второй концентрат

$$\varepsilon_2 = \gamma_{\beta 2}\beta_2/\alpha.$$

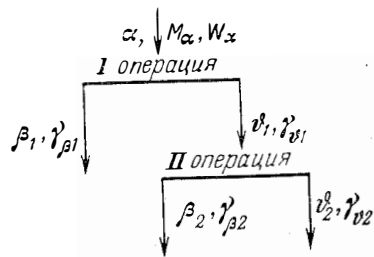
Масса металла во втором концентрате

$$K_{\beta 2} = M_{\alpha}(1 - W_{\alpha})\gamma_{\beta 2}\beta_2.$$

Следовательно, погрешности

$$\begin{aligned} s^2_{\varepsilon 2} &= \left(\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \gamma_{\beta 2}}\right)_0^2 s^2_{\gamma_{\beta 2}} + \left(\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \beta_2}\right)_0^2 s^2_{\beta_2} + \left(\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \alpha}\right)_0^2 s^2_{\alpha} = \\ &= (\beta_2/\alpha)^2 s^2_{\gamma_{\beta 2}} + (\gamma_{\beta 2}/\alpha)^2 s^2_{\beta_2} + (\gamma_{\beta 2}\beta_2/\alpha^2)^2 s^2_{\alpha}; \\ s^2_{K_{\beta 2}} &= [\gamma_{\beta 2}\beta_2(1 - W_{\alpha})]^2 s^2_{M_{\alpha}} + [M_{\alpha}\beta_2(1 - W_{\alpha})]^2 s^2_{\gamma_{\beta 2}} + \\ &+ [M_{\alpha}\gamma_{\beta 2}(1 - W_{\alpha})]^2 s^2_{\beta_2} + (M_{\alpha}\gamma_{\beta 2}\beta_2)^2 s^2_{W_{\alpha}}; \\ s^2_{\gamma_{\vartheta 1}} &= \left(\frac{\partial \gamma_{\vartheta 1}}{\partial \alpha}\right)_0^2 s^2_{\alpha} + \left(\frac{\partial \gamma_{\vartheta 1}}{\partial \beta_1}\right)_0^2 s^2_{\beta_1} + \left(\frac{\partial \gamma_{\vartheta 1}}{\partial \vartheta_1}\right)_0^2 s^2_{\vartheta_1} = \\ &= \frac{1}{(\beta_1 - \vartheta_1)^2} s^2_{\alpha} + \left[\frac{\alpha - \vartheta_1}{(\beta_1 - \vartheta_1)^2}\right]^2 s^2_{\beta_1} + \left[\frac{\beta_1 - \alpha}{(\beta_1 - \vartheta_1)^2}\right]^2 s^2_{\vartheta_1}; \\ s^2_{\gamma_{\beta 2}} &= \left(\frac{\partial \gamma_{\beta 2}}{\partial \gamma_{\vartheta 1}}\right)_0^2 s^2_{\gamma_{\vartheta 1}} + \left(\frac{\partial \gamma_{\beta 2}}{\partial \vartheta_1}\right)_0^2 s^2_{\vartheta_1} + \left(\frac{\partial \gamma_{\beta 2}}{\partial \vartheta_2}\right)_0^2 s^2_{\vartheta_2} + \\ &+ \left(\frac{\partial \gamma_{\beta 2}}{\partial \beta_2}\right)_0^2 s^2_{\beta_2} = \left[\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\beta_2 - \vartheta_2}\right]^2 s^2_{\gamma_{\vartheta 1}} + \frac{\gamma_{\vartheta 1}^2}{(\beta_2 - \vartheta_2)^2} s^2_{\vartheta_1} + \\ &+ \left[\gamma_{\vartheta 1} \frac{\vartheta_1 - \beta_2}{(\beta_2 - \vartheta_2)^2}\right]^2 s^2_{\vartheta_2} + \left[\gamma_{\vartheta 1} \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{(\beta_2 - \vartheta_2)^2}\right]^2 s^2_{\beta_2}. \end{aligned}$$

Рис. 79. К расчету погрешностей показателей технологического баланса



Здесь  $s_\alpha$ ,  $s_\beta$ ,  $s_\vartheta$  — погрешности результатов опробования соответственно руды, концентрата и хвостов, определяемые по формулам вида (109) либо экспериментально;  $s_\gamma$  — погрешность определения выхода соответствующего продукта.  $s_\gamma$  для первой операции равна нулю, так как входная величина принимается равной единице. Если для участка  $\gamma$  определен расчетом, то и  $s_\gamma$  принимается в соответствии с расчетной для предыдущей операции.

Доверительные интервалы для расчетного показателя, например,  $\gamma_{\beta 2}$ :

$$\Delta \gamma_{\beta 2} = \pm t s_{\gamma_{\beta 2}}$$

или в относительном виде

$$P_{\gamma_{\beta 2}} = \pm 100 t s_{\gamma_{\beta 2}} / \gamma_{\beta 2} \quad (115)$$

**Правило размерностей.** Если при расчете погрешностей использовать те же самые размерности, что и при расчете показателей  $\gamma$  и  $\varepsilon$ , то и размерности погрешностей совпадут с размерностями рассчитанных показателей, т. е. для того чтобы получить погрешность с той же размерностью, что и сам показатель, в формуле определения погрешности все составляющие должны иметь те же размерности, что и в формуле определения показателя.

Примеры. 1. Дано  $\gamma_\vartheta = 0,8$  доли ед.;  $s_{\gamma_\vartheta} = 0,1$  доли ед.;  $\vartheta = 0,1\%$ ;  $s_\vartheta = 0,01\%$ ;  $\alpha = 1\%$ ;  $s_\alpha = 0,1\%$ , тогда

$$\varepsilon_\vartheta = \frac{\gamma_\vartheta \vartheta}{\alpha} = \frac{0,8 \cdot 0,1}{1,0} = 0,08 \text{ доли ед.};$$

$$s_{\varepsilon_\vartheta}^2 = (\vartheta/\alpha)^2 s_{\gamma_\vartheta}^2 + (\gamma_\vartheta/\alpha)^2 s_\vartheta^2 + (\gamma_\vartheta \vartheta/\alpha^2)^2 s_\alpha^2 = (0,1/1)^2 \cdot 0,1^2 + (0,8/1)^2 \times \\ \times 0,01^2 + (0,8 \cdot 0,1/1)^2 \cdot 0,1^2 = 0,000228 \text{ (доли ед.)}^2.$$

2. Дано  $\beta = 20\%$ ;  $\alpha = 1\%$ ;  $\vartheta = 0,7\%$ ;  $s_\alpha = 0,1\%$ ;  $s_\beta = 0,5\%$ ;  $s_\vartheta = 0,1\%$ , тогда

$$\gamma_\vartheta = (\beta - \alpha)/(\beta - \vartheta) = (20 - 1)/(20 - 0,7) = 0,984 \text{ доли ед.};$$

$$s_{\gamma_\vartheta} = 1 \cdot 0,1^2/(20 - 0,7)^2 + [(1 - 0,7)/(20 - 0,7)^2]^2 \cdot 0,5^2 +$$

$$+ [(20 - 1)/(20 - 0,7)^2]^2 \cdot 0,1^2 = 26,8 \cdot 10^{-6} + 0,162 \cdot 10^{-6} + 26 \cdot 10^{-6} = \\ = 52,9 \cdot 10^{-6} \text{ (доли ед.)}^2.$$

Таким образом, сводные показатели  $\varepsilon_\vartheta$  и  $\gamma_\vartheta$  выражены в долях единицы и случайные погрешности этих показателей  $s_{\varepsilon_\vartheta}$  и  $s_{\gamma_\vartheta}$  выражены также в долях единицы.

Пример расчета показателей и их погрешностей. Пусть для схемы (см. рис. 79) за 1 сут получены следующие показатели:  $\alpha = 1\%$ ;  $\beta_1 = 20\%$ ;  $\vartheta_1 = 0,7\%$ ;  $\beta_2 = 15\%$ ;  $\vartheta_2 = 0,2\%$ ;  $M_\alpha = 1000$  т/сут;  $W_\alpha = 7\%$ , а также  $s_\alpha = 0,1\%$ ;  $s_{\beta 1} = 0,5\%$ ;  $s_{\vartheta 1} = 0,1\%$ ;  $s_{\beta 2} = 0,5\%$ ;  $s_{\vartheta 2} = 0,05\%$ ;  $s_{M_\alpha} = 0,005 \cdot 1000 = 5$ ;  $s_{W_\alpha} = 1\%$ .

Расчет выполняем, используя полученные формулы:

$$\gamma_{\vartheta 1} = (20 - 1)/(20 - 0,7) = 0,984; \gamma_{\beta 2} = 0,984 (0,7 - 0,2)/(15 - 0,2) = \\ = 0,0332; \varepsilon_2 = 0,0332 \cdot 15/1 = 0,498 \text{ (или } 49,8\%);$$

$$K_{\beta 2} = 1000 (1 - 0,07) 0,0332 \cdot 15/100 = 4,64 \text{ т};$$

$$s_{\gamma_{\vartheta 1}}^2 = 1 \cdot 0,1^2/(20 - 0,7)^2 + [(1 - 0,7)/(20 - 0,7)^2]^2 \cdot 0,5^2 + \\ + [(20 - 1)/(20 - 0,7)^2]^2 \cdot 0,1^2 = 26,8 \cdot 10^{-6} + 0,162 \cdot 10^{-6} + 26 \cdot 10^{-6} = 52,9 \cdot 10^{-6};$$

$$s_{\gamma_{\beta 2}} = [(0,7 - 0,2)/(15 - 0,2)]^2 \cdot 52,9 \cdot 10^{-6} + [0,984/(15 - 0,2)]^2 \cdot 0,1^2 + \\ + [0,984 (0,7 - 15)/(15 - 0,2)^2]^2 \cdot 0,05^2 + [0,984 (0,2 - 0,7)/(15 - \\ - 0,2)^2]^2 \cdot 0,5^2 = 0,06 \cdot 10^{-6} + 44 \cdot 10^{-6} + 10,4 \cdot 10^{-6} + 1,26 \cdot 10^{-6} = 55,72 \cdot 10^{-6};$$

$$s_{\gamma_{\beta 2}} = 7,4 \cdot 10^{-3} = 0,0074.$$

Относительная средняя квадратическая погрешность определения выхода второго концентрата составит

$$s_{от \gamma_{\beta 2}} = 100 \cdot 0,0074/0,0332 = 22,2\%.$$

Относительные доверительные интервалы

$$P_{\gamma_{\beta 2}} = \pm t s_{от \gamma_{\beta 2}} = \pm 44,4\%.$$

Средняя квадратическая погрешность извлечения

$$s_{\varepsilon 2}^2 = (15/1)^2 \cdot 55,72 \cdot 10^{-6} + (0,0332/1)^2 \cdot 0,5^2 + \\ + (0,0332 \cdot 15/1)^2 \cdot 0,1^2 = 1,25 \cdot 10^{-2} + 0,0275 \cdot 10^{-2} + \\ + 0,247 \cdot 10^{-2} = 1,5245 \cdot 10^{-2}; \\ s_{\varepsilon 2} = 0,123 \text{ или } s_{\varepsilon 2} = 12,3\%.$$

Относительная средняя квадратическая погрешность извлечения во второй концентрат

$$s_{от \varepsilon 2} = 100 \cdot 12,3/49,8 = 24,7\%.$$

Невысокая точность вычисления суточного извлечения вполне объяснима низкой точностью определения исходных данных, в частности, относительная погрешность определения массовой доли полезного компонента в хвостах  $\vartheta_2$  составляет 25%. Напомним, что все приведенные данные условны:

$$s_{K_{\beta 2}}^2 = [0,0332 \cdot (1 - 0,07) \cdot 15/100]^2 \cdot 5^2 + [1000 \cdot (1 - 0,07) \cdot 15/100]^2 \times \\ \times 55,72 \cdot 10^{-6} + [1000 \cdot (1 - 0,07) \cdot 0,0332/100]^2 \cdot 0,5^2 + [1000 \times \\ \times 0,0332 \cdot 15/100]^2 \cdot 0,1^2 = 5,3 \cdot 10^{-4} + 10843 \cdot 10^{-4} + \\ + 238 \cdot 10^{-4} + 24,8 \cdot 10^{-4} = 1,11 \text{ (т)}^2; \\ s_{K_{\beta 2}} = 1,05 \text{ т.}$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность определения массы металла составляет за рассматриваемый период (сутки) 1,05 т, или доверительные интервалы будут  $\pm 2,1$  т, что составляет  $\pm 45\%$  расчетного значения массы металла.

Основную погрешность вносит, как видим, погрешность определения выхода концентрата, которую формирует в основном погрешность определения массовой доли металла в отвальных хвостах  $\vartheta_2$ . Очевидно, следует принять меры к повышению точности определения этого показателя (как, впрочем, и  $\vartheta_1$  и  $\alpha$ ).

### 71. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Погрешности результатов опробования продуктов непосредственно сказываются на погрешностях результатов расчетов технологического баланса.

Рассмотрим подробнее погрешность выхода концентрата. Выход концентрата рассчитывается по формуле

$$\gamma_{\beta} = (\alpha - \vartheta) / (\beta - \vartheta).$$

Погрешность выхода концентрата

$$s_{\gamma_{\beta}}^2 = \left(\frac{\partial \gamma_{\beta}}{\partial \alpha}\right)^2 s_{\alpha}^2 + \left(\frac{\partial \gamma_{\beta}}{\partial \beta}\right)^2 s_{\beta}^2 + \left(\frac{\partial \gamma_{\beta}}{\partial \vartheta}\right)^2 s_{\vartheta}^2 = \left(\frac{1}{\beta - \vartheta}\right)^2 s_{\alpha}^2 + \left[\frac{\vartheta - \alpha}{(\beta - \vartheta)^2}\right]^2 s_{\beta}^2 + \left[\frac{\alpha - \beta}{(\beta - \vartheta)^2}\right]^2 s_{\vartheta}^2. \quad (116)$$

Из выражения (116) видно, что погрешность расчетных значений выходов зависит не только от погрешности результатов опробования  $s_{\alpha}$ ,  $s_{\beta}$  и  $s_{\vartheta}$ , но и от значений этих результатов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\vartheta$ .

При некоторых значениях этих величин возможно резкое возрастание погрешности  $s_{\gamma_{\beta}}$ , в частности при  $\vartheta$ , близком к  $\beta$ , а при  $\beta = \vartheta$  погрешность возрастает до бесконечности.

На рис. 80 показана зависимость изменения  $s_{\gamma_{\beta}}/s_{\alpha}$  от относительной разности  $(\beta - \vartheta)/\beta_m$ , которая входит в каждое слагаемое формулы (116). Это гипербола, значение которой всегда больше единицы, а при  $\beta - \vartheta$ , приближающемся к нулю, оно стремится к бесконечности. Следовательно, решать балансовую систему при малом значении разности  $\beta - \vartheta$  бессмысленно.

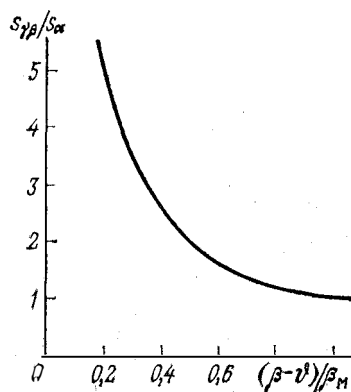


Рис. 80. Характер изменения относительной погрешности определения выхода концентрата  $s_{\gamma_{\beta}}/s_{\alpha}$  от относительной разности массовых долей компонента в концентрате  $\beta$  и хвостах  $\vartheta$

Относительная погрешность

$$\frac{s_{\gamma_{\beta}}^2}{\gamma_{\beta}^2} = \left(\frac{1}{\alpha - \vartheta}\right)^2 s_{\alpha}^2 + \left(\frac{1}{\beta - \vartheta}\right)^2 s_{\beta}^2 + \left[\frac{\alpha - \beta}{(\beta - \vartheta)(\alpha - \vartheta)}\right]^2 s_{\vartheta}^2$$

изменяется также в функции  $1/(\beta - \vartheta)$  или  $1/(\alpha - \vartheta)$ , и зависимость имеет точно такой же вид, как на рис. 80.

Минимальное значение относительной погрешности будет при  $\vartheta = 0$  и  $\beta \rightarrow \alpha$

$$\left(\frac{s_{\gamma_{\beta}}^2}{\gamma_{\beta}^2}\right)_{\min} = \frac{s_{\alpha}^2}{\alpha^2} + \frac{s_{\beta}^2}{\beta^2} + \left(\frac{\alpha - \beta}{\alpha\beta}\right)^2 s_{\vartheta}^2.$$

Максимальное значение относительной погрешности будет при  $\vartheta = \beta = \alpha$  и равно бесконечно большой величине.

Те же формулы для извлечения

$$\varepsilon = \beta\gamma_{\beta}/\alpha;$$

$$s_{\varepsilon}^2 = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2 s_{\gamma_{\beta}}^2 + \left(\frac{\gamma_{\beta}}{\alpha}\right)^2 s_{\beta}^2 + \left(\frac{\beta\gamma_{\beta}}{\alpha^2}\right)^2 s_{\alpha}^2;$$

$$\frac{s_{\varepsilon}^2}{\varepsilon^2} = s_{\varepsilon \text{ отн}}^2 = s_{\gamma_{\beta} \text{ отн}}^2 + s_{\beta \text{ отн}}^2 + s_{\alpha \text{ отн}}^2.$$

В такой формуле расчета извлечения относительная погрешность извлечения равна корню квадратному из суммы квадратов относительных погрешностей составляющих величин.

Но так как максимальное значение относительной погрешности  $s_{\gamma_{\beta} \text{ отн}}^2$  может быть весьма велико, то и  $s_{\varepsilon \text{ отн}}^2$  тоже может быть сколь угодно большим и вычислять извлечение для продуктов с небольшой разностью  $\beta - \vartheta$  и  $\alpha - \vartheta$  опасно. Нужно всегда при таком расчете оценивать погрешности. Отсюда следует правило — на каждой фабрике следует подбирать для расчета баланса каждого участка наиболее контрастно разделяемые элементы.

Возьмем данные за одни сутки для коллективной флотации полиметаллической руды (табл. 27).

Таблица 27

Значения массовых долей и погрешностей их определения для участка коллективной флотации

Компонент	$\alpha$	$s_{\alpha}$	$\beta$	$s_{\beta}$	$\vartheta$	$s_{\vartheta}$
Свинец	1,7	0,17	11	0,55	0,2	0,04
Медь	1	0,1	6	0,3	0,3	0,06
Цинк	10,6	0,22	8	0,3	12	0,24
Золото	0,0002	0,00014	0,001	0,0005	0,0001	0,00007
Серебро	0,00018	0,00014	0,001	0,0005	0,0001	0,00007
Железо	36	1,8	33	1,6	40	2

Составим систему уравнений баланса для каждого из компонентов и уравнение баланса по твердому и найдем неизвестные выходы хвостов и концентрата. Например, по свинцу

$$\begin{cases} 1 = \gamma_{\beta} + \gamma_{\theta}; \\ 1,7 = 11\gamma_{\beta} + 0,2\gamma_{\theta}. \end{cases}$$

По формулам (115), (116) найдем средние квадратические погрешности и доверительные интервалы для выходов по всем металлам (табл. 28).

Видно, что доверительные интервалы по железу, золоту, серебру и даже цинку таковы, что использовать результаты измерения этих металлов для расчета выходов не имеет смысла — по цинку и железу в связи с малой контрастностью разделения, а по золоту и серебру в связи с высокими погрешностями измерения (относительные средние квадратические погрешности равны 70 % для руды и хвостов и 50 % для концентрата).

Следовательно, для рассматриваемого цикла наилучшие результаты дают расчеты по свинцу  $\gamma_{\beta} = 0,14 \pm 0,035$ .

Можно ли улучшить этот результат? Имеются два варианта.

I. Можно улучшить качество опробования на свинец. Для этого следует изучить погрешности точек опробования и внести необходимые изменения.

Если представить подробнее расчет погрешности выхода концентрата по свинцу, то видно, что основную долю погрешности вносит погрешность опробования руды. Действительно

$$\begin{aligned} s_{\gamma_{\beta}Р} &= 1/(11 - 0,2)^2 \cdot 0,17^2 + [(0,2 - 1,7)/(11 - 0,2)^2]^2 \cdot 0,55^2 + \\ &+ [(1,7 - 11)/(11 - 0,2)^2]^2 \cdot 0,04^2 = 24,77 \cdot 10^{-5} + 5,003 \cdot 10^{-5} + \\ &+ 1,017 \cdot 10^{-5} = 30,79 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

Если за счет каких-либо мер снизить погрешность определения  $\alpha$  свинца, например до 0,1 %, то  $s^2_{\gamma_{\beta}Р} = 14,59 \cdot 10^{-5}$ ;  $s_{\gamma_{\beta}Р} = 0,012$ . Доверительный интервал будет равен  $\Delta\gamma_{\beta} = \pm 0,024$ , а результат  $\gamma_{\beta} = 0,14 \pm 0,024$ .

## II. Решение переопределенных систем.

Суть методов, реализующих эту возможность, сводится к решению переопределенной (т. е. содержащей большее число урав-

Таблица 28

Расчетные показатели для систем из двух уравнений

Компонент	Выход, доли ед.		Средняя квадратическая погрешность выхода $s_{\gamma_{\beta}}$	Доверительный интервал $\Delta s_{\gamma_{\beta}}$	Контрастность разделения, % $[100(\beta - \theta)/\beta]$
	концентрата	хвостов			
Свинец	0,14	0,86	0,0175	$\pm 0,0350$	98,5
Медь	0,12	0,88	0,0208	$\pm 0,0416$	95,0
Цинк	0,35	0,65	0,0821	$\pm 0,1641$	33,0
Золото	0,11	0,89	0,1800	$\pm 0,3600$	90,0
Серебро	0,09	0,91	0,1700	$\pm 0,3400$	90,0
Железо	0,57	0,43	0,3130	$\pm 0,6260$	17,5

нений, чем число неизвестных выходов) системы уравнений материального баланса таким образом, чтобы обеспечить минимум какой-либо функции.

В работе [2] предложены упрощенные формулы решения этой задачи на основе метода наименьших квадратов:

$$\gamma_{\beta} = \gamma_1 \approx \left[ \sum_{i=1}^m (\alpha_i - \theta_i) (\beta_i - \theta_i) / D_{i0} \right] / \left[ \sum_{i=1}^m (\beta_i - \theta_i)^2 / D_{i0} \right];$$

$$D_{i0} = s_{i1}^2 \gamma_{10}^2 + s_{i2}^2 \gamma_{20}^2 + s_{i3}^2. \quad (117)$$

Здесь  $s_{i1}$ ,  $s_{i2}$ ,  $s_{i3}$  — средние квадратические погрешности определения содержания  $i$ -го металла соответственно в концентрате, хвостах, руде;  $\gamma_{10}$ ,  $\gamma_{20}$  — приближенные значения выходов соответственно концентрата и хвостов, вычисленные по совместной системе для наиболее точно определяемого компонента.

Скорректированные значения массовой доли

$$\begin{aligned} \beta_{i\text{кор}} &= \beta_i - \Delta_i \gamma_1 s_{i1}^2 / D_i; \\ \theta_{i\text{кор}} &= \theta_i - \Delta_i \gamma_2 s_{i2}^2 / D_i; \\ \alpha_{i\text{кор}} &= \alpha_i + \Delta_i s_{i3}^2 / D_i. \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Delta_i &= \beta_i \gamma_1 + \theta_i \gamma_2 - \alpha_i; \\ D_i &= s_{i1}^2 \gamma_1^2 + s_{i2}^2 \gamma_2^2 + s_{i3}^2. \end{aligned}$$

Таким образом, для простейшей операции разделения найдены наиболее правдоподобные  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\alpha_{i\text{кор}}$ ,  $\beta_{i\text{кор}}$  и  $\theta_{i\text{кор}}$ , после чего можно вычислить извлечения всех компонентов.

Вычислим по формуле (117)  $\gamma_1$  по данным определения металлов — свинца и меди (см. табл. 27):

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \left( \frac{1,5 \cdot 10,8}{0,55^2 \cdot 0,14^2 + 0,04^2 \cdot 0,86^2 + 0,17^2} + \frac{0,7 \cdot 5,7}{0,3^2 \cdot 0,14^2 + 0,06^2 \cdot 0,86^2 + 0,1^2} \right) : \\ &: \left( \frac{10,8^2}{0,55^2 \cdot 0,14^2 + 0,04^2 \cdot 0,86^2 + 0,17^2} + \frac{5,7^2}{0,3^2 \cdot 0,14^2 + 0,06^2 \cdot 0,86^2 + 0,1^2} \right) = \\ &= (450 + 276,57) / (3240 + 2252,1) = 0,132. \end{aligned}$$

Как и следовало ожидать, получен несколько усредненный результат  $\gamma_{\beta} = 0,132$  с небольшим преимуществом для свинца, так как доверительные интервалы для свинца несколько меньше, чем для меди.

После таких оценок можно вполне рекомендовать для данной операции определение среднего выхода

$$\gamma_{\beta} = (\gamma_{\beta Р} + \gamma_{\beta С}) / 2 = (0,14 + 0,12) / 2 = 0,13.$$

Из структуры формулы (117) следует, что неконтрастно разделенные компоненты и компоненты с большими относительными погрешностями будут вносить весьма малый вклад в изменение  $\gamma_{\beta}$  по сравнению с 0,132. Действительно, если использовать данные всех шести металлов (см. табл. 27), то получим  $\gamma_{\beta} = 0,139$ , на чем сказалось (но в очень малой мере) влияние цинка и железа.

Доля каждой составляющей такова (порядок слагаемых — Pb, Cu, Zn, Au, Ag, Fe):

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{450 + 276,57 + 60 + 3,2 + 2,56 + 4,48}{3240 + 2252,1 + 172,48 + 28,8 + 28,8 + 7,84} = \frac{796,81}{5730,02} = 0,139.$$

Видно, как резко падает влияние на результат металлов, имеющих невысокую контрастность разделения Zn и Fe, и металлов, измеряемых с высокой относительной погрешностью Au и Ag.

Не будем точно вычислять доверительный интервал для найденного по методу наименьших квадратов выхода концентрата. Исходя из структуры формулы (117), доверительный интервал для  $\gamma_{\text{в}}=0,132$  и  $\gamma_{\text{в}}=0,139$  будет предопределяться также влиянием свинца и меди и будет близким к найденным для них, т. е. приблизительно

$$\Delta\gamma_{\text{в}} = \pm (0,0350 + 0,0416)/(2\sqrt{2}) = \pm 0,027.$$

Другими словами, по результатам опробования на свинец мы получили  $\gamma_{\text{в}}=0,14 \pm 0,035$ .

По результатам опробования на свинец и медь  $\gamma_{\text{в}}=0,132 \pm 0,027$ .

По результатам опробования на шесть металлов  $\gamma_{\text{в}}=0,139 \pm 0,027$ .

Все эти результаты одного порядка, и нет оснований отдавать предпочтение какому-либо из них, но первый получить существенно проще.

Более сложным, машинным, вариантом является решение перепределенной системы с помощью метода максимального правдоподобия.

В качестве важнейшей исходной информации в этих методах участвуют оценки погрешностей измерений каждого показателя  $s_{ij}$ .

Обычно под  $s_{ij}$  понимают среднюю квадратическую погрешность метода измерения массовой доли определяемого компонента в навеске, например погрешность химического анализа или рентгенофлуоресцентного метода. Это неверно, так как погрешность результата формируется прежде всего в процессе отбора и подготовки пробы, т. е. в процессе опробования, и погрешность метода входит в погрешность результата как составная часть. Правильно в качестве  $s_{ij}$  брать именно погрешность результата.

Однако и это справедливо будет лишь для установившихся процессов. В противном случае в величину  $s_{ij}$  должна входить также динамическая составляющая изменения показателей процесса. Эта составляющая в пределах теории опробования традиционно вообще не рассматривается. Ее математический учет исключительно сложен, и обычно балансовые уравнения применяют для сильно усредненных результатов, однако влияние динамической составляющей остается и для них, хотя и в ослабленном виде. Использование вычислительной техники приводит, как правило, к снижению контрольного периода и расчету технологического баланса за смену, а иногда и за меньший период. При этом роль и влияние динамической составляющей еще более возрастают.

Л. П. Шупов отмечает, что в силу указанных причин балансовое распределение массы продуктов и его составляющих, найден-

ное в результате балансового расчета схемы, не адекватно истинной картине. Найденное расчетом распределение относительно и условно. Несмотря на эти недостатки, рассчитанная балансовая схема является основным документом, отражающим состояние технологического процесса.

В целом использование таких методов, как методы наименьших квадратов и максимального правдоподобия, дает небольшой эффект. При использовании двух равноценных по контрастности разделения и погрешности результатов измерений компонентов доверительные интервалы расчетных показателей будут снижены не более чем в  $\sqrt{2}$  раз, а трех — не более чем в  $\sqrt{3}$  раз. Такой же эффект может быть достигнут за счет снижения погрешности опробования на основной (наиболее контрастно разделяемый) компонент соответственно в  $\sqrt{2}$  или  $\sqrt{3}$  раз. Это, конечно, целесообразнее как с точки зрения контроля за процессом в целом, так и с точки зрения затрат средств вычислительной техники, потому что при этом исключаются сложные расчеты, требующие к тому же информации, получить которую на фабриках нелегко.

## 72. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ СХЕМ

Сложность схемы определяется наличием циркулирующих продуктов, охватывающих часть схемы, а то и всю схему в целом. Современные схемы обогащения чаще всего сложные.

Для схемы (рис. 81, а) можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} \alpha\gamma + \beta_{\text{к}}\gamma_{\text{вк}} = \beta_0\gamma_{\text{в0}} + \vartheta_0\vartheta_0; \\ \gamma_{\vartheta_0}\vartheta_0 = \beta_{\text{к}}\gamma_{\text{вк}} + \vartheta_{\text{к}}\gamma_{\vartheta_{\text{к}}}; \\ \gamma + \gamma_{\text{вк}} = \gamma_{\text{в0}} + \gamma_{\vartheta_0}; \\ \gamma_{\vartheta_0} = \gamma_{\text{вк}} + \gamma_{\vartheta_{\text{к}}}. \end{cases}$$

Неизвестные  $\gamma_{\text{в0}}$ ,  $\gamma_{\vartheta_0}$ ,  $\gamma_{\text{вк}}$ ,  $\gamma_{\vartheta_{\text{к}}}$  полностью предопределены записанной системой и могут быть из нее найдены.

Однако для несколько более сложной схемы (рис. 81, б), имеющей 10 неизвестных выходов, придется решать систему из 10 уравнений. Это уже связано с некоторыми трудностями.

Расчет такой схемы рациональнее всего выполнять итерационным методом [6]. Так как в начале расчета значения циркулирующих продуктов  $\gamma_{\vartheta_5}$  и  $\gamma_{\beta_4}$  неизвестны, принимаем их, исходя из технологических соображений (обычно технолог примерно знает чему они равны), равными  $\gamma_{\vartheta_5}^0$  и  $\gamma_{\beta_4}^0$ , после чего рассчитываем схему обычным путем, т. е.

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{А}} &= \gamma + \gamma_{\vartheta_5}^0; \\ \alpha_{\text{А}} &= (\alpha\gamma + \vartheta_5\gamma_{\vartheta_5}^0)/(\gamma + \gamma_{\vartheta_5}^0); \\ \gamma_{\beta_1} &= \gamma_{\text{А}}(\alpha_{\text{А}} - \vartheta_1)/(\beta_1 - \vartheta_1); \quad \gamma_{\vartheta_1} = \gamma_{\text{А}} - \gamma_{\beta_1}; \\ \gamma_{\beta_2} &= \gamma_{\beta_1}(\beta_1 - \vartheta_2)/(\beta_2 - \vartheta_2); \quad \gamma_{\vartheta_2} = \gamma_{\beta_1} - \gamma_{\beta_2}; \end{aligned}$$

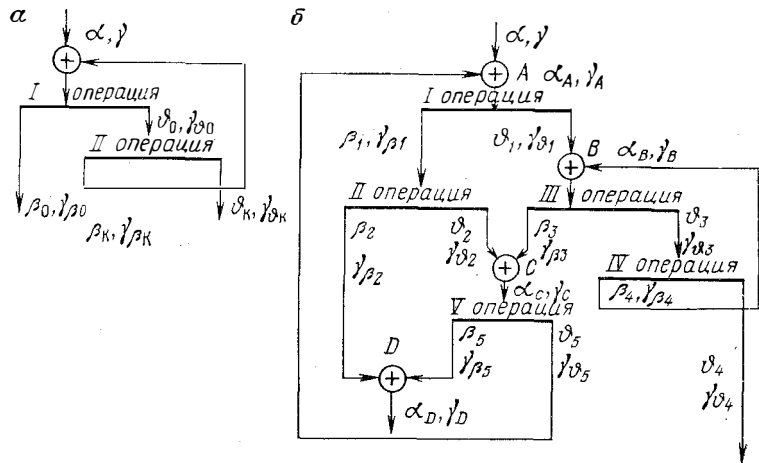


Рис. 81. К расчету сложных технологических схем: а — с помощью системы уравнений; б — итерационным методом

$$\gamma_B = \gamma_{B1} + \gamma_{B4}^0; \\ \dots \text{ и т. д.}$$

В результате будут получены все искомые выходы, в том числе  $\gamma_{B5}^1$  и  $\gamma_{B4}^1$ .

После этого следует повторить расчет, приняв в формулах, в которые входят циркулирующие продукты, значения  $\gamma_{B5}^1$  и  $\gamma_{B4}^1$ . Будут получены значения  $\gamma_{B5}^2$  и  $\gamma_{B4}^2$ .

Далее следует повторить расчеты столько раз, сколько необходимо для того, чтобы последующие значения  $\gamma_{B5}$  и  $\gamma_{B4}$  не отличались друг от друга более, чем это допускает расчетчик (обычно пока не перестанут изменяться третьи-четвертые знаки после запятой).

Можно принять вначале  $\gamma_{B5}$  и  $\gamma_{B4}$  равными нулю, что проще, но для расчета понадобится несколько большее число итераций.

Аналогичную итерационную процедуру применяют и при расчете погрешностей выходов. Конечно, такую работу лучше всего выполнять на ЭВМ.

Число итераций зависит от сложности схемы. Для схемы, состоящей из 13 операций и 8 узлов смешения, для обеспечения погрешности определения выходов 0,01% потребовалось 50 итераций. Обычно выполняют 2—3 итерации на операцию.

### 73. ВЕРОЯТНАЯ СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Расчетные показатели технологического баланса получают, используя измеренные значения массовых долей в продуктах обогащения. Как уже было показано в разд. 25, вследствие асиммет-

ричности законов распределения массовых долей массовая доля полезного компонента в руде и хвостах обычно занижается на величины  $-\Delta\alpha_{\text{вер}}$  и  $-\Delta\vartheta_{\text{вер}}$ , а в концентрате завышается на величину  $+\Delta\beta_{\text{вер}}$ . Эти погрешности влияют на значение рассчитанного показателя.

Выход концентрата

$$\gamma_B = [(\alpha - \Delta\alpha_{\text{вер}}) - (\vartheta - \Delta\vartheta_{\text{вер}})] / [(\beta + \Delta\beta_{\text{вер}}) - (\vartheta - \Delta\vartheta_{\text{вер}})] \approx \\ \approx (\alpha - \vartheta) / (\beta - \vartheta) - (\Delta\alpha_{\text{вер}} - \Delta\vartheta_{\text{вер}}) / (\beta - \vartheta).$$

Следовательно, в зависимости от  $\Delta\alpha_{\text{вер}}$  и  $\Delta\vartheta_{\text{вер}}$  выход концентрата может быть и завышен, и занижен:

$$\gamma_B = \gamma_{\text{вист}} \pm \Delta\gamma_{\text{вер}},$$

где  $\gamma_{\text{вист}}$  — истинный выход концентрата.

Извлечение в концентрат

$$\epsilon = \gamma_B \beta / \alpha = (\gamma_{\text{вист}} \pm \Delta\gamma_{\text{вер}}) (\beta + \Delta\beta_{\text{вер}}) / (\alpha - \Delta\alpha_{\text{вер}}).$$

В зависимости от значений  $\Delta\gamma_{\text{вер}}$ ,  $\Delta\alpha_{\text{вер}}$ ,  $\Delta\beta_{\text{вер}}$  извлечение также может оказаться завышенным или заниженным.

Такое же заключение следует сделать о всех остальных рассчитываемых показателях, в том числе о выпуске металлов или других ценных компонентов.

Обычно в практике обогатительных фабрик этот факт бывает не столь заметен, так как оперативные значения показателей используют лишь для корректировки процесса и влияние вероятной систематической погрешности может быть неощутимо. Но если на обогатительной фабрике при наличии современной измерительной и вычислительной техники организовать текущий контроль, расчет и представление в накопленной форме основных технологических показателей — выдачи металла и извлечения, то к концу месяца может наметиться разрыв между накопленным значением выданного фабрикой металла, найденным по данным технологического баланса, и фактической массой металла в отгруженном фабрикой концентрате со значительным завышением в сторону первого. Оперативно поступающие накопленные данные с систематической погрешностью такого рода могут дезориентировать руководство фабрики, в результате чего фабрика может не выполнить план по выдаче металла в рассматриваемый месяц.

Для каждой фабрики, для каждого технологического показателя необходимо для конкретных условий определить вероятные систематические погрешности и учитывать их при использовании и анализе данных.

На некоторых фабриках в связи с трудностью опробования какого-либо потока определяют массовую долю полезного компонента расчетным путем, пользуясь балансовым уравнением

$$\alpha M_\alpha = \beta M_\beta + \vartheta M_\vartheta.$$

Так нередко поступают в случае, когда  $M_\beta \ll M_\alpha$ , и, следовательно, принимают  $M_\vartheta = M_\alpha$ , что справедливо для многих фабрик,

обогащающих руду с низкой массовой долей ценного компонента. Тогда, например, массовую долю металла в руде определяют по формуле

$$\alpha = \beta M_{\beta} / M_{\alpha} + \vartheta.$$

Обычно массу концентрата  $M_{\beta}$  определяют весьма тщательно ( $M_{\alpha}$  тоже). Опробование тонкоизмельченных хвостов и концентрата дает возможность легко получить значения  $\vartheta$  и  $\beta$ . Наличие вероятных систематических погрешностей  $+\Delta\beta_{\text{вер}}$  и  $-\Delta\vartheta_{\text{вер}}$  дает такое расчетное значение массовой доли компонента в руде:

$$\alpha = (\beta + \Delta\beta_{\text{вер}}) M_{\beta} / M_{\alpha} + (\vartheta - \Delta\vartheta_{\text{вер}}).$$

Следовательно

$$\alpha = \alpha_{\text{ист}} + \Delta\beta_{\text{вер}} M_{\beta} / M_{\alpha} - \Delta\vartheta_{\text{вер}}.$$

Так как  $\Delta\vartheta_{\text{вер}}$  должно иметь заметное значение, а  $\Delta\beta_{\text{вер}}$  не столь заметно, массовая доля полезного компонента в руде в результате такого расчета занижается.

## XI. РАСЧЕТ ТОВАРНОГО БАЛАНСА И ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### 74. ОБЩЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ. ПОЛНАЯ ФОРМУЛА ТОВАРНОГО БАЛАНСА

Товарный баланс — отчет обогатительной фабрики о поступлении и наличии перерабатываемого сырья, о выпуске концентратов и хвостов, а также о наличии и выпуске любых других продуктов, содержащих ценные компоненты.

В этом отчете указывают и все необходимые данные для расчета показателей баланса ценных компонентов, а именно:

$M$  — массы всех учитываемых продуктов;

$W$  — влажность всех учитываемых продуктов;

$\alpha$  — массовые доли ценных компонентов во всех учитываемых продуктах.

Масса какого-либо  $i$ -го компонента в каком-либо  $j$ -м продукте вычисляется по формуле

$$K_{ij} = M_j (1 - W_j) \alpha_{ij}.$$

Для обогатительной фабрики самостоятельное значение имеют сами приведенные выше показатели, т. е. массы продуктов и компонентов и массовые доли компонентов за контрольный период. Эти показатели в абсолютном выражении используют для всех видов плановых и экономических расчетов и сравнений. Входящие в товарный баланс данные обычно достоверны, так как все они должны быть получены строго в соответствии с методиками, инструкциями и другими нормативными документами, а их полу-

чение во многих случаях фиксируется соответствующими актами и справками.

Для обогатительной фабрики за контрольный период должно выполняться равенство масс

$$M_{\text{в}} = M_{\text{п}} \quad (118)$$

и масс любых компонентов

$$K_{i \text{ в}} = K_{i \text{ п}}, \quad (119)$$

где  $M_{\text{в}}$  — масса выпущенных фабрикой продуктов за контрольный период;  $K_{i \text{ в}}$  — масса  $i$ -го компонента, выпущенного фабрикой во всех продуктах за контрольный период;  $M_{\text{п}}$  и  $K_{i \text{ п}}$  — то же, поступивших на фабрику за контрольный период.

Товарный баланс всегда составляют для какого-либо заранее оговоренного контрольного периода  $T$  (обычно период  $T = 1$  мес). Предварительные товарные балансы составляют подекадно. В дальнейшем соответствие масс заданному контрольному периоду оговаривать не будем.

В таком виде, как формулы (118) и (119), товарный баланс несет много скрытой информации и обычно его записывают подробнее:

$$\sum_{j=1} M_{j \text{ к}} + \sum_{l=1} M_{l \text{ х}} + \sum_{p=1} M_{p \text{ п}} + \sum_{m=1} M_{m \text{ кон}} = \sum_{g=1} M_{g \text{ р}} + \sum_{m=1} M_{m \text{ нач}}; \quad (120)$$

и

$$\sum_{j=1} K_{ij \text{ к}} + \sum_{l=1} K_{il \text{ х}} + \sum_{p=1} K_{ip \text{ п}} + \sum_{m=1} K_{im \text{ кон}} = \sum_{g=1} K_{ig \text{ р}} + \sum_{m=1} K_{im \text{ нач}}, \quad (121)$$

где  $M_{j \text{ к}}$  и  $K_{ij \text{ к}}$  — масса соответственно  $j$ -й партии концентрата и  $i$ -го компонента в ней;  $M_{l \text{ х}}$  и  $K_{il \text{ х}}$  — масса соответственно  $l$ -х хвостов и  $i$ -го компонента в них;  $M_{p \text{ п}}$  и  $K_{ip \text{ п}}$  — масса соответственно  $p$ -х учитываемых потерь и  $i$ -го компонента в них;  $M_{m \text{ кон}}$  и  $K_{im \text{ кон}}$  — масса соответственно продукта в  $m$ -й емкости и  $i$ -го компонента в  $m$ -й емкости на конец контрольного периода;  $M_{m \text{ нач}}$  и  $K_{im \text{ нач}}$  — то же, на начало контрольного периода;  $M_{g \text{ р}}$  и  $K_{ig \text{ р}}$  — масса соответственно  $g$ -й руды (перерабатываемого продукта) и  $i$ -го компонента в ней.

Ввод в формулы (120) и (121) масс продуктов и компонентов в емкости позволяет надеяться на то, что при фактическом расчете равенства (120) и (121) будут выполняться.

В идеальном случае, когда измерения всех величин  $M$ ,  $W$ ,  $\alpha$  выполняют точно, когда все входящие и выходящие продукты учтены и учтены продукты во всех емкостях, товарный баланс как баланс материальный будет выполнен, сами по себе уравнения (120) и (121) никакого значения иметь не будут, а их запись и расчет потеряют смысл.

Однако идеальных условий на фабриках нет, поэтому необходим расчет заведомо не выполняющихся равенств (120) и (121).

Разность между левой и правой частями формул (120) и (121) называется *невязкой*.

Невязка по массе

$$\Delta_M = \sum_j M_{jк} + \sum_l M_{lх} + \sum_p M_{pп} + \sum_m M_{mкон} - \sum_g M_{gр} - \sum_m M_{mнач}$$

Невязка по  $i$ -му компоненту

$$\Delta_{Ki} = \sum_j K_{ijк} + \sum_l K_{ilх} + \sum_p K_{ipп} + \sum_m K_{imкон} - \sum_g K_{igр} - \sum_m K_{imнач}$$

Невязка необходима для оценки отличия фактических условий измерения масс продуктов и компонентов на фабрике от идеальных.

Невязка возникает вследствие:

погрешностей измерения всех величин, входящих в товарный баланс;

неучета в формуле баланса каких-либо входящих либо выходящих продуктов. Обычно имеют в виду выходящие продукты и называют их неучтенными механическими потерями (НМП);

неучета в формуле баланса каких-либо емкостей, масса продукта либо компонента в которых за контрольный период претерпевает изменение, но этот продукт не является для фабрики потерями.

Это значит, что невязка — сложный показатель и однозначный вывод об условиях измерения на фабрике после ее расчета сделать нельзя. Она может быть не только следствием неучтенных механических потерь, но и чаще всего следствием погрешностей измерения.

На различных фабриках, и даже на одних и тех же фабриках, но для разных компонентов сложились неодинаковые условия для составления товарного баланса и вычисления невязки.

Для фабрик с высокой массовой долей ценного компонента (фабрики, обогащающие уголь, железную руду, фосфориты, апатиты) неучтенные механические потери относительно невелики, невязка возникает в основном вследствие погрешностей измерения и ее расчет с целью определения наличия неучтенных механических потерь теряет смысл.

Для фабрик и продуктов с весьма малой массовой долей ценного компонента (в диапазоне 1—10 г/т и менее) погрешности измерения массовых долей обычно относительно столь велики (100—200 % и более), что их роль в невязке становится преобладающей и выявить на фоне их влияния неучтенные механические потери трудно. На этих же фабриках затруднено получение информации о каких-либо продуктах, например о массовой доле компонента в руде или хвостах, в связи с чем товарный баланс не составляют. В таких случаях составляют так называемый

полубаланс, т. е. вычисляют только левую часть равенства (121) либо ее часть.

Ценную информацию невязка дает для фабрик, перерабатывающих сырье с массовой долей от 0,01 % до нескольких процентов (0,01—10 %). Невязка для таких фабрик может быть индикатором неучтенных механических потерь, а также погрешностей измерения отдельных составляющих товарного баланса. Для таких фабрик составление и анализ товарного баланса полезны. Это относится к большинству фабрик цветной металлургии.

Разные условия характеризуют лишь значение товарного баланса и невязки. Однако во всех случаях анализ невязки является стимулом к совершенствованию как технологического процесса, так и его контроля.

Невязка  $\Delta$  возникает вследствие: погрешностей в определении всех входящих в товарный баланс величин, предопределяющих величину  $\Delta_{\xi}$ ; наличия неучтенных механических потерь  $\Delta_{\pi}$  и неучета продуктов в некоторых емкостях  $\Delta_e$ . Если бы все погрешности были равны 0 и все емкости учтены, то невязка равнялась бы неучтенным механическим потерям. Так как невязка вычисляется как разность между тем, что выпущено, и тем, что поступило, ее объективная величина должна быть отрицательной, а неучтенные механические потери

$$\Delta_{\pi} = -\Delta.$$

Знаки погрешностей и разностей масс компонентов в неучтенных емкостях могут быть как положительными, так и отрицательными. Следовательно, в общем случае

$$\Delta = -\Delta_{\pi} \pm \Delta_e \pm \Delta_{\xi}.$$

Погрешности в определении всех величин могут быть систематическими, предопределяющими систематическую погрешность невязки  $\Delta_c$ , вероятными систематическими, предопределяющими  $\Delta_{вер}$ , и случайными, предопределяющими  $\Delta_{сл}$ .

Тогда

$$\Delta = -\Delta_{\pi} \pm \Delta_e \pm \Delta_c \pm \Delta_{вер} \pm \Delta_{сл}. \quad (122)$$

Формула (122) показывает, что, найдя значение  $\Delta$  и не имея никакой другой информации о составляющих невязку величинах погрешностей и потерь, сделать какой-либо вывод невозможно.

Любой вывод, связанный с потерями либо погрешностями определения невязки, может быть сделан только с привлечением дополнительной информации.

Наличие в формуле (122) целого ряда членов с знаком «плюс» при определенных обстоятельствах способно сменить отрицательный знак невязки на положительный. При этом возникает парадоксальная картина — фабрика выпускает больше какого-либо компонента, чем его поступает на фабрику. Конечно, это явление кажущееся, и необходим конкретный анализ величин  $\Delta_e$ ,  $\Delta_c$ ,  $\Delta_{вер}$  и  $\Delta_{сл}$ , составляющих формулу (122), чтобы установить причину такого явления.



Среди указанных величин  $\Delta_c$  и  $\Delta_{\text{вер}}$  для конкретной фабрики имеют вполне определенный знак и предопределяют постоянное искажение невязки. Напомним, что неучтенные механические потери также имеют постоянный отрицательный знак.

Две составляющие —  $\Delta_e$  и  $\Delta_{\text{сл}}$  имеют переменный знак, который заранее не может быть установлен. Специфической является величина  $\Delta_e$ . Хотя знак ее в общем случае неизвестен, но технолог на фабрике может целенаправленно повлиять на величину  $\Delta_e$  и тем самым на значение невязки. Это влияние зависит от возможностей оборудования накапливать ценный компонент.

## 76. СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НЕВЯЗКИ

Систематическая погрешность невязки возникает при наличии систематических погрешностей измерения входящих в товарный баланс величин.

Задача выявления систематических погрешностей любой величины важна сама по себе, так как все входящие в товарный баланс величины имеют вполне конкретный технологический смысл, и используются для контроля процессов и принятия решений в течение контрольного периода.

Систематические погрешности измерения всех величин должны быть выявлены и устранены.

*Способы устранения систематических погрешностей измерения масс.* Средства измерения масс подлежат периодической проверке с помощью эталонов.

Конвейерные весы контролируют с помощью эталонной массы, например 40 т каждые 10 дней. При наличии расхождения в показаниях весов и значении эталонной массы в показаниях весов вводится поправка, а сами они должны быть тарированы.

Другим способом проверки конвейерных весов является использование тяжелой цепи. На ненагруженный конвейер укладывают тяжелую цепь, один конец которой закреплен, а цепь при включении конвейера свободно располагается на нем. Масса цепи известна, и при включенном конвейере одновременно проверяется показание стрелки весов и работа интегратора.

Вместо тяжелой цепи лучше использовать цепной катуший груз.

Конвейерные весы, используемые в качестве датчика массы, входящей в товарный баланс, должны иметь ограждение, исключая свободный доступ к ним.

Вагонные, автомобильные и другие весы для измерения неподвижных масс подлежат государственной поверке.

*Способы устранения систематической погрешности при определении влажности.* Систематическая погрешность в определении влажности возникает в связи с возможным высыханием пробы. С целью устранения этого пробы на влажность хранят в эксикаторе.

Однако, отбор проб, их перемешивание, подготовка к анализу на влажность не исключают потери влаги. Эта потеря может быть

незначительной, тогда можно считать что систематическая погрешность отсутствует.

*Способы устранения систематической погрешности при определении массовых долей компонентов.* Систематическая погрешность в определении массовой доли компонентов в продуктах обогащения может возникнуть при выполнении любой операции опробования. Опробование, как правило, многооперационный процесс, и возможность возникновения систематической погрешности необходимо предвидеть и устранять обеспечением непредпочтительности отбора проб, в том числе при сокращении пробы; исключением потерь пробы, засорения пробы, в том числе умышленного.

Наилучший способ устранения систематической погрешности — сравнение с эталоном. Этот способ в обогащении может быть использован в основном только на заключительном этапе опробования — при выполнении анализа.

Примеры появления систематических погрешностей при отборе проб — неучет сегрегации материала и отбор пробы от части потока, например верхнего слоя материала на конвейере.

Материал пробы может подвергнуться сегрегации в процессе обработки. Так, в условиях вибрации на фабриках может быть сегрегирован даже тонкоизмельченный материал, находящийся на столе, подносе, в кювете и т. п., и последующее сокращение пробы, например квадратование, в этих условиях может привести к появлению систематической погрешности.

Особенность систематической погрешности невязки — она представлена систематическими погрешностями многих (нескольких десятков) величин. И хотя каждая из них имеет вполне определенный знак и величину, их суммарное влияние может быть аналогичным влиянию случайных погрешностей в измерениях величин. Конечно, если систематические погрешности невелики.

Исходя из основного принципа, систематическая погрешность должна быть устранена, и с учетом предыдущего положения будем полагать  $\Delta_c = 0$ .

## 77. ВЕРОЯТНАЯ СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НЕВЯЗКИ

В связи с ограниченным числом данных при измерении случайных величин, входящих в товарный баланс и имеющих асимметричное распределение вероятностей, невязка будет обладать вероятной систематической погрешностью. Знак и величина этой погрешности могут быть установлены заранее.

Вероятная систематическая погрешность определения массовой доли компонента в руде отрицательна, т. е. массовая доля компонента в руде занижается на величину

$$\Delta\alpha_{\text{вер}} = s_{\alpha}^2 / (N\bar{\alpha}),$$

где  $s_{\alpha}^2$  — дисперсия массовой доли компонента в руде в точечных пробах принятой массы;  $N$  — число точечных проб, по которому

Таблица 29

Данные по невязке по молибдену и вольфраму для обогатительной фабрики в течение года

Контрольный период	Невязка (%) от поступившего металла		Контрольный период	Невязка (%) от поступившего металла	
	молибдена	вольфрама		молибдена	вольфрама
Январь	+1,59	+4,39	Июль	+7,10	+1,40
Февраль	+4,52	+1,14	Август	-7,60	+1,60
Март	+1,66	+1,04	Сентябрь	+1,76	+2,84
Апрель	+1,54	+2,98	Октябрь	-2,50	+4,54
Май	+4,93	+3,40	Ноябрь	-4,76	+1,67
Июнь	+0,30	+2,82	Декабрь	+0,07	+5,49

найден  $\bar{\alpha}$ ;  $\bar{\alpha}$  — среднее значение массовой доли компонента в руде.

Обычным должно быть соотношение: вероятное занижение массы компонента в руде больше, чем в хвостах, а в концентрате завышение обычно незначительно.

Это значит, что вероятная систематическая погрешность невязки обычно положительна.

$$\Delta_{\text{вер}} = -(-\Delta\alpha_{\text{вер}}) M_p (1-W),$$

где  $M_p$  — масса руды.

Этот факт положительной погрешности невязки вследствие влияния вероятной систематической погрешности определения массовой доли компонента в руде дает единственно возможное объяснение (при отсутствии систематической погрешности) появления плюсовой невязки в течение многих периодов, как это приведено в табл. 29.

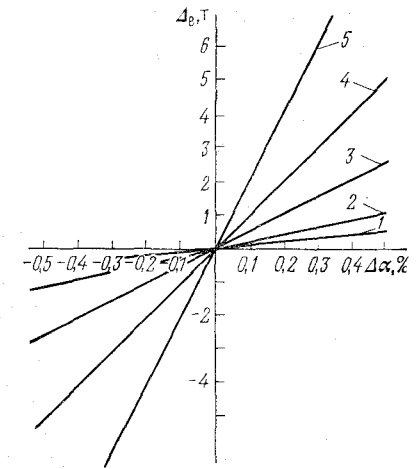
#### 78. ПОГРЕШНОСТЬ НЕВЯЗКИ, ВЫЗЫВАЕМАЯ НЕПОЛНЫМ УЧЕТОМ ПРОДУКТОВ В ЕМКОСТЯХ

Традиционно на фабриках при составлении товарного баланса учитывают массы продуктов и компонентов, находящихся в емкостях большого размера. Как правило, это все массы руды в приемных бункерах и дробленой руды, массы продукта в сгустителях, на складах. В некоторых случаях могут быть учтены и массы в других емкостях. Так, при балансе на золото обязательно учитывают массы продукта в ловушках, отсадочных машинах, классификаторах, мельницах и т. п.

Однако продукты во всех емкостях независимо от их размера на фабрике никогда не могут быть учтены исходя из того, что их влияние на невязку баланса невелико. В большинстве случаев это действительно так, но в любом случае неучитываемые емкости вносят свою долю в погрешность невязки и эту долю следует оценивать.

Рис. 82. Зависимость погрешности  $\Delta_e$ , вызываемой неполным учетом продуктов в емкостях, от разности массовой доли компонента в конце и в начале контрольного периода  $\Delta\alpha$  и неучтенной массы:

1—5 — соответственно при  $M$ , равном 100; 200; 500; 1000 и 2000 т



Известны случаи специфического накопления компонентов в малых емкостях — наиболее ярко это проявляется на золотых рудах, когда золото может накапливаться и разгружаться из любых малых емкостей, растворенное золото может концентрироваться на угле и т. п. В каждом таком случае технолог обязан предвидеть и учитывать возможные места скопления компонентов.

Но это специфические случаи. В общем случае погрешность невязки связана не с обогащением продукта, а с изменением его массы либо среднего качества во всех технологических емкостях на фабрике.

Погрешность невязки при этом

$$\Delta_e = \sum m_{i \text{ кон}} \alpha_{i \text{ кон}} - \sum m_{i \text{ нач}} \alpha_{i \text{ нач}} = M_{\text{кон}} \alpha_{\text{кон}} - M_{\text{нач}} \alpha_{\text{нач}}.$$

Здесь  $M_{\text{кон}}$  и  $M_{\text{нач}}$  — суммарная масса продуктов во всех неучитываемых емкостях соответственно на конец и начало контрольного периода;  $\alpha_{\text{кон}}$ ,  $\alpha_{\text{нач}}$  — массовые доли компонентов в руде соответственно на конец и начало контрольного периода;  $m_i$  и  $\alpha_i$  — соответственно массы и массовые доли компонентов в неучитываемых емкостях.

Если можно допустить, что  $M_{\text{кон}} = M_{\text{нач}}$ , то (рис. 82)

$$\Delta_e = M (\alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}}) = M \Delta\alpha.$$

Влияние емкостей, содержащих концентрат, можно учесть таким же образом.

#### 79. СЛУЧАЙНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НЕВЯЗКИ

Случайная погрешность невязки вызвана случайными погрешностями измерения всех входящих в расчет невязки величин. Случайная погрешность может быть очень большой, и ее следует знать, чтобы правильно оценить невязку.

Невязка

$$\Delta = K_k + K_x + K_p + K_{\text{кон}} - K_p - K_{\text{нач}},$$

где  $K$  — масса компонента соответственно в концентрате, хвостах,

учтенных механических потерях, в емкостях на конец контрольного периода, в руде и в емкостях на начало контрольного периода.

По формуле сложного показателя

$$s_{\Delta}^2 = s_k^2 + s_x^2 + s_n^2 + s_{\text{кон}}^2 + s_p^2 + s_{\text{нач}}^2.$$

При этом, если  $K$  и  $s$  измеряются в тоннах, то и  $\Delta$  и  $s_{\Delta}$  будут найдены в тоннах.

Случайная погрешность невязки

$$\Delta_{\text{сл}} = t s_{\Delta} \approx 2 s_{\Delta}.$$

Типичная формула определения массы компонента

$$K_i = \sum_j^N M_j (1 - W_j) \alpha_{ij},$$

где  $M_j$ ;  $W_j$  — соответственно масса и влажность продукта за  $j$ -й отрезок времени (смену, сутки и т. п.) либо в  $j$ -й емкости;  $\alpha_{ij}$  — массовая доля  $i$ -го компонента в продукте массой  $M_j(1 - W_j)$ ;  $N$  — число отрезков времени, емкостей.

Типичная формула погрешности определения массы компонента

$$s_{K_i}^2 = \sum_{i=1}^N \left[ \left( \frac{\partial K_i}{\partial M_j} \right)^2 s_{M_j} + \left( \frac{\partial K_i}{\partial W_j} \right)^2 s_{W_j}^2 + \left( \frac{\partial K_i}{\partial \alpha_{ij}} \right)^2 s_{\alpha_{ij}}^2 \right]. \quad (123)$$

Погрешности измерения массы, влажности массовых долей независимы, поэтому в формуле (123) отсутствуют члены, соответствующие корреляции переменных.

В развернутом виде

$$s_{K_i}^2 = \sum_{j=1}^N \{ [(1 - W_j) \alpha_{ij}]^2 s_{M_j} + (M_j \alpha_{ij})^2 s_{W_j}^2 + [M_j (1 - W_j)]^2 s_{\alpha_{ij}}^2 \}.$$

Удобными единицами измерения для  $\alpha$  и  $W$  являются доли единицы, а для  $M$  — тонны. Погрешности  $s_{\alpha}$  и  $s_W$  также должны быть выражены в долях единиц, а  $s_M$  — в тоннах, тогда и  $s_{K_i}$  будет получена в тоннах.

Если допустить, что в  $j$ -е отрезки времени либо в каждой  $j$ -й емкости получены равные результаты, то  $s_{K_i}^2 = N s_{i,j}^2$ .

Если используют результаты, полученные для контрольного периода, то

$$s_{K_i}^2 = \left( \frac{\partial K_i}{\partial M} \right)^2 s_M^2 + \left( \frac{\partial K_i}{\partial W} \right)^2 s_W^2 + \left( \frac{\partial K_i}{\partial \alpha_i} \right)^2 s_{\alpha_i}^2.$$

Случайная относительная погрешность весов  $m$  обычно указана в паспорте. Это — доверительные интервалы для некоторой вероятности.

Тогда средняя квадратическая погрешность измерения массы  $M$  с помощью весов

$$s_M = mM/t, \quad (124)$$

где  $t$  — коэффициент, равный 2 или 3.

Если  $m$  дано в процентах, то  $s_M$  — в тоннах:

$$s_M = mM/(100t).$$

Аналогично для влажности, если указана случайная относительная погрешность влагомера  $m_{\text{в}}$  в процентах, имеем

$$s_W = m_{\text{в}}W/(100t).$$

Часто в нормативных документах даны предельные расхождения между двумя параллельными определениями  $\Delta W$  в абсолютных единицах, тогда

$$s_W = \Delta W/d_2, \quad (125)$$

где  $d_2 = 1,13$  — коэффициент, дающий связь между расхождением двух параллельных определений и средним квадратическим отклонением.

Погрешность определения массовых долей должна быть получена при расчете точек опробования.

Особенность и различие формул (124) и (125) — использование погрешностей, полученных по различному числу проб либо определений. Для влажности и массовых долей справедливы соотношения:

$$s_W = s_{W_j}/\sqrt{N}; \quad s_{\alpha_i} = s_{\alpha_{ij}}/\sqrt{N},$$

где  $N$  — число проб или результатов, использованных для вычисления средних взвешенных значений  $W$  и  $\alpha_i$ .

#### 80. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НЕВЯЗКИ С УВЕЛИЧЕНИЕМ МАССОВОЙ ДОЛИ КОМПОНЕНТА В РУДЕ

Подробное рассмотрение составляющих невязки и их погрешностей важно само по себе для изучения особенностей фабрик и совершенствования опробования и измерения различных величин. Методически последовательная работа по расчету и уменьшению погрешностей позволит иметь уверенность в правильности получаемых данных, а также делать правильные выводы при анализе невязки.

Для фабрик цветной металлургии невязка, не превышающая 2 %, считается нормальной и выполняется коррекция измеренных опробованием массовых долей компонента в руде и хвостах. Невязка, превышающая 2 %, считается недопустимой, и для ее устранения создается специальная комиссия. Для некоторых фабрик граничные значения невязки установлены 5 %. Очевидно, что такие указания хотя и основаны на опыте работы фабрик, но весьма ориентировочны, а предложения коррекции измеренных опробованием содержаний не обоснованы.

Работа комиссии должна быть направлена на изучение погрешностей невязки и ее анализ и разработку на основе такого изучения рекомендации по улучшению опробования и расчета товарного баланса.

Если получены конкретные данные, позволяющие для фабрики записать выражение для неучтенных механических потерь

$$\Delta_{\text{п}} = [-\Delta + (-)\Delta_e + (-)\Delta_c + (-)\Delta_{\text{вер}}] \pm \Delta_{\text{сл}}, \quad (126)$$

или

$$\Delta_{\text{п}} = -\Delta_{\text{испр}} \pm \Delta_{\text{сл}}, \quad (127)$$

то неучтенные механические потери равны исправленному значению невязки  $\Delta_{\text{испр}}$  (на известные величины систематической, вероятной систематической погрешностей и погрешностей, связанных с неучтенными емкостями), плюс (минус) случайная погрешность.

На основе выражений (126) и (127) можно сделать вывод о минимально возможных неучтенных потерях:

$$\Delta_{\text{п min}} = -\Delta_{\text{испр}} + \Delta_{\text{сл}} \geq 0.$$

Значение  $\Delta_{\text{п min}}$  должно быть положительным. Если это не выполняется, то следует принимать  $\Delta_{\text{п min}} = 0$ .

При таком анализе отпадает необходимость, во-первых, в установлении какой-либо границы, при которой необходима коррекция результатов, во-вторых, в самой коррекции.

Можно и нужно будет требовать для фабрик определенного значения  $\Delta_{\text{сл}}$ , обеспечивающего фиксацию соответствующей величины неучтенных механических потерь.

Рассмотрим составляющие невязки [формула (122)] в функции массовых долей (рис. 83):  $\Delta_{\text{п}} = a_1\alpha$  — можно предположить, что неучтенные механические потери прямо пропорциональны массовой доле компонента;  $\Delta_e = a_2\alpha$  — невязка за счет неучтенных

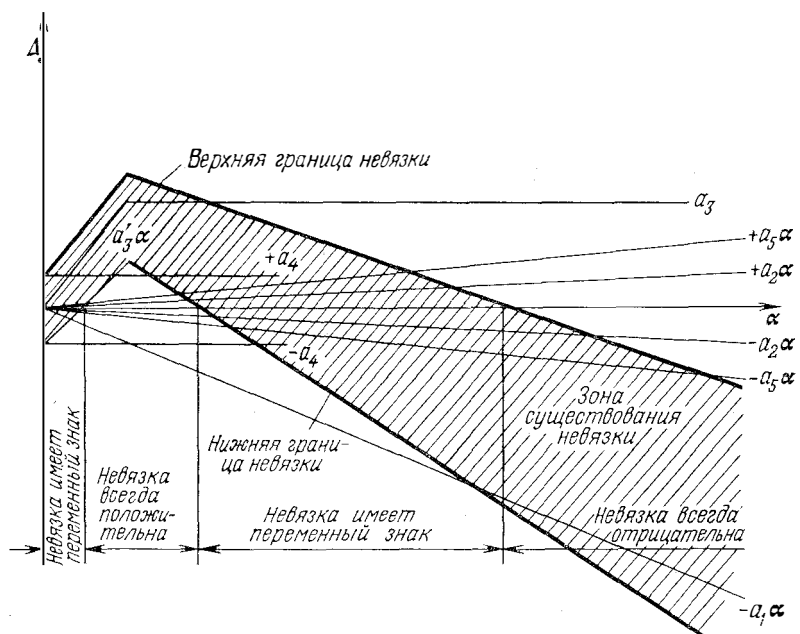


Рис. 83. Изменение составляющих невязки в функции массовой доли компонента в опробуемом продукте

емкостей пропорциональна массовой доле;  $\Delta_c = 0$  — примем, что систематическая погрешность устранена;  $\Delta_{\text{вер}} = \Delta_{\text{вер}} M_p (1 - W_p)$ .

Согласно формулам (64) и (65)

$$\Delta_{\alpha_{\text{вер}}} = -\alpha \quad \text{для} \quad \alpha < s_T / \sqrt{N};$$

$$\Delta_{\alpha_{\text{вер}}} = -s_T^2 / (\alpha N) \quad \text{для} \quad \alpha > s_T / \sqrt{N}.$$

С учетом формулы (44) можно сделать вывод, что во втором случае  $\Delta_{\text{вер}}$  не будет зависеть от  $\alpha$ , тогда вероятная систематическая погрешность невязки представит собою ломаную линию, описываемую

$$\Delta_{\text{вер}} = \begin{cases} a'_3 \alpha & \text{при} \quad \alpha < s_T / \sqrt{N}; \\ a_3 & \text{при} \quad \alpha > s_T / \sqrt{N}. \end{cases}$$

Здесь  $s_T^2$  — дисперсия точечных проб, отбираемых на фабрике;  $N$  — число проб, по которым определяют показатели товарного баланса;  $\Delta_{\text{сл}}$  — случайная составляющая невязки. Она состоит из элементов, не зависящих от массовой доли (это влияние погрешностей измерения масс, влажности) и зависящих от массовой доли (это влияние погрешностей измерения массовой доли), т. е.

$$\Delta_{\text{сл}} = \pm a_4 \pm a_5 \alpha.$$

Таким образом, невязка (см. рис. 83)

$$\Delta = -a_1\alpha \pm a_2\alpha + \begin{cases} a'_3 \alpha \\ a_3 \end{cases} \pm a_4 \pm a_5 \alpha$$

и ее относительная величина

$$\Delta_{\text{отн}} = \Delta / \alpha = -a_1 \pm a_2 \pm a_5 + \begin{cases} a'_3 \\ a_3 / \alpha \end{cases} \pm a_4.$$

## 81. ТОВАРНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ

Товарное извлечение — относительный показатель, равный отношению массы компонента в выпущенном (отгруженном) концентрате  $K_k$  к массе этого же компонента в использованном для производства этого концентрата сырье  $K_c$

$$\epsilon_T = K_k / K_c.$$

Основная проблема — определение знаменателя  $K_c$ , так как установить соответствие  $K_k$  и  $K_c$  во многих случаях непросто [1].

Решением этой проблемы наряду с полным учетом поступившей руды является учет продуктов в емкостях и приведение масс компонентов в этих продуктах к руде с использованием технологического извлечения в продукт:

$$\epsilon_T = K_k / \left[ K_p + \sum_{j=1}^p (K_{j \text{ нач}} - K_{j \text{ кон}}) / \epsilon_j \right], \quad (128)$$

где  $K_k$  — масса компонента в концентрате за контрольный период;

$K_p$  — то же, в руде;  $K_{j \text{ нач}}$ ,  $K_{j \text{ кон}}$  — масса компонента в  $j$ -й емкости соответственно на начало и конец контрольного периода;  $\varepsilon_j$  — технологическое извлечение в продукт  $j$ -й емкости.

Формула (128) отражает накопление в учитываемых емкостях тех или иных продуктов в течение контрольного периода.

Использование технологического извлечения необходимо для того, чтобы сохранить для товарного извлечения тот смысл, который ему обычно придается.

Иногда сравнивают технологическое и товарное извлечение в концентрат. Всегда должно выполняться неравенство

$$\varepsilon_t < \varepsilon_{\text{техн.}} \quad (129)$$

Это неравенство абсолютно, так как технологическое извлечение рассчитывается для некоторой точки опробования, не являющейся конечной для концентрата, а обычно непосредственно примыкающей к точке (точкам) выпуска концентрата из процесса обогащения. На последующем пути обработки концентрата, в частности его транспортировки и упаковки, неизбежны потери, что в итоге и отражает неравенство (129). Его нарушение может свидетельствовать либо о неправильном вычислении какого-либо извлечения, либо о влиянии погрешностей измерения входящих в расчет величин.

## 82. СВЯЗЬ ТОВАРНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСОВ

Если массу, влажность и массовые доли всех компонентов получают прямым измерением и опробованием, то при составлении товарного баланса нет никакой необходимости в технологическом. Поэтому принципиальной связи между товарным и технологическим балансами не существует.

Однако традиционно в связи с техническими трудностями на обогатительных фабриках массу хвостов не измеряют, а вычисляют, составляя уравнения технологического баланса. Следовательно, результатом расчетов технологического баланса являются неизмеряемые, неизвестные до расчета массы продуктов.

Эти расчетные массы могут войти в уравнения товарного баланса в качестве исходных данных. В этом и состоит связь между товарным и технологическим балансами, однако эта связь не является обязательной. Так, хотя в технологическом балансе рассчитывают выход концентрата, в товарный баланс никогда не подставляют этот расчетный выход, прежде всего потому что полученный и отгружаемый концентрат взвешивают и значение массы концентрата получают, таким образом, прямым измерением еще и потому, что расчетное значение массы концентрата получают с очень большой относительной погрешностью.

В то же время выход хвостов для руд с низкой массовой долей ценного компонента относительно велик, а относительная погрешность расчетного значения массы хвостов невелика. Поэтому

выход хвостов обычно принимают по результатам расчета технологического баланса.

Однако возможен вариант, используемый на некоторых фабриках, когда масса хвостов определяется как разность между массой переработанной руды и массой полученного концентрата или концентратов:

$$M_x = M_p - M_k \quad (130)$$

По существу, в выражении (130) для определения  $M_x$  используется баланс (товарный) масс и при таком определении  $M_x$  технологический баланс вообще не нужен при вычислении товарного баланса.

Выбор того или иного метода расчета  $M_x$  должен предопределяться погрешностью его вычисления по каждому из вариантов. Использование товарного баланса масс в большинстве случаев точнее, однако следует использовать полную формулу баланса масс

$$M_x = M_p + \sum_j M_{j \text{ нач}} - M_k - M_{п'} - \sum_j M_{j \text{ кон}},$$

которая отличается от выражения (130) учетом масс в емкостях и учтенными механическими потерями.

Дополнительно при расчете товарного баланса используются так называемые накопленные показатели — средние взвешенные массовые доли компонентов в определенных продуктах, например в исходной руде:

$$\hat{\alpha} = \left( \sum_{i=1}^N M_i \alpha_i \right) / \sum_{i=1}^N M_i.$$

Накопленный показатель вычисляется в соответствии с измененной формулой

$$\hat{\alpha}_N = \left( \sum_{i=1}^{N-1} M_i \alpha_i + M_N \alpha_N \right) / \left( \sum_{i=1}^{N-1} M_i + M_N \right),$$

где  $\sum_{i=1}^{N-1} M_i$  — накопленная к текущему  $N$ -му измерению сумма

масс за  $N-1$  отрезков времени;  $\sum_{i=1}^{N-1} M_i \alpha_i$  — накопленная к текущему  $N$ -му измерению сумма масс компонента за  $N-1$  отрезков времени.

«Накопление» будучи удобной формой представления и анализа текущих результатов, не является необходимой процедурой при составлении товарного баланса.

## 83. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ТОВАРНОГО БАЛАНСА

Необходимыми для расчета и анализа данными являются результаты опробования руды  $\alpha$ , концентрата  $\beta$  и хвостов  $\phi$ , расходы руды  $M_i$ , влажность руды  $W_{\alpha}$ , масса отгруженного концен-

трата  $M_{\beta}$ , влажность его, количественные данные о продуктах в емкостях на начало и конец контрольного периода — массы, влажности и массовые доли компонентов; количественные данные об учитываемых механических потерях, позволяющие вычислить количество ценного компонента в них.

Исходные данные для расчета товарного баланса должны быть подготовлены соответствующими службами и лицами, оформлены надлежащим образом, и переданы в ОТК. Форма представления обычно регламентируется стандартами (инструкциями) предприятия. Ниже приведены варианты форм представления.

### Справка № 1

о технологических показателях работы обогатительной фабрики

за \_\_\_\_\_ месяц

Переработка \_\_\_\_\_ т.

% влаги

Массовая доля в руде, %:

I металл

II металл

Массовая доля в хвостах, %:

I металл

II металл

Технологическое извлечение, %:

I металл

II металл

Главный инженер

Примечание. Если кроме руды поступили другие продукты на переработку, должны быть составлены соответствующие справки по всем таким продуктам.

### Справка № 2

об учетных механических потерях на обогатительной фабрике

за \_\_\_\_\_ месяц

Сливы сгустителей \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>

Массовая доля твердого \_\_\_\_\_ кг/м<sup>3</sup>

Массовая доля в твердом, %:

I металл

II металл

Дымовые газы \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>

Массовая доля твердого \_\_\_\_\_ г/м

Массовая доля в твердом, %:

I металл

II металл

Главный инженер

### Справка № 3

Маркшейдерский замер остатков руды в бункерах обогатительной фабрики

на 8 ч \_\_\_\_\_ г.

1. Бункер № 1 \_\_\_\_\_ т.

2. Бункер № 2 \_\_\_\_\_ т.

3. Склад дробленой руды \_\_\_\_\_ т

Всего руды \_\_\_\_\_ т

Замер произвел маркшейдер \_\_\_\_\_

Примечание. Маркшейдерские замеры выполняют с помощью рулетки, закрепленной на монорельсе. При этом измеряют высоту от нижней кромки бункера до поверхности руды через каждые 1,5—2 м, затем находят среднее арифметическое значение высоты руды и по заранее составленным таблицам определяют массу руды в бункере. Влажность руды в бункере принимают равной средневзвешенному за месяц значению влажности руды.

### АКТ № 1

от \_\_\_\_\_

Мы, нижеподписавшиеся, начальник ОТК комбината тов. \_\_\_\_\_

начальник главного корпуса тов. \_\_\_\_\_ и начальник цеха сушки

тов. \_\_\_\_\_ составили настоящий акт в том, что остатки

на фабрике на 8 ч \_\_\_\_\_ г. были следующие:

Емкость	Сухая масса	Массовая доля, %	Масса, т (кг)
		металл	металл
Контейнеры Бункера шихтовочной машины В партиях брака: в чане в сгустителе I в сгустителе II			
Итого			

Начальник ОТК комбината \_\_\_\_\_

Начальник главного корпуса \_\_\_\_\_

Начальник цеха сушки \_\_\_\_\_

А К Т № 2

Мы, нижеподписавшиеся, начальник ОТК комбината тов. \_\_\_\_\_,  
 главный инженер фабрики тов. \_\_\_\_\_ и старший экономист фабрики  
 тов. \_\_\_\_\_ составили настоящий акт о том, что на обогатительной  
 фабрике получены и отгружены концентраты

Концентрат № 1

Металл I

Металл II

Показатель Сухая масса Масса металла Сухая масса Масса металла

Отгружено

Остаток на складе

на \_\_\_\_\_

Концентрат № 2

Отгружено

Остаток на складе

на \_\_\_\_\_

Начальник ОТК комбината \_\_\_\_\_

Главный инженер фабрики \_\_\_\_\_

Старший экономист фабрики \_\_\_\_\_

В итоге для фабрики составляется конкретная сводная форма  
 (табл. 30), позволяющая наглядно представить баланс масс и  
 компонентов за контрольный период согласно формулам (118) и  
 (119) или (120) и (121).

Все входящие в табл. 30 сведения имеют самостоятельное зна-  
 чение и используются для оценки технико-экономических показа-  
 телей работы фабрики.

Дополнительно может быть вычислено товарное извлечение.

Анализ качества товарного баланса может быть выполнен с по-  
 мощью вычисления и анализа невязки.

Рассмотрим условный пример.

На рис. 84 представлена упрощенная схема обогатительной  
 фабрики, на которой показаны точки механических потерь цен-  
 ного компонента в процессе обработки концентрата при его сгу-  
 щении и фильтровании (МП<sub>1</sub>) и сушке (МП<sub>2</sub>).

Невязка — основная характеристика товарного баланса, кото-  
 рая определяется по формуле

$$\Delta = (K_{\text{в}} + K_{\text{кон}}) - (K_{\text{п. ф}} + K_{\text{нач}}), \quad (131)$$

где  $K_{\text{в}}$  — масса контролируемого компонента, выпущенного фаб-  
 рикой за контрольный период;  $K_{\text{кон}}$  — масса контролируемого  
 компонента, находящегося в стадии незавершенного производства;  
 $K_{\text{п. ф}}$  — масса контролируемого компонента, поступившего на фаб-

Итоговая форма товарного баланса

Наименование продукта	Сухая масса	Компоненты (металлы)			
		I		II	
		Массо- вая доля, %	Масса, т (кг)	Массо- вая доля, %	Масса, т (кг)
I Руда					
II Продукты для переработки					} Согласно справке № 1
1 . . . . .					
2 . . . . .					
Итого					
III Остатки на начало периода					} Принимаются по результатам измерений и расчетов для конца предыдущего кон- трольного периода
1 Руда в бункере					
2 Концентрат в сгустителе					
3 Концентрат на складе					
4 . . . . .					
5 . . . . .					
Итого					
Всего приход (I + II + III)					
IV Концентрат первый I					} Согласно акту № 2
V Концентрат II					
Итого					
VI Хвосты отвальные					} Согласно справке № 1
VII Сливы сгустителей					
VIII Дымовые газы					
Итого					
IX Остатки на конец периода					} Согласно справке № 3
1 Руда в бункере					
2 Концентрат в сгустителе					
3 Концентрат на складе					
4 . . . . .					
5 . . . . .					
Итого					
Всего расход (IV + V + VI + VII + VIII + IX)					

рику за контрольный период;  $K_{\text{нач}}$  — масса контролируемого ком-  
 компонента, находящегося в стадии незавершенного производства  
 на начало контрольного периода.

Обычно невязка из-за наличия неучтенных механических по-  
 терь имеет отрицательное значение.

При наличии значительных погрешностей в организации опро-  
 бования и анализа продуктов, а также по некоторым другим при-  
 чинам значение невязки может быть положительным.

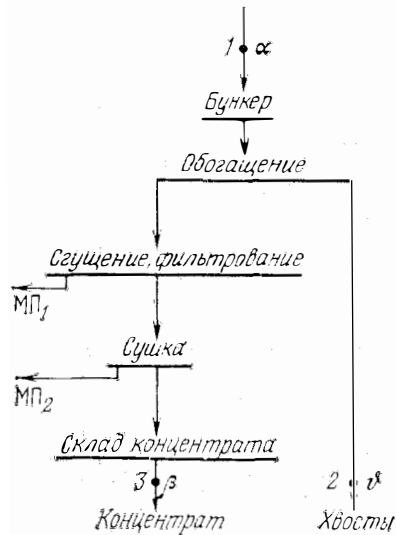


Рис. 84. Условная схема обогатительной фабрики:  
1—3 — точки отбора проб соответственно руды, хвостов и концентрата

Формулу (131) удобно представить в виде

$$\Delta = K_k + K_x + K_p + [K_b + K_{cg} + K_{ск}]_{кон} - K_p - [K_b + K_{cg} + K_{ск}]_{нач} \quad (132)$$

где  $K_p$  — масса ценного компонента, поступившего за контрольный период с рудой;  $K_k$ ,  $K_x$ ,  $K_p$  — то же, вышедшего соответственно с концентратом, хвостами и учтенными механическими потерями (с дымовыми газами и сливом);  $K_b$ ,  $K_{cg}$ ,  $K_{ск}$  — масса ценного компонента, находящегося в момент контроля (в начале и

конце контрольного периода) соответственно в бункере, на складе и сгустителе.

Определим составляющие товарного баланса в формуле (132). Масса металла  $K_p$  (т), поступившего за месяц на обогатительную фабрику:

$$K_p = \sum_i^{N_\alpha} M_{pi} (1 - W_{pi}) \alpha_i,$$

где  $M_{pi}$  — производительность фабрики за  $i$ -й период, для которого выполняется балансовый анализ, т (обычно этот период равен смене);  $W_{pi}$  — влажность руды за тот же период, доли ед.;  $\alpha_i$  — массовая доля ценного компонента за этот же период, доли ед.;  $N_\alpha$  — число периодов суммирования за месяц.

Масса металла  $K_k$  (т), выпущенного фабрикой в виде концентрата за месяц:

$$K_k = \sum_i^{N_\beta} M_{ki} (1 - W_{ki}) \beta_i,$$

где  $M_{ki}$  — масса отгруженного в  $i$ -й партии (емкости) концентрата, т;  $W_{ki}$  — влажность  $i$ -й партии концентрата, доли ед.;  $\beta_i$  — массовая доля компонента в  $i$ -й партии концентрата, доли ед.

Масса металла  $K_x$  (т), ушедшего в хвосты за месяц:

$$K_x = \sum_i^{N_\alpha} M_{pi} \gamma_{\theta i} (1 - W_{pi}) \theta_i,$$

где  $\gamma_{\theta i}$  — выход хвостов, определяемый по уравнениям техноло-

гического баланса, доли ед.;  $\theta_i$  — массовая доля компонента в хвостах, доли ед.

Масса металла  $K_p$  (т), ушедшего со сливом сгустителя и с дымовыми газами:

$$K_p = Q_{cg} \alpha_{т. cg} \beta_{cg} + Q_{г} \alpha_{т. г} \beta_{г},$$

где  $Q_{cg}$  — расход воды на сливе сгустителя за 1 мес, м<sup>3</sup>;  $\alpha_{т. cg}$  — массовая доля твердого в сливе сгустителя, т/м<sup>3</sup>;  $\beta_{cg}$  — массовая доля полезного ископаемого в твердом, доли ед.;  $Q_{г}$  — расход дымовых газов за 1 мес, м<sup>3</sup>;  $\alpha_{т. г}$  — массовая доля твердого в газах, т/м<sup>3</sup>;  $\beta_{г}$  — массовая доля полезного ископаемого в твердом, доли ед.

Массу металла, находящегося в бункере  $K_b$  (т) в начале и конце месяца ( $W_b = W_p$ ), определим по следующим формулам:

$$K_{б. нач} = M_{б. нач} (1 - W_p) \alpha_{б. нач};$$

$$K_{б. кон} = M_{б. кон} (1 - W_p) \alpha_{б. кон}.$$

Масса металла, находящегося на складе  $K_{ск}$  (т) в начале и конце месяца ( $W_{ск} = W_k$ ):

$$K_{ск. нач} = M_{ск. нач} (1 - W_k) \beta_{ск. нач};$$

$$K_{ск. кон} = M_{ск. кон} (1 - W_k) \beta_{ск. кон}.$$

Массу металла, находящегося в сгустителе  $K_{cg}$  (т) в начале месяца, определяем по формуле

$$K_{cg. нач} = V_{cg} \beta_{cg} \rho T / (T + \rho - \rho T),$$

где  $V_{cg}$  — объем сгустителя, м<sup>3</sup>;  $\beta_{cg}$  — содержание металла в сгустителе, доли ед.,  $\rho$  — плотность твердого, г/см<sup>3</sup>,  $T$  — содержание твердого в сгустителе, доли ед.

Массу металла, находящегося в сгустителе в конце месяца, определяем по аналогичной формуле.

Таким образом, определены все составляющие формулы для вычисления невязки.

Для обогатительной фабрики большое значение имеет то, сколько процентов от всей массы металла, поступившего на фабрику за контрольный период (месяц)  $K_p$ , составляет невязка

$$\Delta_{отн} = 100 \Delta / K_p.$$

Случайная погрешность невязки  $s_\Delta$  будет складываться из случайных погрешностей составляющих невязки:

$$s_\Delta^2 = s_k^2 + s_x^2 + s_p^2 + [s_b^2 + s_{ск}^2 + s_{cg}^2]_{кон} + s_p^2 + [s_b^2 + s_{ск}^2 + s_{cg}^2]_{нач}.$$

Каждая из составляющих невязки является сводным показателем.

Тогда

$$s_p^2 = \sum_i^{N_\alpha} [(1 + W_{pi})^2 \alpha_i^2 s_{Mpi}^2 + M_{pi}^2 \alpha_i^2 s_{Wpi}^2 + M_{pi}^2 (1 - W_{pi})^2 s_{\alpha i}^2],$$

где  $s_{Mpi}$  — средняя квадратическая погрешность определения массы руды за  $i$ -й период, т;  $s_{Wpi}$  — средняя квадратическая



погрешность определения влажности руды за  $i$ -й период, доли ед.;  $s_{\alpha i}$  — средняя квадратическая погрешность определения массовой доли компонента за  $i$ -й период, доли ед.;

$$s_k^2 = \sum_i^{N_\beta} [(1 - W_{ki})^2 \beta_{ki}^2 s_{M_{ki}}^2 + M_{ki}^2 \beta_{ki}^2 s_{W_{ki}}^2 + M_{ki}^2 (1 - W_{ki})^2 s_{\alpha i}^2];$$

$$s^7 = \sum_i^{N_\alpha} [\gamma_{\beta i}^2 (1 - W_{pi})^2 \theta_{iM_{pi}}^2 s_{M_{pi}}^2 + M_{pi}^2 (1 - W_{pi})^2 \theta_{iW_{pi}}^2 s_{W_{pi}}^2 + M_{pi}^2 \gamma_{\beta i}^2 \theta_{iW_{pi}}^2 s_{W_{pi}}^2 + M_{pi}^2 \gamma_{\beta i}^2 (1 - W_{pi})^2 s_{\alpha i}^2];$$

$$s_{\Pi}^2 = [\alpha_{\tau, \text{cr}}^2 \beta_{\text{cr}}^2 s_{\bullet \text{cr}}^2 + Q_{\text{cr}}^2 \beta_{\text{cr}}^2 s_{\alpha_{\tau, \text{cr}}}^2 + Q_{\text{cr}}^2 \alpha_{\tau, \text{cr}}^2 s_{\beta_{\text{cr}}}^2 + \alpha_{\tau, \text{r}}^2 \beta_{\text{r}}^2 s_{Q_{\text{r}}}^2 + Q_{\text{r}}^2 \beta_{\text{r}}^2 s_{\bullet \text{r}}^2 + Q_{\text{r}}^2 \alpha_{\tau, \text{r}}^2 s_{\beta_{\text{r}}}^2];$$

$$s_6^2 = [(1 - W_p)^2 \alpha_6^2 s_{M_6}^2 + M_6^2 \alpha_6^2 s_{W_p}^2 + M_6^2 (1 - W_p)^2 s_{\alpha_6}^2]; \quad (133)$$

$$s_{\text{СК}}^2 = [(1 - W_k)^2 \beta_{\text{СК}}^2 s_{M_{\text{СК}}}^2 + M_{\text{СК}}^2 \beta_{\text{СК}}^2 s_{W_k}^2 + M_{\text{СК}}^2 (1 - W_k)^2 s_{\beta_{\text{СК}}}^2]; \quad (134)$$

$$s_{\text{СГ}}^2 = [V_{\text{СГ}} \rho T / (T + \rho - \rho T)]^2 s_{\beta_{\text{СГ}}}^2 + [V_{\text{СГ}} \rho^2 \beta_{\text{СГ}} / (T + \rho - \rho T)]^2 s_T^2 + [V_{\text{СГ}} T^2 \beta_{\text{СГ}} / (T + \rho - \rho T)]^2 s_{\rho}^2. \quad (135)$$

Формулы (133) — (135) используются по два раза; подставляются значения величин для начала и для конца контрольного периода.

Для определения  $s_{\rho}^2$ ,  $s_k^2$ , ...,  $s_{\text{СГ}}^2$  необходимо знать погрешности средств контроля и измерения

$$\begin{matrix} s_{M_p}^2; & s_{W_p}^2; & s_{\alpha}^2; & s_{W_k}^2; & s_{\beta}^2; & s_{\gamma}^2; & s_{\theta}^2; \\ s_{M_{\text{СК}}}^2; & s_{M_6}^2; & s_{M_{\text{СК}}}^2; & s_T^2; & & & s_{\rho}^2. \end{matrix}$$

Случайные погрешности определения массовых долей  $s_{\alpha i}$ ;  $s_{\beta i}$ ;  $s_{\theta i}$  находят расчетом по общей формуле (109) для  $i$ -го контрольного периода (чаще всего — смены).

Случайные погрешности определения массовой доли в сливе сгустителя определяют аналогичным образом, но для контрольного периода, равного месяцу.

Случайные погрешности определения массовой доли компонента в бункере, на складе и в сливе сгустителя определяют в зависимости от системы опробования и схемы обработки этих проб. В связи с трудоемкостью опробования емкостей часто принимают массовую долю и влажность продуктов в емкостях равными соответствующим показателям руды и концентрата за период, предшествующий опробованию, равный продолжительности заполнения емкости.

Случайные погрешности определения влажности исходной руды  $s_{W_p}^2$  и концентрата  $s_{W_k}^2$  определяются погрешностями выбранных средств измерения и контроля.

Рассмотрим примеры определения величин  $s_{W_p}^2$ . Если известно допустимое расхождение между результатами параллельных определений  $\Delta W$ , то  $s_{W_p} = 0,886 \Delta W$ .

Если относительная погрешность средства измерения влажности исходной руды равна  $\Delta W_{\text{отн}}$ , то

$$s_{W_p} = s_{W_p} = \Delta W_{\text{отн}} W_p / (2 \cdot 100).$$

Следует помнить, что при расчете невязки величина  $W$  использовалась в долях единиц, поэтому и величину  $s_{W_p}$  также необходимо выражать в долях единиц.

Погрешности измерения массы поступающей на фабрику руды  $s_{M_p}^2$  (т/ч) и массы отгружаемого концентрата  $s_{M_{\text{СК}}}^2$  определяются погрешностью средств измерения.

Если относительная погрешность используемого средства измерения  $M_p$  и  $M_{\text{СК}}$  составляет  $m$  (%), то

$$s_{M_p} = M_p m / (3 \cdot 100).$$

Погрешности определения выхода хвостов  $s_{\gamma \beta i}$  за смену определены при расчете технологического баланса.

Погрешности определения массы руды в бункере  $s_{M_6}$  и на складе  $s_{M_{\text{СК}}}$  будут определяться используемыми средствами контроля и измерения. При этом можно руководствоваться следующим:

уровень материала в бункерах, на складе может контролироваться автоматически, например радиоактивным способом с относительной погрешностью  $\pm 5$  %;

при измерении отвалов объемом от 400 до 7000 м<sup>3</sup> рулеткой относительная погрешность измерения составляет  $\pm 6 + 14$  %;

при инструментальной съемке штабелей руды от 3000 до 6000 м<sup>3</sup> относительная погрешность измерения составляет  $\pm 1,5 + 4$  %, при способе профилей  $\pm 3,5$  %.

При определении погрешностей определения массы металла в сгустителе следует учитывать следующее:

объем пульпы в сгустителе должен быть известен, поэтому  $s_{V_{\text{СГ}}} = 0$ ;

погрешность определения содержания твердого будет определяться погрешностью используемого плотномера;

плотность твердого в сгустителе  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) определяется по формуле

$$\rho = \rho_m \beta_{\text{СГ}} / \beta_m + \rho_{\Pi} (1 - \beta_{\text{СГ}} / \beta_m),$$

где  $\rho_m$  — плотность минерала, г/см<sup>3</sup>;  $\beta_{\text{СГ}}$  — массовая доля металла в сгустителе, %;  $\beta_m$  — массовая доля металла в минерале, %;  $\rho_{\Pi}$  — плотность породы, г/см<sup>3</sup>.

Величины  $\beta_m$ ,  $\rho_m$ ,  $\rho_{\Pi}$  постоянные, тогда

$$s_{\rho}^2 = (\partial \rho / \partial \beta_{\text{СГ}})^2 s_{\beta_{\text{СГ}}}^2 = [(\rho_m - \rho_{\Pi}) / \beta_m]^2 s_{\beta_{\text{СГ}}}^2.$$

Таким образом, имеются все необходимые данные для расчета случайной погрешности невязки.

Вероятная систематическая погрешность невязки появляется вследствие асимметричности законов распределения значений входящих в невязку величин и характеризует наиболее вероятные отклонения результата опробования по  $N$  пробам от среднего значения, полученного для бесконечно большого числа наблюдений.

Обычно определение содержания в руде и хвостах по небольшому числу данных связано с вероятным занижением на  $(-\Delta \alpha)$  и  $(-\Delta \beta)$ , а в концентрате с завышением на  $(+\Delta \beta)$ , поэтому масса

металла в руде и хвостах занижается, а в концентрате завышается.

Абсолютные величины этих занижений и завышений различны и зависят от закона распределения содержания ценного компонента в этих продуктах.

В итоге формируется вероятная систематическая погрешность невязки, которую можно записать так:

$$\Delta_{\text{вер}} = (K_k + K_p) \Delta \beta_{\text{вер. мес}} / \beta + K_x (-\Delta \theta_{\text{вер. мес}}) / \theta - K_p (-\Delta \alpha_{\text{вер. мес}}) / \alpha.$$

В результате расчета получают невязку  $\Delta$  и погрешность определения невязки, состоящую из случайной  $s_{\Delta}$  и вероятной систематической  $\Delta_{\text{вер}}$  погрешностей. Следовательно, можно записать

$$\Delta = K_{\text{н.м.п}} + (-) \Delta_{\text{вер}} \pm ts_{\Delta}.$$

Для  $P=95\%$   $t=2$ , так как число степеней свободы при расчете невязки товарного баланса достаточно велико.

Отсюда неучтенные механические потери

$$K_{\text{н.м.п}} = -\Delta + (-) \Delta_{\text{вер}} \pm ts_{\Delta}.$$

Минимально обоснованное значение неучтенных потерь

$$K_{\text{н.м.п. min}} = -\Delta + (-) \Delta_{\text{вер}} - ts_{\Delta}.$$

Величина  $K_{\text{н.м.п. min}}$  — показатель качества и технической культуры ведения процесса и использования сырья на фабрике. При любом ее положительном значении следует определять и ликвидировать причины таких потерь.

Величина  $s_{\Delta}$  — показатель качества и технической культуры опробования, анализа и контроля продуктов на фабрике. Так как расчет  $s_{\Delta}$  выполняется детально, то анализ составляющих величины  $s_{\Delta}$  позволит наметить технические мероприятия по снижению  $s_{\Delta}$ .

Вероятная систематическая погрешность  $\Delta_{\text{вер}}$  характеризует то объективно возможное искажение невязки, которое складывается в условиях конкретной фабрики. Уменьшить  $\Delta_{\text{вер}}$  можно увеличением числа точечных проб и в некоторой мере увеличением их массы.

Обычным для фабрик должно быть превышение случайной погрешности над систематическими:

$$ts_{\Delta} > |\Delta| + |\Delta_{\text{вер}}|.$$

Поэтому какие-либо выводы о механических потерях следует делать лишь в сравнении невязки со случайной и вероятной систематической погрешностями.

#### 84. КОРРЕКТИРОВКА БАЛАНСОВ

Невязка дает новую информацию: нет соответствия между материальными потоками. Мы видели, что это несоответствие может возникнуть по различным причинам, которые следует изучать и осуществлять мероприятия по уменьшению влияния этих причин.

Однако на фабриках в соответствии с инструкциями выполняют коррекцию исходных данных в зависимости от величины и знака невязки. Недостача металла в продуктах обогащения до 2% (а иногда и до 5%) корректируется пропорциональным снижением его массовой доли в исходной руде и повышением в отвальных хвостах; избыток металла в продуктах обогащения до +2% относится на повышение его массовой доли в руде. Массы металла в концентратах не корректируют.

Эта коррекция выполняется, таким образом, в предположении, что неучтенные механические потери отсутствуют. Это, конечно, неправильно.

Практика коррекции показывает, что возможны значительные изменения измеренных содержаний.

По висмуту, золоту, серебру и другим металлам с малой массовой долей товарный баланс не составляют, так как получаются такие значения невязки, которые не берутся корректировать.

Никаких научных оснований для такой корректировки не существует.

Корректировка возможна только после изучения причины возникновения систематической погрешности и ее установления.

Так, следует корректировать массовую долю с учетом вероятной систематической погрешности, объективно возникающей вследствие асимметричности законов распределения содержаний.

Так как вероятная систематическая погрешность для руды и хвостов отрицательна, измеренные массовые доли металлов в руде и хвостах следует увеличивать, причем в общем случае независимо от знака невязки.

Но вероятная систематическая погрешность для руды и хвостов может изредка иметь и положительный знак при сравнительно большой величине. Так что и такую коррекцию следует выполнять, помня о возможной погрешности.

Следовательно, исходя из этого, корректировка баланса должна предусматривать повышение массовой доли как в руде, так и в хвостах при плюсовой невязке следующим образом.

Пример. Пусть невязка  $\Delta = K_k + K_x - K_p = 36000 + 4000 - 38000 = +2000$  кг. Повышаем массу металла в хвостах на  $\Delta K_x = \Delta K_x / (K_k + K_x) = 2000 \cdot 4000 / (36000 + 4000) = 200$  кг и в руде на 2200 кг. Т. е. считаем, что  $\Delta = 36000 + 4200 - 40200 = 0$ .

## ХИ. ПРАКТИКА ОПРОБОВАНИЯ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТАХ

### 85. ОПРОБОВАНИЕ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ФАБРИКАХ

На Абаканском рудоправлении разработана технология опробования железной руды по всему технологическому циклу на основе геофизических методов, использующих взаимосвязь между

физическими характеристиками магнетитовых руд (магнитная восприимчивость, эффективный атомный номер и массовая доля железа). Опробование ведется на всех этапах добычи и переработки руды [22].

Разведочные работы осуществляют горными выработками с последующим бурением в них вееров скважин из одной или нескольких точек. Скважины располагают по разрезам через 20 м по простиранию и через 20—30 м по падению рудного тела. Проводят каротаж магнитной восприимчивости по скважинам путем точечной регистрации с шагом 0,5 м и опробование выработок путем сплошного измерения на одной из стенок с регистрацией измерений через 0,5 м.

Основой для структурной и литологической отстройки разрезов служит геологическая ситуация на плане горизонтов бурения. Дополнительно используют данные, получаемые при бурении разведочных скважин и дающие указания на положение дизъюнктивных нарушений,— потери промывочной жидкости, провалы инструмента, повышенные водопритоки, а также литологический состав вмещающих пород.

Опробованию подлежат все горные выработки, пройденные вкрест простирания пород. Перед нарезкой блока на проектный график наносят схему опробования. В схеме учитывается необходимость равномерного опробования в блоке. Все выработки опробуют геофизическим методом и только в откаточных выработках (на вновь вскрываемых горизонтах), кроме геофизического метода, применяют опробование с химическим анализом.

Геофизическое опробование проводят одновременно с составлением документации выработки. Опробуется одна стенка (как правило, северо-восточная). При необходимости в случае сложной геологической обстановки может быть опробована и другая стенка.

В намеченной к опробованию выработке разбивают пикетаж, привязку пикетов осуществляют от ближайшей маркшейдерской точки. Геофизические измерения проводят на уровне 1,5 м от подошвы выработки. Шаг измерений составляет 0,5 м. Измерения на каждой точке проводят при двух взаимно перпендикулярных положениях датчика.

Контроль точности опробования обеспечивается проведением повторного геофизического опробования в объеме не менее 10 % общего объема опробования.

Блоки на Абаканском руднике нарезают параллельными ортами. Сетка обуривания при одиночных скважинах 2×2 или 2,5×2 м.

Способ опробования — точечный с шагом 0,5 м. Через 0,5 м на токоподводящий кабель нанесены метки в виде узких металлических колец. Кольца через каждые 10 м делают более широкими для контроля правильности отсчета метража.

На Абаканском железном руднике постоянно находятся в эксплуатации 8—10 блоков. Геофизическое опробование горной массы навалов в дучках проводит участковый геолог. В дучке на поверх-

ности навала он намечает сеть измерений: профили — через 1 м, точки измерений по профилю — через каждые 0,5 м. Получив данные о массовой доле железа в навалах из дучек, участковый геолог определяет целесообразность выпуска горной массы и погрузки ее в вагонетки, а также очередность ее выпуска.

Геофизическому опробованию подвергают каждую вагонетку с рудой, причем в вагонетке берут два отсчета.

Каротаж магнитной восприимчивости, опробование стенок горных выработок, навалов и рудной массы в вагонетках, а также измерения в порошковых пробах проводят аппаратурой РИМВ-1 (рудничный измеритель магнитной восприимчивости).

Комплект аппаратуры РИМВ-1 состоит из пульта управления, двух скважинных датчиков, датчика для измерений по стенкам горных выработок и отбитой горной массы и датчика для измерений в порошковых пробах, двух блоков питания (сетового и автономного).

Скважинный прибор с зондом длиной 500 мм предназначен для каротажа скважин глубиной до 100 м и диаметром 46—150 мм и с зондом длиной 1200 мм — для взрывных скважин глубиной до 30 м и диаметром 150—480 мм. Радиус исследования среды, окружающей скважину, около 30 см.

Датчик для измерения порошковых проб представляет собой систему из трех катушек индуктивности — приемной, генераторной и компенсационной, которые расположены на полом цилиндра. Расстояние между катушками предопределяет чувствительность прибора. В цилиндр вставляется стаканчик с исследуемой пробой объемом около 180 см<sup>3</sup>.

За смену можно измерить 50—60 порошковых проб.

Применение геофизических методов на дробильно-обогащительной фабрике (ДОФ) рудника дало возможность получить информацию о качестве концентрата и потерях железа, связанного с магнетитом, в отвальных хвостах, оперативно регулировать процесс обогащения; для этих целей выполняется регулировка силы тока в сепараторах и управление делительными перегородками сепаратора второй стадии обогащения. Для определения массовой доли железа в продуктах обогащения используется магнитный феррометр МФ-Т.

Отличительные особенности прибора МФ-Т от приборов аналогичного типа — применение на потоке концентрата датчика в виде системы ортогональных катушек, охватывающих конвейер. Это позволяет обеспечить необходимую стабильность нулевых показателей при достаточно высокой чувствительности и снизить требования к стабильности работы питающего генератора.

Магнитный феррометр МФ-Т предназначен для оперативного измерения магнитного компонента в магнетитовых рудах и продуктах их переработки и имеет датчики магнетита и высоты насыпки рудного слоя на конвейерной ленте.

Содержание железа и его массу определяют непосредственно в технологическом потоке по магнитной восприимчивости мате-

риала. Измерение автоматическое и непрерывное с записью на самописце мгновенных значений, а на цифropечатающей ленте — средних значений за каждые 15 мин. Цифры, соответствующие средним значениям информации, сохраняются на световом табло.

При нормальной работе прибора изменение корреляционной зависимости между его показателями и содержанием  $Fe_{общ}$  в первичном концентрате может быть связано только с изменением магнитных характеристик, что и определяется типом руды.

Опробование на обогатительной фабрике Качканарского горно-обогатительного комбината обеспечивает заданные качественно-количественные показатели обогащения. Качественные показатели работы фабрики контролируют отделы технического контроля (ОТК) и рудоиспытательной станции (РИС). Схема опробования технологического процесса обогатительной фабрики Качканарского ГОКа показана на рис. 85. Результаты опробования технологической секции заносят в журнал опробования, в котором указывают цель опробования, место отбора пробы, вид опробуемого материала, периодичность и время опробования.

Пробы продуктов обогащения на обогатительной фабрике Качканарского ГОКа отбирают в основном вручную. Пробы исходной руды отбирают (при остановленном конвейере) снятием с ленты конвейера части потока (по всему сечению) размером не менее трехкратного размера максимального куска руды. Такой отбор проб производят совками и лопатами. При опробовании пульповых потоков большой мощности используют предварительное продольное сокращение в несколько раз всего потока с помощью отсекателей с последующим отбором точечной пробы путем поперечного пересечения выделенной части опробуемого потока. Пульповые пробы отбирают кружками со щелью на перепаде потока путем постепенного заполнения кружки через щель при равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине. Плотность продуктов обогащения определяется взвешиванием 1 л пульпы.

Для определения плотности сгущенного концентрата применяют радиоактивные плотномеры ПЖР-2М. Концентрат, отгружаемый на аглофабрику, отбирают с конвейера при помощи совка.

Отобранные пробы в зависимости от их назначения проходят подготовку по схеме, включающей несколько стадий. Выбор числа стадий подготовки зависит от размера максимального куска в объединенной пробе. Пробы исходной руды и хвостов сухой магнитной сепарации разделяют по полной схеме, пробы продуктов сливов стержневой и шаровой мельниц, I и II стадий мокрой магнитной сепарации и песков гидроциклонов разделяют по неполной схеме, начиная с измельчения до 1 мм. Пробы продуктов III стадии мокрой магнитной сепарации и слива гидроциклонов измельчают до  $-0,074$  мм.

Объединенную пробу на различных стадиях ее подготовки в зависимости от категории однородности руды или концентрата сокращают до минимальной массы. Минимальную массу пробы,

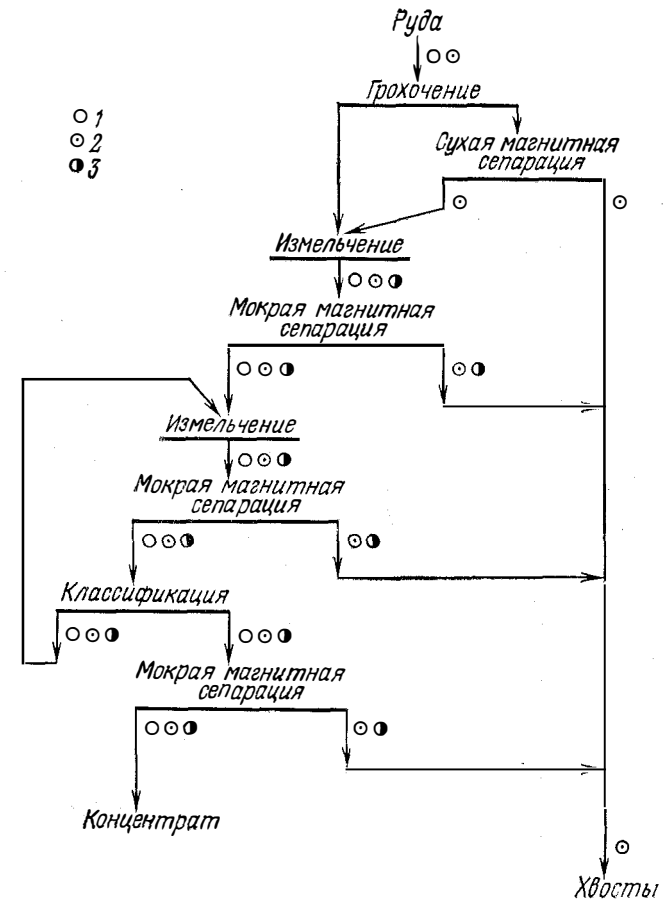


Рис. 85. Схема опробования технологического процесса на Качканарской обогатительной фабрике:

1 — ситовой анализ; 2 — химический анализ; 3 — контроль плотности

полученной после сокращения, определяют по формуле  $q = 0,05 d_{max}^2$ .

Схема подготовки проб на Качканарской обогатительной фабрике показана на рис. 86. Дробление до 6 мм проводят в лабораторной щековой дробилке размером  $100 \times 150$  мм, дробление от 6 до 1,6 мм — на валках размером  $125 \times 150$  мм. Пробы крупностью от 1,6 до 0,1 мм измельчают в лабораторной шаровой мельнице; для более тонкого измельчения (до  $-0,074$  мм) используют вибрационные истиратели.

Перед каждой операцией сокращения пробы тщательно перемешивают методом кольца и конуса и перекачиванием. Сокращают пробы методом квартования и квадратования.

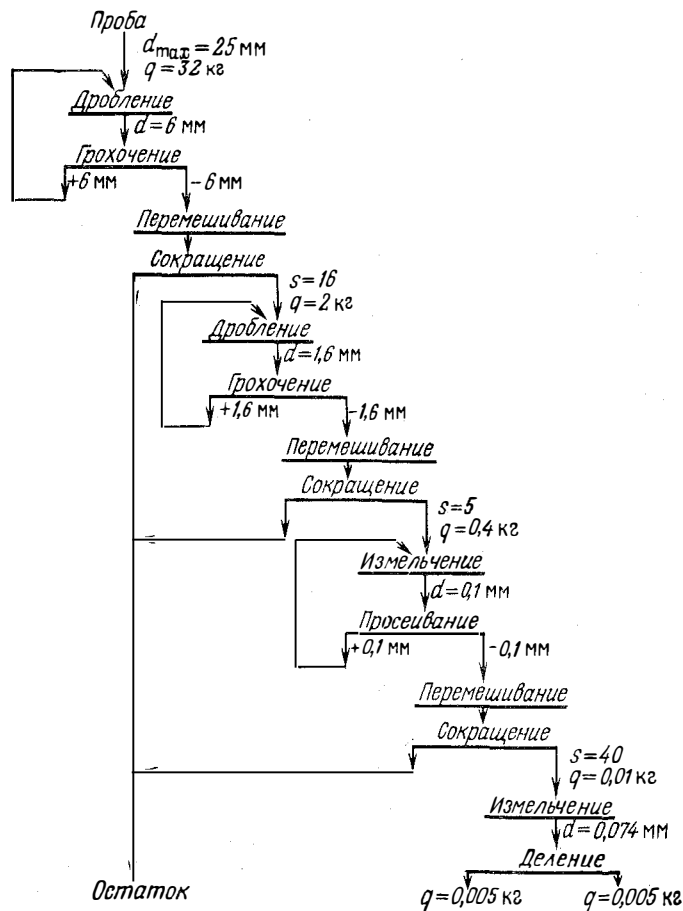


Рис. 86. Схема подготовки проб на Качканарской обогатительной фабрике

Полученную пробу массой 10 г делят на две по 5 г: одну направляют на химический анализ, другую хранят в качестве дубликатной.

Схема опробования технологического процесса на Высокогорской магнитно-обогатительной фабрике показана на рис. 87. Перечень проб, отбираемых по данной схеме, приведен в табл. 31. Плотность продукта определяет персонал, обслуживающий данную установку (например, машинист мельницы). Каждая проба, взятая в цехе, фиксируется в журнале опробования. Туда же записывают результаты анализа каждой пробы. Все пробы отбирают вручную, сухую руду перед измельчением — совком. В остальных точках пробы отбирают пробниками для пульпы. На каждую пробу, взятую в цехе, составляют паспорт. В паспорте содержатся следующие данные: наименование продукта, место от-

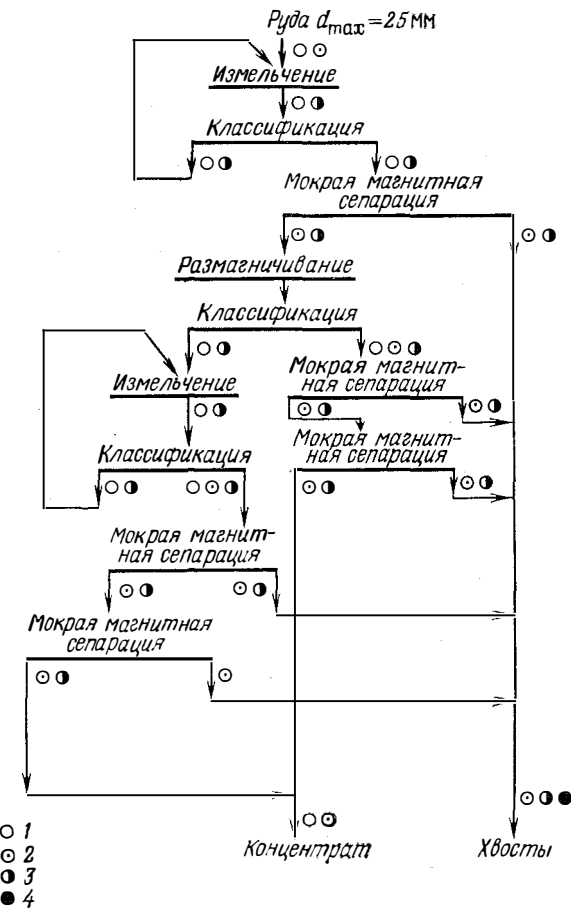


Рис. 87. Схема опробования технологического процесса на Высокогорской магнитно-обогатительной фабрике:

1 — ситовой анализ; 2 — химический анализ; 3 — контроль плотности; 4 — фазовый анализ

бора пробы, дата и время отбора пробы. Жидкие пробы маркируют мелом на посуде, в которой они содержатся. Все данные о пробах заносят в журнал опробования (табл. 32).

Технологические балансы металлов на Высокогорской магнитно-обогатительной фабрике рассчитывают по следующей форме (табл. 33).

Графы 2, 4, 8 и 18 заполняют первичными исходными данными, которые получают в результате опробования и работы фабрики за смену. Все остальные графы дополняют данными, полученными в результате соответствующих расчетов.

Опробование технологических процессов дробильно-сушильной фабрики (ДСФ-3) Бакальского рудоуправления ведется следую-

Сводная таблица точек опробования

№ пробы	Опробуемый материал	Место отбора проб	Вид анализа отобранных проб	Цель опробования	Примерная периодичность отбора проб, ч	Периодичность анализа, ч	Систематичность опробования
1	Сырая руда	Перед измельчением	Ситовый	Определение состава руды по крупности	1	8	Регулярное опробование
2	То же	То же	Химический	Определение качества руды по химическому составу, составление товарного баланса	1	8	То же
3,19	Пульпа из мельниц	На выходе из мельницы	Ситовый	Контроль качества измельчения	1	—	Генеральное опробование
4,20	То же	То же	Определение влажности продукта	Для расчета шламовой схемы	—	—	То же
5,21	Пески классификаторов	Песковый порог классификатора	Ситовый	Контроль качества классификации	—	—	»
6,22	То же	То же	Определение влажности продукта	Контроль режима классификации, составление шламовой схемы	—	—	»
7	Слив классификаторов	Сливной порог классификатора	Определение плотности продукта	Контроль режима измельчения и классификации, составление шламовой схемы	1—2	4—8	Эпизодическое опробование
8,23	То же	То же	Ситовый	Контроль качества измельчения классификации	—	—	Регулярное опробование, экспресс-контроль, генеральное опробование
9,24	»	»	Определение влажности продукта	Контроль режима классификации, составление шламовой схемы	—	—	Генеральное опробование
10, 26,	Промпродукт	»	Химический	Определение содержания	—	—	То же
30, 35, 41	мокрой магнитной сепарации	Сливной порог классификаторов	Определение влажности продукта	контролируемого компонента Составление шламовой схемы	—	—	Генеральное опробование
11, 27, 31, 36, 42	То же	То же	Химический	Определение содержания контролируемого компонента	2	2	Регулярное опробование
12, 28, 32, 37, 39	Хвосты мокрой магнитной сепарации	»	Определение влажности продукта	Для составления товарного баланса	—	—	Генеральное опробование
13, 40 20, 38	То же	»	Ситовый	Для расчета технологической схемы	—	—	Частное опробование
14	Пески гидроциклона	Песковый насадок гидроциклона	Определение влажности продукта	Для составления шламовой схемы	2	8	То же
15	То же	То же	Ситовый	Для расчета технологической схемы	2	8	»
16	Слив гидроциклона	Сливная коробка гидроциклона	Определение влажности продукта	Для составления шламовой схемы	—	—	Генеральное опробование
17	То же	То же	Химический анализ	Для расчета технологической схемы	2	8	Частное опробование
18	»	»	Химический	Определение содержания контролируемого компонента	—	—	Генеральное опробование
25	Слив классификатора	Сливной порог классификатора	Ситовый	Для расчета технологической схемы	1—2	4—8	Регулярное опробование
33	Смешанный концентрат с мокрой магнитной сепарации	То же	Химический	Контроль технологического режима, составление технологического баланса	1—2	4—8	То же
34	То же	»	»	Контроль содержания железа в хвостах	2	4—8	»
43	Хвосты общие	»	Определение влажности продукта	Контроль технологического режима	—	—	Генеральное опробование
44	То же	»					

Результаты опробования

Продукт	Место отбора проб	Время отбора пробы, ч	Содержание твердого, %	Массовая доля железа, %	Массовая доля класса — 63 мкм, %	Q, т/ч
Сырая руда	Лента питателя	8	—	—	10,76	215,8
Слив мельницы I	Разгрузочное устройство	8	78,7	—	10,16	—
Пески классификатора I	Песковый порог классификатора	8	90,9	—	6,22	—
Слив классификатора	Сливной порог классификатора	8	49,1	40,1	35,95	—
Концентрат грубый	—	8	63	55,8	30,6	—
Хвосты грубые	—	8	25,7	11,1	—	—
Слив гидроциклона	Сливная коробка гидроциклона	8	19	55,6	84,85	—
Пески гидроциклона	Песковый насадок гидроциклона	8	70,7	54	11,15	—

щим образом. Валовая руда поступает в думпкарах. По прибытии думпкаров на станцию дежурный дает разрешение пробоотборщикам для взятия проб, которое фиксируется в специальном журнале. После окончания взятия проб пробоотборщик делает отметку об окончании работы и расписывается, после чего расписывается и дежурный по станции.

При отборе проб стремятся к тому, чтобы гранулометрический состав каждой точечной пробы был близок к составу опробуемой руды. Для этого в точках отбора проб делают лунки глубиной 0,3 м (бурые железняки), по стенкам лунок снизу вверх по прямой линии в один или два приема лопатой набирают пробы, от крупных кусков откалыванием молотком отбивают кусочки до 60 мм; для откалывания берут куски без выбора, находящиеся в точках отбора проб.

Точки отбора проб располагают в определенном порядке, но не ближе 0,5 м от борта думпкара. Расположение точек отбора в одном думпкаре показано на рис. 88. Масса точечной пробы валовой руды составляет 0,2 кг, общая масса проб от состава не менее 10 кг.

Агломерат из думпкара отбирают со стандартного мостика при движении состава со скоростью не более 3 км/ч. При этом пробу отбирают лопатой без углубления лунок. Масса точечной пробы

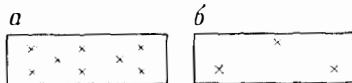


Рис. 88. Схема отбора проб валовой руды (а) и агломерата (б) в думпкаре

Данные для расчета технологического баланса

п/п №	Руда				Концентрат				Масса Fe в концентрате					
	Переработано сухой руды, т	Массовая доля Fe в руде, %	Масса металла в руде, т	Массовая доля металла в концентрате, %	Выход концентрата, %	Масса концентрата, т	Масса Fe в концентрате							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	За сутки
	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	За сутки
	Концентрат				Хвосты									
	Масса Fe в концентрате	Технологическое извлечение Fe в концентрат, %	Массовая доля Fe в хвостах, %	Выход хвостов, %	Масса хвостов, т	Масса Fe в хвостах, %	Потери Fe в хвостах, %							
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	С начала месяца
	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца	За сутки	С начала месяца

агломерата составляет 0,5 кг, масса точечных проб на один состав (8 думпкаров) — 12 кг.

Объединенную пробу снабжают этикеткой, на которой записывают дату и время взятия пробы, порядковый номер пробы, наименование руды, номер состава, экскаватора, число думпкаров, фамилию пробоотборщика.

Пробу дробят и измельчают в механических лабораторных дробилках и дисковых истирателях, а сушат в сушильных шкафах при температуре 105—110 °С.

Общую пробу с помощью сита 15×15 мм делят на кусковую пробу и мелочь, при этом определяют долю мелочи класса 0—15 мм (рис. 89).

Кусковую пробу (больше 15 мм) дробят в щековой дробилке до класса 0—15 мм, перемешивают методом кольца и конуса. Для лучшего перемешивания и осыпания на конус данную операцию проводят не менее трех раз.

Перемешанную пробу (кусочек) сокращают крестовиной, которая делит полученный конус материала на четыре равных сектора. Две пробы противоположных секторов объединяют вместе для химического анализа кусковой пробы, а оставшиеся две пробы также объединяют и соединяют с мелочью (при первоначальном отсеве) для выполнения химического анализа.

Объединенную кусковую пробу и мелочь тщательно перемешивают и ссыпают в правильную коническую кучу, из которой берут навеску массой 0,4 кг для определения влаги.

После этого кусковую пробу и мелочь обрабатывают отдельно до аналитического порошка. Причем класс 0—15 мм в случае необходимости сушат в сушильном шкафу, после чего пробу измельчают на валковой дробилке до крупности 0—4 мм. Полученный класс перемешивают, берут

навеску массой 200 г и сушат ее в сушильном шкафу при температуре 110—115 °С. Высушенную пробу пропускают через дисковый истиратель, после чего просеивают через сито с размером отверстий 0,14 мм.

Из полученной при последнем сокращении пробы массой не менее 0,1 кг выделяют две навески по 0,05 кг каждая; одну навеску направляют в химическую лабораторию для химического анализа, другую — в пробохранилище в качестве дубликата.

Срок хранения дубликата 24 ч. Пробу для химического анализа и дубликат помещают в пакет и снабжают двумя этикетками, одну из которых вкладывают внутрь пакета, другую наклеивают снаружи.

Товарный баланс на ДСФ составляют на основе опробования и весового учета полученной и выданной продукции для получения агломерата и механических потерь.

Для составления товарного баланса на ДСФ фиксируется поступление влажной руды и высушенной в сушильных барабанах, а также унос пыли с отходящими газами.

Наряду с этим на фабрике определяется влажность и производится химический анализ руды на следующие компоненты: Fe, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>.

## 86. ОПРОБОВАНИЕ НА ФАБРИКАХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Оперативное и товарное опробование и учет продукции на Кентауской обогатительной фабрике осуществляется ОТК комбината. Отдел технического контроля — самостоятельное структурное подразделение Ачисайского полиметаллического комбината.

Главные задачи ОТК — предотвращение выпуска и отгрузки готовой продукции, не соответствующей требованиям стандартов и технических условий, условиям поставки и договоров, и повышение ответственности всех звеньев производства за качество выпускаемой продукции. Отдел технического контроля:

обеспечивает развитие и совершенствование системы технического контроля как одного из важнейших элементов управления качеством продукции на комбинате, для чего: ведет систематическую работу по анализу эффективности системы технического контроля, устранению причин выпуска продукции низкого качества, исключению возможности поставки такой продукции потребителям, а также по повышению производительности труда работников ОТК;

совместно с другими подразделениями внедряет прогрессивные методы контроля и оценки качества продукции, в том числе активный контроль, а также статистические методы регулирования технологических процессов, анализа и оценки качества продукции, средств механизации и автоматизации;

осуществляет в соответствии с типовым положением об ОТК и приказами и распоряжениями по комбинату входной контроль: поступающих на комбинат привозной руды и шлака Чимкентского

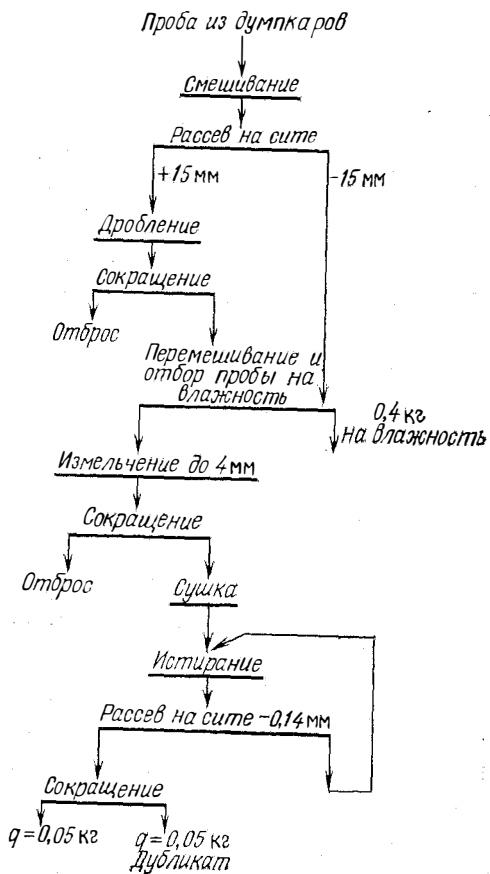


Рис. 89. Схема подготовки проб на ДСФ-3 Бакальского рудоуправления



свинцового завода; топлива, материалов, реагентов; шлака, коксика, руды, поступающих на металлургический цех рудника Ачисай; операционный контроль качества продукции по переделам производства на Кентауской объединенной обогатительной фабрике (КООФ), вельщехе рудника Ачисай; контроль технологических параметров производственного процесса КООФ; качества и массы готовой продукции, выдаваемой рудниками Миргалимсай, Глубокий, Ачисай, Байжансай, качества продукции и массы, отправляемой иногородним потребителям, свинцового, цинкового, баритового концентратов, вельцоокси цинка и цинковых белил; контроль качества чистоты ж.-д. вагонов, цистерн, контейнеров, пригодности их для погрузки соответствующей готовой продукции; назначает и проводит выборочные проверки, не предусмотренные утвержденной технологической инструкцией, качества продукции по переделам производства; состояния обогатительного оборудования, расхода электроэнергии, воды, материалов по переделам производства; состояния технологической дисциплины;

оформляет документы, удостоверяющие соответствие принятой готовой продукции установленным требованиям;

участвует в испытаниях новых технологических схем, в освоении новой продукции;

контролирует выполнение работ по изолированию забракованной продукции и соответствующей ее маркировки.

Массу поступающей на фабрику руды определяют путем взвешивания думпкаров, автомашин и путем подсчета числа скипов и массы скипов с помощью суммирующего устройства при подъеме руды через ствол рудника Миргалимсай и шахту Глубокая. Влажность поступающей руды работники ОТК определяют ежедневно для каждого типа руды. Крупность дробленой руды определяют один раз в сутки путем отбора пробы на конвейере перед бункером дробленой руды. Измерение и регулировка разгрузочных щелей дробилок мелкого дробления производятся технологами один раз в сутки, а дробилок среднего дробления — один раз в неделю. Часовая производительность дробилок определяется технологами один раз в смену, мельниц — технологами один раз в час и работниками ОТК один раз в сутки.

Производительность дробильных отделений определяется один раз в сутки работниками ОТК по данным весового учета с проверкой массы руды на начало и конец суток в бункерах фабрики и на отвале руды. Циркулирующая нагрузка мельниц — один раз в квартал исследовательской лабораторией фабрики.

Содержание твердого в продуктах измельчения определяют один раз в месяц в исследовательской лаборатории, а технолог фабрики — каждый час по показаниям автоматических плотномеров и путем ручного опробования отдельных точек. Крупность слива классификаторов и гидроциклонов работник ОТК определяет ежемесячно, содержание твердого в сливе сгустителей — один раз в неделю, влажность отфильтрованного концентрата — ежемесячно.

Работники ОТК определяют качество концентратов перед сгущением, хвостов свинцовой, баритовой, цинковой флотации через каждые 20 мин, качество отфильтрованных концентратов — от каждого вагона; содержание Pb, Zn, Ca — в руде и хвостах ежемесячно через каждые 20 мин. Содержание твердого в разгрузке сгустителей определяют технологи фабрики по мере необходимости.

Пробы от продуктов обогащения на обогатительных фабриках отбирают автоматическим пробоотборником типа АП, в случае отказа пробоотборника — ручным способом. При ручном отборе проб пульпы используется кружка вместимостью 1 л со щелевидным носиком шириной не менее трехкратного размера максимального куска опробуемого материала.

Точечные пробы отбирают на перепаде потока и добиваются постепенного заполнения кружки через щелевидный носик при равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине.

Ручной отбор пульп, находящихся в различных емкостях (сгустителях, чанах, отстойниках), производится методом вычерпывания специальными пробниками-желонками.

При отборе проб вручную масса точечной пробы в зависимости от размера максимальной частицы 1; 10; 50 мм должна составлять соответственно не менее 0,1; 1 и 2 кг. Все отобранные автоматическим пробоотборником пробы поступают в блок отправки. При помощи воздуха под давлением 0,4—0,6 МПа проба доставляется в блок подготовки проб, где установлен формирователь проб, который делит всю пульпу на 12 потоков, из них шесть идет на накопление проб ОТК, остальные — на экспресс-анализ. Усредненная проба после делителя поступает на вакуум-воронку, оборудованную сеткой, на которую укладывается в два слоя фильтровальная бумага. В течение смены жидкая фаза удаляется, а твердая накапливается. В конце смены накопленная проба переносится на поддон, в котором имеются надпись, дата, номер смены, наименование продукта.

Содержание влаги определяют в руде из двух параллельных навесок, в концентратах — из трех.

За окончательный результат анализа принимают среднее арифметическое значение.

Высушенную до постоянной массы пробу вынимают из печи и охлаждают, затем переносят на клеенку, легким перекачиванием каталки по поверхности разрушают комки, образовавшиеся во время сушки.

Для крупнозернистого материала применяют метод конуса с квартованием для сокращения пробы. На мелкозернистом материале применяют метод квадратования.

Отобранную пробу массой 400 г перемешивают путем трехкратного перекачивания на клеенке, делят на четыре части, две противоположные части массой 200 г засыпают в пакет (дубликат пробы).

Пробу массой 200 г перемешивают, сокращают, просеивают через сито. Плюсовой класс истирают до 0,1 мм, затем перемешивают и засыпают в пакет, предназначенный для отправки в лабораторию, а дубликат пробы в хронологическом порядке складывают в архивном помещении.

Ситовой анализ проводят вручную мокрым способом. Навеску массой 100 г помещают на сито и отмывают мелочь слабой струей воды до тех пор, пока промывочная вода не станет прозрачной. Надрешетный продукт высушивают, взвешивают и по разности масс исходной навески и надрешетного продукта определяют массу отмытой мелочи. Высушенный надрешетный продукт просеивают через те же сита для контроля.

Всю готовую продукцию при отгрузке потребителю взвешивают на 150-тонных железнодорожных весах. Нагруженный вагон взвешивают при полной его остановке.

По окончании смены подсчитывают число взвешенных вагонов и массу отгруженного продукта.

Масса груза  $M$  в вагоне определяется по формуле

$$M = M_б - M_в - M_к - M_д,$$

где  $M_б$  — брутто (общая масса вагона);  $M_в$  — масса тары вагона;  $M_к$  — масса контейнеров;  $M_д$  — масса досок прокладки.

Ачисайский полиметаллический комбинат выпускает свинцовый концентрат шести марок КС3, КС4, КС5, КС6, КС7, ППС и цинковый концентрат пяти марок КЦ2, КЦ3, КЦ4, КЦ5, КЦ6.

Массовая доля влаги в свинцовом концентрате должна быть не более 19—20 %, в цинковом концентрате — не более 18 %.

Качество готовых свинцовых и цинковых концентратов контролируют с момента погрузки со склада готовой продукции в ж.-д. вагоны.

Концентраты предъявляют к приемке ОТК партиями. Партия должна состоять из продукта одной марки, одновременно отправляемого в один адрес и сопровождаемого одним документом о качестве. Пробы отбирают вручную совком с высотой бортов 30 мм, шириной 40 мм, длиной 70 мм. При погрузке концентратов потребителю в контейнеры число точечных проб от каждого контейнера принимают равным 3 исходя из определенных данных:

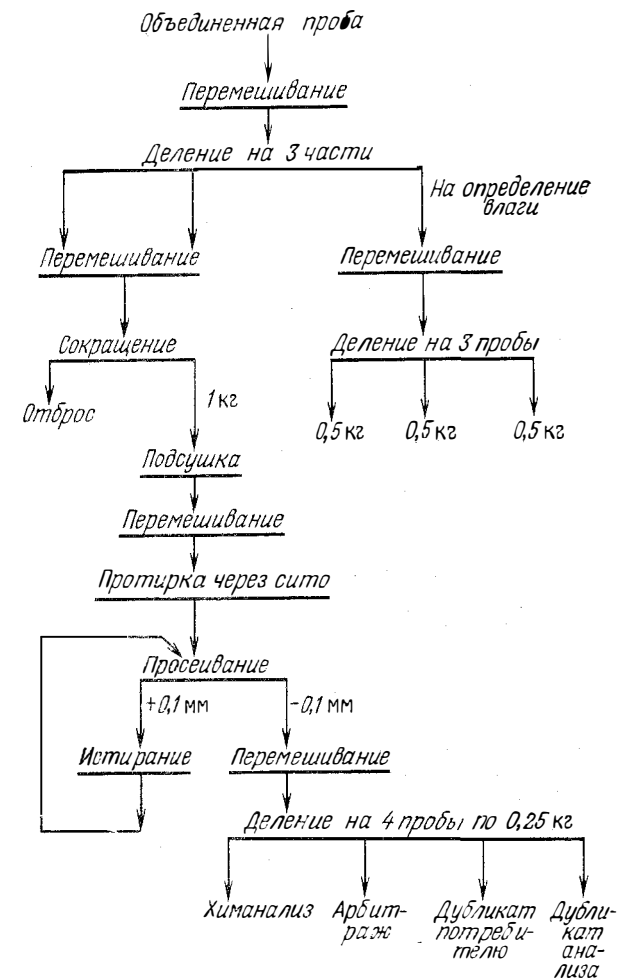
Масса:		
контейнера, т	.....	4,5
точечной пробы, кг	.....	0,1
Размер максимального куска, мм	.....	1
Коэффициент вариации массовой доли металлов в концентрате, %	.....	5

Примечание. Допустимое отклонение массы контейнера составляет  $\pm 10$  %, массы точечной пробы  $\pm 20$  %.

В один ж.-д. вагон грузится 15 контейнеров, следовательно, число точечных проб на партию равно 45.

Объединенную пробу (рис. 90) массой 4,5 кг переносят в проборазделочное помещение, перемешивают и делят на три пробы массой 1,5 кг.

Рис. 90. Схема подготовки пробы концентрата на Кентауской фабрике



Деление производят на сухой, чистой клеенке методом квадратования, пробу тщательно перемешивают. Одну пробу передают на определение массовой доли влаги.

Назначение проб: для лаборатории; арбитражная; дубликат потребителю; дубликат для производства химического анализа.

Пробы в лабораторию для химического анализа доставляют один раз в сутки с 7 ч до 7 ч 45 мин местного времени.

Арбитражную и дубликатную пробы для контрольного химического анализа переносят в пробохранилище, где хранят в течение 3 мес.

Дубликат потребителю отправляют в течение 5 сут со дня отгрузки свинцового концентрата и в течение 10 сут со дня отгрузки цинкового концентрата.

Пробы слива сгустителей отбирают ежедекадно (по мере необходимости посменно). Точечную пробу отбирают по диаметру сгустителя через каждые 3 м. Проба накапливается в течение смены, измеряется объем пробы в литрах. На ведре ставят надпись — дату, смену, наименование продукта. После отстаивания в течение смены отсифонивают осветленную воду, твердую массу пробы ставят в сушильный шкаф для сушки до постоянной массы.

*Опробование барита сухого при загрузке в крытые вагоны и цистерны.* Механизированный отбор проб производится в процессе загрузки крытых вагонов при помощи пробоотборника местного изготовления. При загрузке вагона или цистерны отбирают три точечные пробы. Первая проба отбирается при загрузке около 20 т, вторая — при загрузке около 40 т, третья — по окончании загрузки.

Отобранную пробу перемешивают и сокращают методом квадратования. От пробы отбирают три параллельные навески на определение массовой доли влаги. Для этого приготовленную навеску помещают ровным слоем в предварительно высушенный до постоянной массы противень и взвешивают.

Противень с навеской 50 г помещают в сушильный шкаф, нагретый до температуры 105—110 °С, и выдерживают в течение 2 ч, перемешивая через 1 ч. По истечении 2 ч противень с навеской вынимают из сушильного шкафа, взвешивают в горячем состоянии и повторяют высушивание до постоянной массы. Каждое последующее взвешивание производят после высушивания в течение 1 ч. Масса считается постоянной, если разность результатов двух последующих взвешиваний не превышает 0,05 % массы анализируемой навески.

На КООФ в экспресс-лаборатории для определения качества свинцового, цинкового, баритового концентратов, а также сливов классификатора, мельниц и хвостов свинцово-цинковой и баритовой флотации используют приборы РРК-2, КВАНТ-С, СРМ-18, СРМ-13. Расходы сернистого натрия и ксантогената определяют на анализаторе «Доза». В экспресс-лаборатории также определяют рН пульпы и концентрацию реагентов.

В функцию обеспечения информацией руководства фабрики и технологического персонала входят сбор, обработка и представление информации:

- о состоянии сырья, продуктов и промпродуктов обогащения;
- о технологических параметрах обогащения и их отклонений от уставок;

- о состоянии основных агрегатов (конвейеров, дробилок, мельниц и т. д.);

функция прогнозирования и оптимизации технологического процесса реализуется на основе расчета формализованных математических моделей процесса. Рассчитанные управляющие воздействия поступают на локальные системы автоматического регулирования.

Функция технико-экономического анализа является завершающей, и в ее состав входит анализ итогов работы технологических бригад, участков, отделений и фабрики в целом за смену, сутки, месяц. В комплекс рассчитываемых и анализируемых показателей входят переработка руды, балансы руд и металлов, массы и качество полученных концентратов, расходы реагентов, воды, электроэнергии и их стоимость, учет использования оборудования и т. п.

Для качественной характеристики добываемой руды по отдельным эксплуатационным блокам, участкам, горизонтам, за смену, сутки и т. п. наиболее целесообразно проводить опробование рудной массы по вагонеткам. Организация такого опробования в каждом эксплуатационном блоке — мероприятие довольно сложное и дорогостоящее, но нередко неизбежное, так как без этого нельзя наладить систематический учет потерь и разубоживание.

Опробовать руду в вагонетке лучше непосредственно у рудоспусков эксплуатационных блоков. Результаты такого опробования весьма достоверны. Явление сегрегации, или обособление мелкой фракции руды от крупной, почти исключено. При движении вагонеток по капитальным откаточным выработкам соотношение и пространственное взаимоположение мелкой и крупной фракции рудной массы нарушаются. Мелкая фракция (часто наиболее богатая) просыпается на дно вагонетки, в результате содержание полезных компонентов в поверхностном слое несколько снижается.

Пробу из вагонетки берут горстевым способом. Порции руды, из которых составляют пробы, отбирают специальным совком из трех или пяти точек (по «конверту»). Если в месте взятия порции в вагонетке попадают крупные обломки руды, то от них молотком отбивают мелкие кусочки по линии вкрест видимой в обломке полосчатости. Масса порции руды с равномерным содержанием компонента не должна превышать 0,5 кг, а с неравномерным — не более 1 кг. Общая масса пробы, отбираемая для одной вагонетки, колеблется от 1,5 до 5 кг.

Результаты анализа, выполненного в любой лаборатории, всегда содержат ту или иную погрешность, которая может быть допустимой или неприемлемой.

Допустимые средние случайные относительные погрешности химических анализов для медных руд составляют 10—15 % для массовой доли 0,05—0,5 %, 7—10 % — для 0,5—3 % и 3—7 % — для массовой доли меди более 3 %.

Качество работы химической лаборатории систематически проверяется путем внутреннего и внешнего контроля. Внутренний контроль проводят в той же лаборатории, в которой выполняют основные анализы рядовых проб. Этот контроль состоит в том, что лаборатория выполняет анализы нескольких дубликатных проб. Цель внутреннего контроля заключается в выявлении и устранении недопустимых случайных погрешностей рядовых анализов, вызванных неудовлетворительной работой лаборатории.

Цель внешнего контроля — вскрытие и устранение возможных систематических погрешностей в работе основной лаборатории. Отобранные для внешнего контроля пробы передают в квалифицированную химическую лабораторию. Материал для внешних контрольных анализов отбирают из остатков пробы, хранящейся в основной лаборатории. Из дубликатных проб материал не набирают, так как в этом случае на погрешности анализа накладываются погрешности обработки проб.

После получения анализов внешнего контроля составляется сравнительная ведомость по установленной форме. Явное преобладание отклонений одного знака указывает на наличие систематической погрешности в работе основной лаборатории. Если число контрольных анализов по каждому классу составляет не менее 30, то можно установить поправочный коэффициент внешнего контроля  $k_a$ . Он определяется из отношения средней массовой доли данного компонента по контрольным анализам  $\bar{\alpha}_k$  к средней массовой доле по основным анализам  $\bar{\alpha}_o$ :

$$k_a = \bar{\alpha}_k / \bar{\alpha}_o.$$

Применение поправочного коэффициента допускается только в том случае, если эти же контрольные анализы подтверждены третьей, наиболее квалифицированной арбитражной лабораторией.

Внешний контроль также производится по групповым пробам. Последние подбирают из 10—30 индивидуальных проб по естественным типам руд и установленным классам содержания полезного компонента в руде.

Работа химической лаборатории контролируется с помощью эталонных проб. Такие эталоны заранее изготавливают и анализируют в квалифицированной лаборатории, и содержание в них того или иного компонента считается истинным.

На редкометалльной обогатительной фабрике, обогащающей пироксеновые руды, черновые концентраты, получаемые на фабрике, служат сырьем для доводочной фабрики ниобиевого концентрата, хвосты гравитационного отделения и нефелин служат сырьем для получения полевошпатового концентрата.

Пробы для определения влаги в руде отбирает работник ОТК вручную с конвейерной ленты перед предварительным грохочением в измельчительном отделении. Отбор проб ведется через каждые 2 ч, создается объединенная проба за смену, по которой и определяется содержание влаги в руде.

Отбор проб для химического анализа, экспресс-анализа (проводятся параллельно), а также проб для ситового анализа и проб для определения минерального состава руд по классам крупности производится автоматически пробоотбирателем АП-1. Проба для определения содержания пятиоксида ниобия химическим анализом обрабатывается в проборазделочной ОТК, проба для экспресс-анализа обрабатывается на фабрике лаборантом рентгенорадиометрического анализа. При подготовке сменных проб пропорцио-

нально переработке создается объединенная проба за декаду для ситового анализа и определения минерального состава руд.

Отбор проб для определения влажности черновых концентратов производится работником ОТК вручную из потока концентрата из сушильного барабана, отбор проб ведется через каждые 2 ч, создается объединенная проба за смену, по которой определяется содержание влаги в черновом концентрате.

Отбор проб для химического анализа, экспресс-анализа, а также для определения содержания легкой фракции (полевого шпата) в концентрате и проб для определения минералогического состава черновых концентратов по классам крупности производится автоматическим пробоотборником АП-1, который установлен на потоке высушенного чернового концентрата. При подготовке сменных проб (пропорционально их массе) из их дубликатных проб выделяют пробу для определения массовой доли легкой фракции (сменную) и объединенную за декаду, месяц для определения минерального состава черновых концентратов по классам крупности. Эти пробы изучают в научно-исследовательской лаборатории. Пробы отвальных хвостов гравитационного отделения для ситового анализа, химического анализа и экспресс-анализа отбирают автоматическим пробоотборником АП-1, который установлен на потоке пульпы отвальных хвостов из общей хвостовой магистрали гравитационного отделения в песковые насосы, перекачивающие хвосты на шпатовое отделение фабрики. Пробы отвальных хвостов для ситового и химического анализов полностью сдают в ОТК. В проборазделочной ОТК половина пробы измельчается в вибрационных истирателях до крупности — 0,063 мм и сдается на химический анализ, половина пробы в виде объединенной пробы за сутки подвергается ситовому анализу для определения крупности отвальных хвостов. Проба для экспресс-анализа (отбирается параллельно тем же пробоотборником АП-1) обрабатывается и анализируется лаборантом.

Всю руду, подаваемую с шахты на фабрику, взвешивают на 30-тонных автомобильных весах. Согласно паспортной характеристике весов, погрешность при взвешивании не должна превышать: при массе груза от 5 до 20 т  $\pm 1,5$  деления шкалы ( $\pm 15$  кг); при массе от 20 до 30 т  $\pm 2$  деления шкалы ( $\pm 20$  кг).

Переработка руды по обогатительной фабрике определяется суммированием массы руды, поданной за отчетный период времени, с остатками руды на начало отчетного периода за минусом остатков руды на конец отчетного периода:

$$M = (M_1 + M_2) - M_3,$$

где  $M_1$  — масса принятой руды, т;  $M_2$ ,  $M_3$  — остатки руды соответственно на начало и конец отчетного периода, т.

Переработанной считается руда, поступившая в мельницу.

Товарный баланс металла составляется по сухой массе руды, черновых концентратов и отвальных хвостов. Влажность руды определяется ежемесячно.

Товарные балансы по обогатительной фабрике составляют за смену, сутки, декаду, месяц, а также с нарастающим итогом с начала года (в том числе и поквартально). Основой для суточных, декадных и месячных балансов служат сменные товарные балансы, которые составляют по данным весового учета массы переработанной руды, выпускаемых черновых концентратов, отвальных хвостов, металла в них по данным химических анализов сменных проб, отбираемых автоматическими пробоотбирателями или вручную службой ОТК рудоуправления.

Содержание металла в переработанной руде и продуктах обогащения определяется умножением их массы в тоннах на массовую долю металла в процентах и делением произведения на 100.

Товарное извлечение металла определяется делением массы металла в черновом концентрате  $M_k$  на массу металла в переработанной руде  $M_p$  за отчетный период времени и умножением частного на 100.

Масса металла в переработанной руде и продуктах обогащения за сутки с начала месяца определяется путем суммирования данных ежесменного учета нарастающим итогом. Замена средней взвешенной массовой доли металла в руде и продуктах обогащения результатами анализов среднемесячных проб не допускается.

Незавершенным производством на обогатительной фабрике является только руда в приемном и промежуточном бункерах. Черновые концентраты, выпущенные в отчетном месяце, но по какой-либо причине не вывезенные на доводочную фабрику, засчитываются фабрике в товарную продукцию. Масса несданных концентратов определяется службой ОТК путем взвешивания, отбора проб на химический анализ, влагу, для подсчета массы металла в них.

Снятие остатков руды на конец отчетного месяца производится маркшейдерским измерением. Результаты записывают в журнал незавершенного производства в ОТК за подписью маркшейдера, производившего снятие данных остатков руды. Остатки невывезенных концентратов на конец отчетного месяца, оприходованных в выпуск фабрике, оформляют актом за подписью начальника (мастера) ОТК и главного инженера фабрики.

В случае минусовой или плюсовой невязки месячного товарного баланса до 5 % баланс по металлу корректируют по отвальным хвостам. При невязке товарного баланса свыше 5 % главным инженером рудоуправления назначается комиссия для проверки правильности определения исходных данных по составлению товарного баланса металла к выявлению других причин. По решению комиссии корректируется баланс металла и разрабатываются мероприятия по устранению имеющихся причин.

Товарный баланс металла за год составляется по данным месячных товарных балансов в следующем порядке: остатки руды на первое число текущего отчетного года, зафиксированные в ба-

лансе руды на начало января месяца, повторяются в каждом балансе с начала года без изменения; переработка руды фиксируется нарастающим итогом по месячным балансам; остатки руды на первое число наступающего периода записываются в том количестве, в каком они определены на конец отчетного месяца; черновые концентраты, учтенные и неучтенные механические потери хвосты и металлы в них фиксируются нарастающим итогом по данным месячных балансов металла.

Товарное извлечение металла в черновой концентрат с начала года определяется делением массы металла в черновом концентрате, выпущенном с начала года, на массу металла в переработанной руде за этот же период времени. Показатель товарного извлечения с начала года независимо от соответствия или несоответствия технологическому извлечению корректировке не подлежит.

Товарный баланс металла подписывается начальником или главным инженером фабрики, начальником ОТК и утверждается главным инженером рудоуправления.

Технологическое извлечение металла определяется путем вычитания металла в хвостах и в полевом шпате из металла в руде, полученный металл делится на металл в руде и частное от деления умножается на 100.

## 87. СИСТЕМА ОПРОБОВАНИЯ НА ПРИИСКЕ

Вскрытие россыпей и разработка песков сопровождаются эксплуатационным опробованием и в необходимых случаях геофизическими наблюдениями для обеспечения рациональной и максимально полной добычи полезного компонента. В зависимости от вида горных работ целевое назначение опробования определяется технологическими циклами отработки месторождений — выемкой шурфов и подготовкой песков к промывке, выемкой песков и активированием отработанной россыпи. В соответствии с целевым назначением опробование подразделяется на оперативное, систематическое, контрольное и специальное. Условия и цели опробования, связанные с технологическими циклами горно-эксплуатационных работ, определяют назначение проб, их число, форму и размер выработок, технические средства отбора и обработки проб. В результате эксплуатационного опробования месторождения проводят оперативный учет и подсчет запасов, в которых используют данные систематического, контрольного, а иногда и специального опробования.

Оперативное опробование сопровождает выемку торфов, песков, подготовку последних к промывке, устанавливая факт наличия или отсутствия металла в целях контроля за разубоживанием песков и потерями металла. Результаты оперативного опробования служат основанием для систематического и специального опробования. Опробование проводят в различных местах полотнополигона, горно-подготовительных выработках, водоотводных ка-

навах, в полотно траншей для транспортировки торфов, зумпфах, отвалах (торфяных, эфельных, галечных). Оперативным опробованием определяют наличие металла в отдельных литологических разностях. Пробы отбирают из лунок сечением  $0,4 \times 0,5$  м и глубиной 0,2 м, а также вычерпыванием породы из ковша экскаватора, из-под ножа бульдозера. Пробы отбирают по указанию работников геологической службы или горного надзора прииска. Объем пробы в точке для россыпи первой группы составляет 0,01—0,02 м<sup>3</sup>, для второй — 0,02 м<sup>3</sup>, для третьей — 0,02—0,04 м<sup>3</sup>. Пробы отбирают вручную и обрабатывают на лотке. Результаты оперативного опробования фиксируют в полевой книжке.

Систематическое опробование составляет основной объем эксплуатационного опробования и проводится при выемке торфов, подготовке песков (торфов) к промывке, активации отработанной россыпи. С его помощью уточняют промышленные контуры россыпи, получают дополнительные сведения о распределении металла, устанавливают верхнюю и нижнюю границы пласта песков. Опробование проводится шламовым, бороздовым и задирковым методами. Данные опробования служат основой для корректировки уровня выемки торфов буровзрывным способом, для оформления актов на промывку песков и активирование полигонов, обоснованием для расширения и удлинения россыпи за счет площади, примыкающей к отработке, а также для проектирования дополнительных выработок эксплуатационной разведки.

Основными выработками для производства систематического опробования являются скважины вибровращательного или шарошечного бурения, борозды задиры.

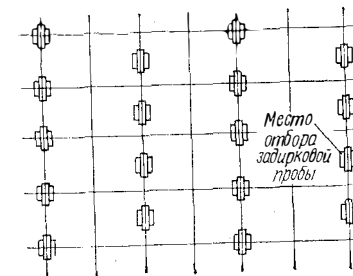
Скважину вибровращательного или шарошечного бурения проводят с продувкой сжатым воздухом. Она предназначена, как правило, для взрывных работ. Диаметр скважины 105—250 мм, проходят их в основном по торфам, иногда до коренных пород в целях опробования.

Борозда — основная выработка при опробовании бортов открытых разрезов. Ширина борозды составляет 1 м, длина (высота) определяется мощностью пласта песков, включая 1—2 пустые «проходки» в верхней и нижней частях пласта, глубина борозды 0,1—0,3 м, интервал опробования («проходка») 0,2 м.

Задирка — отбор горной массы с относительно большой площади опробования сравнительно ровным маломощным слоем. Глубина задиры (слоя опробования) составляет от 0,1 до 0,3 м, в среднем 0,2 м. Размер площади определяется объемом пробы. Задирковые пробы могут быть мало-, средне- и крупнообъемными, объем которых соответственно составляет 0,06; 1 и 20 м<sup>3</sup> и более.

Малообъемные задирковые пробы отбираются с площади  $0,6 \times 0,5$  или  $0,3 \times 1$  м; среднеобъемные — с площади  $3,5 \times 1,5$  или  $2,5 \times 2$  м; крупнообъемные — с площади  $3,5 \times 30$  или  $7 \times 15$  м. Объем пробы и сеть опробования выбирают в зависимости от группы россыпи, при этом расстояние между пробами измеряют от геометрического центра площади отбора (рис. 91).

Рис. 91. Схема отбора малообъемных задирковых проб



Контрольное опробование проводят в целях проверки запасов металла в песках, подготавливаемых к разработке. Опробование необходимо на площадях, затронутых вскрытием, в случае резких колебаний средних содержаний металла и мощности пласта (по разведочным данным), а также недостаточной достоверности, установленной по результатам отработки прилегающих участков россыпи или обусловленной недостаточной деятельностью разведки. Опробование проводят ядерным, шламовым, копушным методами.

Специальным опробованием уточняют гранулометрический состав рыхлых отложений и полезного компонента, коэффициент разрыхления и физическое состояние грунта, массу металла в добываемых песках при крайне неравномерном его распределении. Опробование проводят валовым методом.

Валовую пробу отбирают в целях контроля других способов опробования, а также для технологических и технических испытаний. Проба характеризуется большим объемом по сравнению с рядовой пробой (например, с пробой из «проходки»), объем может быть от нескольких ведер до сотен кубических метров. Валовая проба в точке опробования (из траншей, шурфа, копуши, борозды, шурфоскважины и т. д.) отбирается по всей мощности опробуемой залежи — металлоносного пласта, литологического горизонта и пр. Она может характеризовать изучаемую толщу не только по сечению, но и в плане. В этом случае валовая проба образуется путем объединения равновеликих объемов из равномерно расположенных однородных выработок в пределах изучаемого участка.

Специальному опробованию подвергают встречающиеся при отработке рудопроявления — кварцевые жилы, зоны минерализованных и гидротермально измененных пород, дайки магматических пород и пр. Пробы отбирают бороздовым, задирковым и штупным методами.

Выемка торфов сопровождается оперативным систематическим и контрольным опробованием, а также геофизическими исследованиями.

Систематическое опробование выполняют в случае выемки торфов с помощью буровзрывных работ и проводят шламовым методом. Шламовое опробование буровзрывных скважин проводят по всей мощности металлоносного пласта. Пробы отбирают с интер-

валом 0,4 м. Объем пробы рассчитывают согласно диаметру скважины. Сеть опробования скважин вибровращательного бурения (диаметр 105—130 мм) для I группы россыпей составляет  $40 \times 20$  м, для II —  $20 \times 20$  м, для III —  $20 \times 10$  м. Сеть опробования скважин шарошечного бурения (диаметр 250 мм) для I группы россыпей составляет  $60 \times 30$  м, для II —  $40 \times 30$  м, для III —  $20 \times 20$  м.

Контрольное опробование скважинами ударно-канатного бурения с отбором керна или шлама проводят по сетке: для I группы россыпей  $20 \times (10 \div 20)$  м, для II —  $(10 \div 20) \times 10$  м.

Шурфоскважины на россыпях II группы проходят по сетке  $50 \times 20$  м, III группы  $50 \times 10$  м, бурение скважин проводят как на целиковых, так и на затронутых вскрышей площадях. Пробы в зимнее время обрабатывают в специально оборудованных помещениях, в летнее время — на месте производства буровых работ.

Контрольное опробование копушами проводят тогда, когда остаточная мощность торфов не превышает 2 м. Сеть опробования для россыпей II группы —  $50 \times 20$  м, III —  $50 \times 10$  м. По металлоносному пласту в промывку поступает вся порода с интервала опробования.

Геофизические исследования проводят методом электромагнитного профилирования. Густоту сети наблюдений выбирают в зависимости от глубины залегания россыпи. Пикеты по профилям располагают поперек россыпи. Для повышения точности наблюдений расстояние между пикетами уменьшают в 2 раза по сравнению с профилями.

*Опробование при подготовке песков к промывке.* Подготовка песков к промывке сопровождается оперативным систематическим и в необходимых случаях специальным опробованием.

Систематическое опробование задирковым методом проводят для определения верхней границы промышленного пласта с учетом определения оконтуривающего слоя — «рубашки», предохраняющей пласт песков от разработки в процессе вскрышных работ. Предохранительная «рубашка» устанавливается послонным опробованием, и при этом определяется среднее содержание металла по всем пробам, экономически выгодное для добычи, исходя из технико-экономических условий разработки россыпи или ее участка — мощности торфов и песков, содержания металла в промышленном пласте, производительности землеройной техники и обогатительной установки, способа вскрытия россыпи, плановых цен металла и т. д. Во всех случаях средняя мощность «рубашки» должна быть не менее 0,2 м.

Задирковые пробы отбирают от россыпей I группы объемом  $0,06 \text{ м}^3$  по сетке  $20 \times (10 \div 20)$  м, II группы — объемом  $1 \text{ м}^3$  по сетке  $(20 \div 30) \times (10 \div 20)$  м, III группы объемом  $20 \text{ м}^3$  по сетке  $50 \times (20 \div 30)$  м.

Допускается определение верхней границы пласта песков для россыпей III группы путем объединения крупнообъемных ( $20 \text{ м}^3$ ) задирковых проб из траншей, расположенных поперек или диа-

гонально к длине полигона. При этом объем объединенных проб обычно составляет  $100\text{—}150 \text{ м}^3$ . Траншеи (три-четыре) располагают равномерно по площади полигона.

Специальное опробование проводят в необходимых случаях, применяя в основном валовый метод. Объем проб составляет от  $0,5$  до  $5 \text{ м}^3$ , чаще  $1\text{—}2,5 \text{ м}^3$ , однако при необходимости он может составлять до десятков, а иногда и сотен кубических метров (рис. 92).

*Опробование при активировании отработанной россыпи.* Активирование отработанной россыпи сопровождается систематическим, иногда специальным опробованием с применением при необходимости геофизических методов (исследования рудопроявлений). Опробованию обязательно предшествует зачистка оставшихся песков на плотике россыпи. По данным систематического и в необходимых случаях специального опробования составляется акт.

Систематическое опробование проводят задирковым и бороздовым методами. Задирковыми пробами определяют нижнюю границу пласта, бороздовыми — характеризуют борта отработанных полигонов.

Задирковые пробы при активировании отбирают, как правило, бульдозером с рыхлителем. При этом необходимо строго следить, чтобы опробуемый участок был обезвожен. На тех участках площади полигона, где опробованием обнаружено содержание металла выше установленного для нижней границы пласта песков, проводят зачистку и повторное опробование для проверки полноты отработки.

Бороздовые пробы по бортам полигона для россыпей I группы отбирают через 20 м, II группы — через 10 м, объем пробы с интервала («проходка») —  $0,02\text{—}0,04 \text{ м}^3$ . Для россыпей III группы объем пробы с интервала составляет  $0,04\text{—}0,06 \text{ м}^3$ , расстояние между бороздами 10 м.

Окончательно отработанной считается такая площадь, на которой в результате систематического задиркового опробования среднее арифметическое содержание металла не превышает предела, установленного лимитами или расчетами предприятия для нижней границы класса песков.

Документацию эксплуатационного опробования ведут при всех видах и методах опробования (полевые книжки, журналы и планы опробования, зарисовки бороздовых проб и плотика на отработанной площади, литологические разрезы).

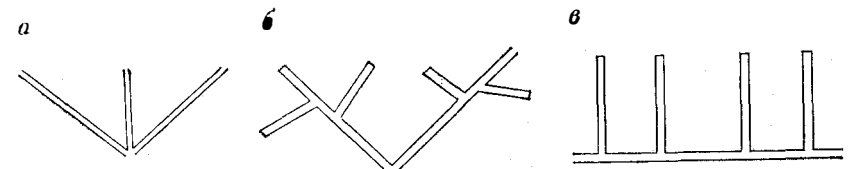


Рис. 92. Схемы отбора крупнообъемных валовых проб траншеями разных видов: а — радиальными; б — радиальными разветвленными; в — параллельными

Оперативное опробование фиксируют только в полевой книжке, где отмечают дату опробования, место взятия пробы, ее объем и номер, литологию пород и результат промывки. Намытый металл капсулируют по каждой пробе. На капсуле отмечают дату опробования, место и способ отбора пробы, номер и объем, результат опробования: «зол» — золото, «зн» — знаки, «пс» — пусто.

При систематическом опробовании документируют выработки, подлежащие опробованию, скважины вибровращательного или шарошечного бурения, борозды, задиры. Первичная документация ведется в полевой книжке. Результат обработки проб заносят в промывочный журнал. Окончательные результаты отражают в каталогах проб, на планах опробования в масштабе 1:1000, в литологических разрезах, актах на изменение промышленного контура и активировки отработанной россыпи.

Золото, намытое в результате контрольного, специального и систематического бороздового опробования с малоизученных участков россыпи, а также добытое на них при эксплуатации, в обязательном порядке должно быть разделено на классы крупности и описано. Результаты описания отражают в карточке ситового анализа.

*Технические средства отбора проб.* Шламовое опробование скважин при бурении станками вибровращательного или шарошечного действия с продувкой сжатым воздухом производится во время выемки торфов буровзрывным способом. Опробованием скважин определяют наличие металла в пробах и, следовательно, ориентировочно устанавливают границу металлоносного пласта. Скважины необходимо опробовать со шламоборником.

Бороздовым методом опробуют борта отработанных полигонов, а также при необходимости и борта уступов. Борозды проходят для определения содержания металла в песках, распределения его по вертикали и горизонтали, а также для установления мощности пласта, полноты отработки и уточнения промышленных контуров россыпи. Пробы отбирают лопатой, кайлом или отбойным молотком.

Задирковыми мало-, средне- и крупнообъемными пробами определяют верхнюю и нижнюю границы промышленного пласта песков. Отбирают их вручную, бульдозером или скрепером.

Основными выработками для производства контрольного опробования являются скважины и шурфоскважины ударно-канатного бурения, копуши.

Скважина ударно-канатного бурения проходит станками БУ-20-2УШ, УКС-22, БУ-30. Диаметр бурения в среднем 200 мм, а для отбора проб применяют желонки с высокой извлекающей способностью и забивные пробоотборники для получения керна.

Шурфоскважина — скважина диаметром более 500 мм. Проходят ее станками УКС-30, БУ-30. Для отбора проб применяют желонки с шаровым клапаном.

Копуш — неглубокая вертикальная выработка сечением  $0,8 \times$

$\times 1$  м, проходима на всю мощность металлоносного пласта с целью получения полной его характеристики. В случае механической проходки копуша с помощью шурфопроходческого комплекса (КМШП-20) диаметр его составляет 1 м.

*Схема обработки проб.* Пробы можно обрабатывать на малогабаритных промывочных установках типа РОП-2, ПРБ-2-6, ПМБ-1-6, ПОУ-4м или УППГ, предназначенных для промывки разведочных проб золотоносных песков. При отсутствии таких установок пробу обрабатывают ручным способом. При этом в первую очередь ее подвергают грохочению в специальных баках со съемными решетками. Материал пробы промывают на решетке в водяной ванне, отделяя крупную (более 10 мм) фракцию. После просмотра ее сбрасывают в отвал. Мелкую (мельче 10 мм) фракцию подвергают обогащению, тщательно промывают на ручном лотке до черного шлиха. Полученные при промывке на лотке шлихи сушат, капсулируют и маркируют (указывая номер прибора, наименование и объем пробы и дату опробования). Затем шлихи подвергают камеральной обработке — отделению шлихового золота и взвешиванию его на аналитических весах. Фракцию мельче 10 мм, отсеянную из эфельных проб, обогащают на проходпушке, установленной с уклоном 0,10 при расходе воды 10—12 л/с. Проходпушку армируют трафаретами высотой 15—20 мм и резиновыми ковриками. Концентрат проходпушки в полном объеме тщательно промывают на ручном лотке до серого шлиха массой 1—1,5 кг во избежание потерь мелкого золота. Полученный шлих рассеивают на сите с отверстиями 1 мм. Фракцию мельче 1 мм подвергают амальгамации, крупнее 1 мм промывают на лотке до черного шлиха, который подвергают камеральной обработке, или всю фракцию подвергают непосредственной камеральной обработке. Таким образом определяют массу полученного золота.

В отдельных случаях для доводки шлихов ручного лотка (фракции 1 мм) могут быть использованы центробежный доводочный сепаратор ДЦС-2 и шлюз-грохот с микровашгердом, заменяемые при обработке геологоразведочных проб.

*Анализ проб.* В результате систематического, контрольного, а иногда и специального опробования проводят оперативный учет и подсчет запасов по эксплуатируемому участку месторождения. Сведения о приросте запасов от эксплуатационного опробования — составная часть отчета о приросте запасов по приisku от эксплуатационной разведки.

При расчете средних содержаний золота по пробам из копушей, борозд, задиры учитывают коэффициент разрыхления  $K_p$ , поправки на каменность  $P_k$  и льдистость  $P_l$ . Поправочные коэффициенты определяют опытным путем и вводят в случае измерения объема породы во взрыхленном состоянии мерными емкостями. Коэффициент разрыхления определяют раздельно для талых и мерзлых пород, составляющих пласт песков. Поправки на каменность и льдистость вводят тогда, когда в породе присут-



ствуют обломки крупнее 20 см и содержание льда более 10 % и они не входят в измеренный объем.

В связи с тем что при разработке россыпных месторождений золота имеются расхождения между данными разведки и отработки по мощности торфов и песков, среднему содержанию и массе металла, производится сравнительный анализ данных разведки и эксплуатации. При анализе исследуют результаты эксплуатации на основании маркшейдерского учета отработанных площадей, объемов вскрышных работ (списания торфов), промывки песков, а также сведений о добыче металла по данным планово-экономического отдела или бухгалтерии и о технологических потерях по данным обогатительной службы. При сравнении разведочной мощности пласта песков с эксплуатационной следует учитывать предохранительную «рубашку» (как минимум 0,2 м) и зачистку плотика (0,1 м). В случае анализа площадей, затронутых эксплуатацией, но неактивированных, оставшиеся пески и запас металла в них оценивают по результатам эксплуатационного опробования и суммируют с добытыми в отчетном году.

В результате сравнительного анализа определяют поправочные коэффициенты по мощности торфов  $k_t$ , песков  $k_p$ , среднему содержанию  $k_{с.с}$  и запасу металла  $k_m$ , которые могут использоваться при последующем подсчете запасов и проектировании горно-эксплуатационных работ.

## 88. ОПРОБОВАНИЕ НА УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Для определения качества рядовых углей на ЦОФ «Беловская» организован контрольно-опробовательный пункт (КОП). Для выполнения возложенных на КОП задач он оборудован ж.-д. весами для взвешивания рядового угля, автоматическим пробоотбирателем в комплексе с проборазделочными машинами для подготовки проб и имеет помещение для обслуживающего персонала с необходимым инвентарем для подготовки и хранения проб. Железнодорожная накладная — основание для определения грузоотправителя — после опробования угля передается на фабрику.

О поступлении рядового угля от шахты-поставщика контролер углеприема сообщает оператору вагоноопрокидывателя, который включает световое табло соответствующей шахты, табло загорается на рабочем месте пробоотборщика и у мастера.

Перед аккумулярующими бункерами установлены пробоотбиратели типа ПК-3М и проборазделочные машины типа МПЛ-150 для подготовки лабораторных проб.

Объединенные пробы после накопления в течение 12 ч сокращают, делят на требуемое число экземпляров лабораторной пробы. Заполняют расчетные удостоверения в соответствии с ГОСТом и отправляют в химическую лабораторию на анализ.

Задачи коллектива КОП — соблюдение действующих ГОСТов и положений по отбору и подготовке проб, определению количества и качеству угля; предотвращение смешивания угля разных

шахт при транспортировке, отборе и подготовке проб; контроль за исправностью пробоотборочных и проборазделочных механизмов и контрольно-измерительных приборов; соблюдение правил упаковки и хранения лабораторных, арбитражных проб в соответствии с ГОСТами, своевременное оформление документации по отбору и подготовке товарных проб для лабораторных испытаний.

Пробы отбирают от каждой партии топлива одной марки, группы, класса по размеру кусков, предусмотренных стандартами или техническими условиями. Допускается отбирать одну пробу от массы топлива до 300 т, направляемого нескольким потребителям.

Пробу отбирают от потока топлива в местах его перепада или с поверхности транспортирующего устройства. Отбор проб должен производиться механизированным способом. Для отбора проб используют пробоотбиратели типа ПК-3М по ГОСТ 14612—69.

На ЦОФ «Беловская» отбор проб проводится согласно ГОСТ 10742—71 методом поперечного сечения перепада потока угля механическим способом.

Пробоотбиратель включается через каждые 5 мин. Отобранный уголь поступает в машины МПЛ-150 для подготовки аналитических проб. Здесь уголь сокращается и дробится до крупности 0—3 мм. Из МПЛ-150 пробы доставляют в ОТК в мешке из прорезиненной ткани. Масса пробы составляет 3 кг.

Машина МПЛ-150 подготавливает пробы следующим образом. Исходный материал крупностью 0—150 мм поступает в бункер питателя. Материал ленточным питателем равномерно со скоростью 9,5—12,4 мм/с подается в молотковую дробилку. Масса подаваемого материала регулируется шибером. В молотковой дробилке исходный материал измельчается до крупности лабораторной пробы 0—3 мм.

Измельченный материал пересыпается через щели колосниковой решетки и направляется в ковшовый сократитель. Часть материала отбирается ковшами сократителя и сбрасывается на конус делителя-сократителя, остальная часть пересыпается в течку, а затем транспортными средствами удаляется в отходы. С конуса делителя-сократителя часть материала ссыпается в три банки, а остальная часть — в отходы. В результате получают три пробы, масса каждой пробы должна быть не менее 0,5 кг. Банки с пробой из делителя-сократителя вынимают.

Пробы концентрата отбирают также в начале ленточного конвейера на погрузке ковшовым пробоотбирателем ПК2-12,5. Пробоотбиратель включается через каждые 10 мин. Отобранный уголь подается в машину для подготовки аналитических проб МПЛ-150, откуда доставляется в ОТК.

Во время неисправности или планового ремонта пробоотбирателя и проборазделочной машины или тогда когда ведется параллельное опробование, пробы отбирают вручную по ГОСТ 10742—71 по 15-точечной системе. В вагоне из лунки глубиной 0,4 м

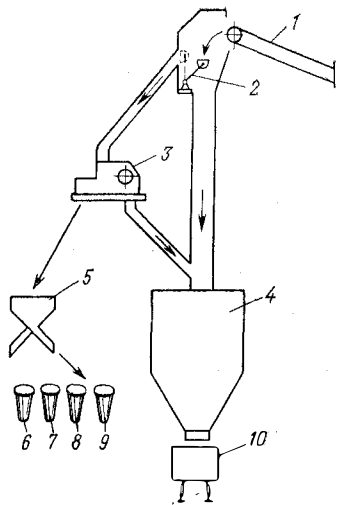


Рис. 93. Схема цепи аппаратов отбора и подготовки пробы угольного концентрата

берется проба массой 1,5 кг для концентрата и 3 кг для промпродукта.

На рис. 93 приведена схема цепи аппаратов отбора пробоотбирателем 2 и обработки проб угольного концентрата. Концентрат с конвейера 1 поступает в бункер 4 и далее в вагон 10. Пробы, поступившие из проборазделочной машины МПЛ-150 3 в специальное помещение ОТК, проходят окончательную обработку. Здесь пробы на делителе 5 сокращают и выделяют пробы массой не менее 0,5 кг каждая в банки 6—9.

Отбор проб ведется в следующем порядке. Маршрут состоит из 33 вагонов. Отбор проб концентрата производится из каждых 10 вагонов. В банку набирают пробу для предварительных лабораторных исследований на зольность. Оставшаяся часть угля хранится в мешке или в ящике.

Предварительный показатель зольности концентрата готов через 40—50 мин. Из химической лаборатории его передают в ОТК.

Если предварительный показатель зольности первой пробы удовлетворяет требованиям технических условий на зольность концентрата, то пробу смешивают с последующими двумя и сокращают на делителе до 2 кг, после чего выделяют необходимое число лабораторных проб массой не менее 0,5 кг каждая.

Если предварительный показатель зольности концентрата находится в пределах от 11,4 до 12,5 %, то берут пробу со второй или с двух последующих партий. При удовлетворительном результате химических анализов эти пробы смешивают, сокращают на делителе и выделяют необходимое число лабораторных проб.

Согласно ГОСТ 1137—64, выделяют четыре банки массой не менее 0,5 кг каждая.

Первая банка — расчетная проба. Направляется в химическую лабораторию для определения содержания золы, влаги, серы и выхода летучих.

Вторая банка направляется в химическую лабораторию для определения пластометрических показателей.

Третья банка — арбитражная проба. Хранится 2 мес в специальном помещении. Если у потребителя возникает сомнения в правильности результата анализа, то он может затребовать эту пробу для анализа в нейтральной лаборатории.

Четвертая банка — потребительская проба. Хранят 1 мес в ОТК и высылают потребителю по его письменному требованию.

Предварительный анализ промпродукта делают один раз в смену. Расчетный анализ — один раз в сутки. Пробы набирают в две банки — расчетную и арбитражную пробы.

На каждый маршрут угля, согласно ГОСТ 1137—64, в течение 24 ч мастер ОТК составляет и высылают потребителю удостоверение о качестве угля.

О всех отклонениях от норм мастер ОТК ставит в известность начальника смены, который, согласно своей должностной инструкции, принимает все меры по наладке технологического режима обогащения. Эта информация поступает через довольно большой промежуток времени (40—50 мин), что является одним из основных недостатков существующего метода контроля за выпускаемой продукцией.

Применение рентгенометрического метода определения зольности при помощи зомеров ЗАР и электронного влагомера ВАК-4 или рентгеновского анализатора зольности и влажности РАМ-1М приводит к улучшению качества выпускаемой продукции и значительному снижению простоя ж.-д. вагонов.

Мастер ОТК заполняет журналы, в которых отражаются все данные о продукции, выпускаемой обогатительной фабрикой.

Полученные лабораторные пробы помещают в банки, предварительно взвешенные с крышками, материалом для опечатывания и двумя этикетками, и снова взвешивают. Взвешивание производят с точностью до 1 г. На этикетках указывают следующие сведения:

массу брутто и тары; наименования пробы, предприятия; вид продукции; марку топлива, класс по размеру кусков; массу партии, от которой отобрана проба; номер пробы и дату ее отбора; обозначение стандарта.

В банку с пробой вкладывают одну из этикеток, другую закрепляют на наружной поверхности банки, после чего банку закрывают и опечатывают. Банки должны быть плотно закрыты, чтобы проба сохраняла свою представительность по содержанию влаги.

Этикетки должны быть подписаны лицом, ответственным за отбор и обработку проб.

Полученные лабораторные пробы направляют: первую — в лабораторию для определения показателей качества топлива; вторую — на хранение в качестве арбитражной в соответствии с ГОСТ 1137—64.

Выделение и набор третьей пробы производят по мере необходимости.

Сопроводительным документом в химическую лабораторию является удостоверение, где записывают порядковый номер, наименование шахты, марку рядового угля, массу арбитражной и лабораторной проб, номера вагонов и массу каждого вагона и по данной зольности и влаге производят взаиморасчет между поставщиком и потребителем (шахта—фабрика).

**Журнал**  
учета продукции, отгруженной в ж.-д. вагоны

Дата	Вид продукции	№ удостоверения	Масса, т	№ ж.-д. вагона	Потребитель ГОСТ	Подпись мастера

**Журнал**  
учета продукции, отгруженной с отступлением от стандартов  
с разрешения Минуглепрома

№ п/п	Дата отгрузки	ГОСТ	Продукты по ОКП		Объем отгруженного угля с разрешения Минуглепрома СССР с начала года по каждому ГОСТу, тыс. т	В том числе по показателям качества, тыс. т					
			Наименование	Код		Ad	Массовая доля				Теплота сгорания
							рабочей влаги	минеральных примесей	мелочи	серы	

**Журнал**  
учета продукции, отгруженной с отступлениями от стандартов  
с разрешения Госстандарта

**Журнал**  
учета продукции, отгруженной с отступлениями от стандартов  
с разрешения других руководящих органов

№ п/п	Дата отгрузки	ГОСТ	Продукт по ОКП		Объем отгрузки угля с разрешения Госстандарта (другого руководящего органа) с начала года по каждому ГОСТу	В том числе по показателям качества, тыс. т					
			Наименование	Код		Ad	Массовая доля				Теплота сгорания
							рабочей влаги	минеральных примесей	мелочи	серы	

**Журнал**  
учета качества угля за месяц

№ п/п	№ удостоверения	Масса, т	Ad, %	W <sub>f</sub> <sup>Г</sup>	V <sup>Г</sup>	x	y	ΣM	ΣMA <sup>d</sup>	ΣMW <sub>t</sub> <sup>Г</sup>	Ad <sup>d</sup> мес	W <sub>t</sub> <sup>Г</sup> мес

Для каждой шахты ведется журнал, где отмечаются номер удостоверения, дата, номер вагонов, их масса.

Также ведется журнал учета всего поступающего рядового угля на фабрику как с начала года, так и с начала месяца, там же отмечается и качество рядового угля, и масса снятой породы, масса брака в год и за каждый месяц.

Технологический баланс составляется на обогатительной фабрике ежемесячно на основе данных о массе и качестве переработанных рядовых углей и продуктов обогащения с учетом остатков в бункерах и других емкостях фабрики. Для получения сравнимых количественных данных необходимо привести влажность всех учитываемых продуктов к влажности рядового угля.

Приведенную массу  $M_{\text{п}}$  (т) определяют по формуле

$$M_{\text{п}} = 0,01 [100 - (W_{\text{ф}} - W_{\text{р}})] M_{\text{ф}},$$

где  $W_{\text{ф}}$  — фактическая влажность продукта, %;  $W_{\text{р}}$  — влажность рядового угля, %;  $M_{\text{ф}}$  — фактическая масса продукта, т.

Технологический баланс дает возможность сравнивать результаты работы коллектива фабрики по сменам.

Товарный баланс составляется за месячный период на основе результатов взвешивания рядовых углей и отгруженной продукции и разности остатков в бункерах в конце предыдущего и отчетного месяцев. Поскольку товарный баланс составляется за более длительный период, чем технологический, он более точен и включает потери, неизбежные при переработке углей. Потери угля имеют место при сбрасывании за пределы фабрики шламовой воды (гидроотвал), из-за распыления части угля при сушке и транспортировке, а также в отвальных продуктах из-за недостаточно высокой эффективности обогащения.

На ЦОФ «Беловская» товарный баланс составляют ежемесячно. На основе полученных данных заполняется справка баланса переработки рядовых углей за отчетный месяц.

Эта справка заполняется для внутрифабричной обработки данных руководством фабрики, бухгалтерией и плановым отделом.

Кроме того, ежемесячно составляется отчет о работе углеобогатительной фабрики по форме 30-ТП, утвержденной Госкомстатом СССР. В отчете накапливаются данные для ежеквартального отчета. Ежеквартальный отчет перед вышестоящей организацией (отдел информации производственного объединения) производится по форме 30-ТП. Отчет включает данные о методе и глубине обогащения, числе часов работы и простоев, планово-предупредительном ремонте, фактической часовой производительности, данные для составления товарного баланса, поступлении рядовых углей.

#### 89. ОПРОБОВАНИЕ НА КВАРЦЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Готовым продуктом кварцеобогатительной фабрики является кварцевая крупка. Концентрат упаковывают в бумажные мешки, складываемые по партиям. К сырью для производства прозрач-

ных кварцевых и многокомпонентных оптических стекол предъявляют чрезвычайно высокие требования. Основные нормируемые показатели качества кварцевого сырья — находящиеся в нем твердые минеральные, газовой-жидкие включения и микроструктурные элементные примеси.

Основную часть твердых примесей в кварце образуют разнообразные минеральные включения, которых должно быть не более 0,03—0,07 %.

К твердым примесям в измельченном кварце (кварцевой крупке, муке) относят также механические примеси, связанные с технологией подготовки концентратов: частицы аппаратурного железа, пыль, растительные волокна, поверхностные загрязнения и т. д.

Единого метода оценки качества кварцевого сырья для плавки не существует. Поэтому определение в кварце массовой доли твердых минеральных, газовой-жидких и микроструктурных примесей производится различными методами.

Перед упаковкой в тару (мешок) от каждой партии отбирают не менее трех проб по ГОСТ 22551—77, масса каждой из которых должна быть не менее 0,5 кг. Пробы отбирают в процессе изготовления кварцевой крупки через равные промежутки времени.

Подготавливают объединенную пробу путем тщательного перемешивания точечных проб и методом квартования разделяют на основную и дубликат. Из основной пробы отбирают навески массой в зависимости от вида анализа (в г): для ситового 100, для определения содержания тяжелой фракции 500, для определения содержания легкой фракции 100, для определения коэффициента пропуска 20.

Каждую пробу помещают в пакет из кальки и маркируют, указав месторождение, номер жилы, назначение пробы.

Дубликат на случай контрольных испытаний хранят в течение 12 мес в таре, предохраняющей пробу от загрязнения.

По зерновому составу кварцевая крупка контролируется методом ситового анализа с помощью двух контрольных сит с сетками № 0,1; 0,2; 0,4; 1,2 по ГОСТ 6613—86. Набор сит определяется маркой крупки.

Навеску помещают на верхнее сито и закрывают крышкой. Под нижнее сито устанавливают поддон. Рассев производят в течение 5 мин вручную или на вибрационной установке.

Остаток кварцевой крупки на каждом сите и на поддоне взвешивают на лабораторных технических весах с погрешностью не более 0,1 г.

Лабораторные пробы подготавливают следующим образом (рис. 94). Исходная проба жильного гранулированного кварца массой 2—5 кг в виде кусков размером 10—50 мм, очищенных от макровключений пород и минералов, измельчается с выделением фракции (крупки) 0,1—0,5 мм. Нерабочая фракция (мельче 0,1 мм) представляет собой хвосты. Из кварцевой крупки массой 0,6—1 кг, крупностью — 0,5+1 мм по методике ГосНИИКСа

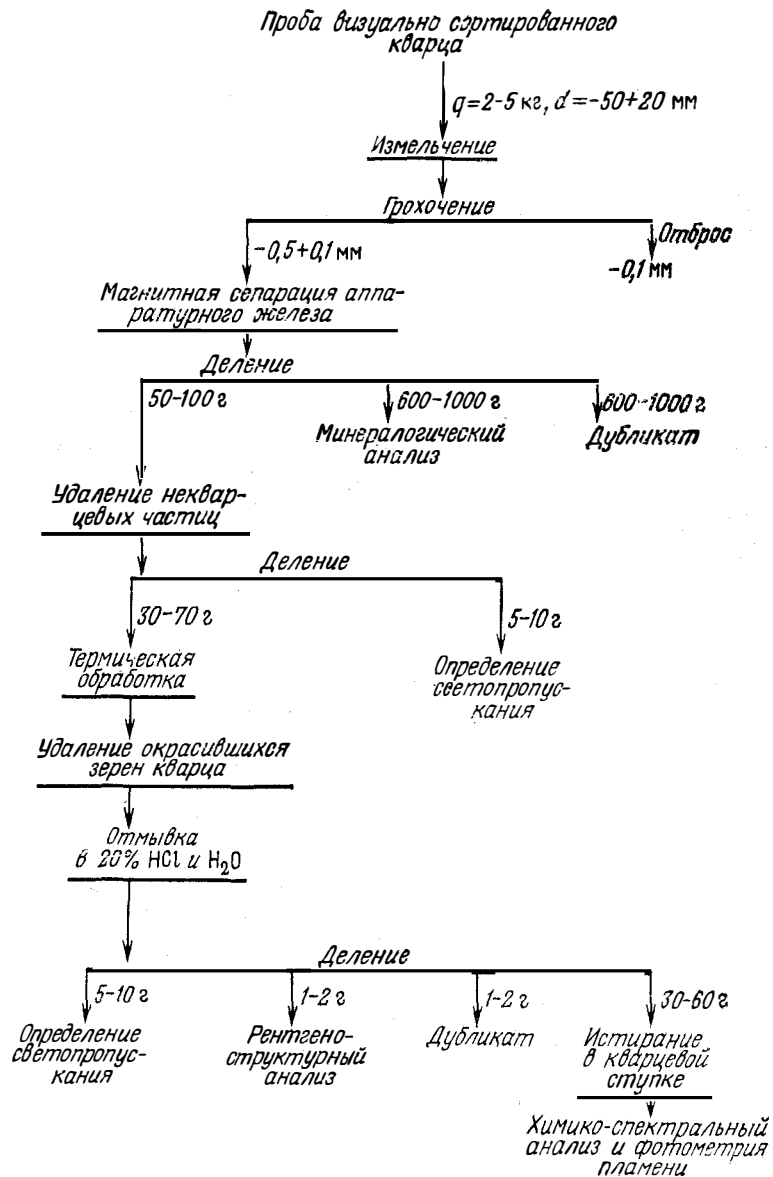


Рис. 94. Схема подготовки пробы кварцевого сырья

выполняется количественный минералогический анализ и устанавливается содержание минеральных примесей. Небольшая часть пробы (50—100 г) отсеянной фракции —  $0,5+0,25 \text{ мм}$  проходит магнитную сепарацию (например, с помощью магнита Сочнева)

затем визуальный контроль (просмотр) под бинокулярным микроскопом, в результате чего очищается от не кварцевых частиц и зерен кварца с минеральными включениями и пленками. На соответствующих навесках (по 5—10 г) материала определяются светопропускание, потери при прокаливании, а также осуществляется декрипитация. В результате устанавливается относительное содержание газовой-жидких включений в сырье. Оставшийся материал (не менее 30—70 г) подвергается термообработке — нагреву до температуры 800—900 °С, выдержке в течение 1 ч, постепенному охлаждению и проходит визуальный просмотр под микроскопом. При этом удаляются окрасившиеся зерна кварца с пленками и не кварцевые частицы. Подготовленный таким образом концентрат в течение 1 ч кипятят в 20 %-ном растворе химически чистой соляной кислоты (при объемном соотношении крупки и кислоты не выше 1:5), а затем промывают в кипящей дистиллированной воде до нейтральной реакции. Химико-спектральным анализом и фотометрией пламени устанавливается содержание элементов-примесей (химический состав кварца), а светопропусканием — относительное содержание газовой-жидких включений. Пробы для химико-спектрального анализа и фотометрии пламени истирают в кварцевых или агатовых ступках.

Определение светопропускания кварцевой крупки до термообработки необходимо для оценки степени замутнения исходного кварца, а после термообработки — для сопоставления с данными предприятий-потребителей, которые определяют светопропускание кварца после термодробления.

Из отдельных кусков пробы целесообразно готовить пластины толщиной 0,5—3 мм для исследования текстурно-структурных особенностей кварца, газовой-жидких включений, а также гамма-облучения, съемки ИК, УФ и ЭПР спектров с целью выяснения качественных и количественных соотношений микроструктурных примесей.

Минералогический анализ проб жильного гранулированного кварца производится по методике, разработанной ГосНИИКСом. Метод предназначен для количественного определения содержания минеральных примесей в кварцевой крупке. Сущность его состоит в выделении зерен кварцевых минералов в тяжелой жидкости и последующем их взвешивании. Минералы тяжелой фракции выделяют в устройстве, состоящем из стеклянного конуса (воронки) объемом около 2 л, соединенного с пробиркой-ловушкой короткой резиновой трубкой. В качестве рабочего раствора используется тяжелая жидкость М-45 плотностью 3 г/см<sup>3</sup>. Для выделения тяжелой фракции готовят 1,5 л раствора жидкости плотностью  $2,67 \pm 0,002 \text{ г/см}^3$  добавлением дистиллированной воды в жидкость М-45 и взвешиванием 100 мл раствора в сухой мерной колбе до получения раствора необходимой плотности. Рабочий раствор (1,5 л) заливают в конус, засыпают 500 г анализируемой пробы кварцевой крупки, с интервалом 5 мин пробу перемешивают шпателем из винипласта или стекла. Через 20 мин

после третьего перемешивания открывают зажим на шланге-ловушке для примесей тяжелой фракции и сливают содержимое ловушки с 50 мл рабочего раствора в стакан. После промывки и сушки выделенной тяжелой фракции ее анализируют под микроскопом МБС-1 и взвешивают на аналитических весах.

Для выделения легкой фракции готовят 0,3 л рабочего раствора жидкости плотностью  $2,63 \pm 0,002$  г/см<sup>3</sup> добавлением дистиллированной воды в жидкость М-45 и взвешиванием 100 мл раствора в мерной колбе до получения раствора необходимой плотности. Для выделения легкой фракции, основу которой составляют полевые шпаты, в фарфоровый стакан засыпают 100 г анализируемой пробы и заливают 300 г рабочего раствора тяжелой жидкости. С интервалом 15 мин производят перемешивание. Через 30 мин после третьего перемешивания сливают из стакана на воронку с фильтром примерно  $\frac{1}{3}$  объема тяжелой жидкости вместе с всплывшими на поверхность зернами минералов легкой фракции, производят фильтрование и промывку.

Выделенную легкую фракцию на латунном фильтре протравливают в течение 7—10 с в 30—40 %-ном растворе плавиковой кислоты, промывают и высушивают. После сушки легкой фракции под микроскопом МБС-1 ее анализируют, удаляют зерна кварца и взвешивают оставшиеся полевые шпаты.

Для определения содержания примесей в кварцевой крупке применяют следующие оборудование, материалы, реактивы: установку для минералогического анализа кварцевой крупки; шкаф сушильный (СНОЛ-2,5); шкаф вытяжной (ШВ 1-2 ОС); микроскоп бинокулярный стереоскопический (МБС-1); весы аналитические (АДВ-200); весы настольные; стекла предметные; стаканы стеклянные лабораторные вместимостью 0,25; 0,3—0,5 л; колбы стеклянные лабораторные вместимостью 0,25; 0,5; 1 л; воронки стеклянные; кружки фарфоровые вместимостью 2 л; мешки полиэтиленовые; перчатки резиновые, воду дистиллированную; жидкость тяжелую М-45 (концентрированный водный раствор комплексной соли  $\text{CaJ}_2 \cdot \text{BaJ}_2$ ).

Коэффициент светопропускания гранулированного кварца определяют по методике ГосНИИКСа. Этот метод предназначен для относительной оценки числа газовой-жидких включений в кварце определением коэффициента светопропускания кварцевой крупки в видимой области спектра. Сущность метода состоит в сравнении интенсивности световых потоков, проходящих через испытуемый и сравниваемый образцы.

Коэффициент светопропускания определяют на визуальном-фотоэлектрическом фотометре ФМ-58 со светофильтром № 3.

Для измерений используется иммерсионная жидкость с показателем преломления  $1,543 \pm 0,002$ , которую готовят путем смешивания бром-бензола и диметилфталата примерно в равных соотношениях.

В качестве испытуемого образца служит кварцевая крупка, помещенная в кювету рабочей длиной (толщиной слоя крупки)

1 мм, с иммерсионной жидкостью. Образец для сравнения — аналогичная кювета, заполненная только иммерсионной жидкостью.

Пламенно-фотометрический метод используется для установления в кварце щелочных элементов, главным образом натрия и калия. Основная особенность метода состоит в том, что к анализируемым пробам кварца и к стандартам добавляют в одинаковых количествах одни и те же элементы, служащие элементами сравнения.

В качестве пробы применяют тонко растертый кварц, который обрабатывают плавиковой и серной кислотами. После упаривания и прокаливании этого раствора полученный сухой остаток смешивают с водой и стандартными образцами (сернокислые соли определяемых элементов). Приготовленный таким образом раствор распыляют в пламя горелки и фотометрируют методом относительных измерений. Концентрации определяемых щелочных металлов устанавливаются по градуировочным графикам.

Химико-спектральный анализ кварца проводят по методике Гиредмета, и он позволяет одновременно определять в кварце концентрацию 22 элементов примесей. Метод включает химическую подготовку пробы и ее спектральный анализ.

Подготовка пробы состоит из приготовления 2 г навески кварцевой пудры, которую растворяют в плавиковой кислоте, добавляют 20 мг графитового порошка и выпаривают. При этом происходит удаление основного элемента кремния в виде тетрафторида. Параллельно проводят холостой опыт для проверки чистоты реактивов и графитового порошка. Все операции проводят в боксе с использованием фторопластовой посуды.

Спектральный анализ проводится путем испарения приготовленного графитового электрода в пламени дуги постоянного тока и фотографирования полученного спектра с помощью спектрографов ИСП-30, ДФС-13, ДСФ-8 и др. Концентрация примесей определяется по градуировочным графикам, построенным для каждой примеси в координатах: разность почернения аналитической линии примеси и фона — логарифм концентрации примеси в эталонах.

Эталоны готовят на основе графитового порошка и оксидов определяемых элементов. Минимальная определяемая концентрация примесей при навеске кварца 2 г составляет (%):  $10^{-7}$  для висмута, меди, марганца;  $10^{-6}$  для алюминия, железа, кальция;  $10^{-5}$  для вольфрама, цинка. Воспроизводимость метода колеблется от  $\pm 15$  до  $\pm 30$  % в зависимости от определяемой концентрации примеси.

Рентгеноструктурный анализ выполняют на навеске массой 1 г монофракции.

## 90. ОПРОБОВАНИЕ НА АСБЕСТООБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

*Отбор проб.* На асбестообогажительных фабриках созданы установки для отбора и обработки проб крупнокусковых руд.

Одна из установок смонтирована в дробильно-сортировочном корпусе (ДСК) под галереей конвейера и включает в себя следующее оборудование: пробоотбиратель, ленточный питатель, щековую дробилку, барабанный сократитель, ленточный конвейер.

Пробы отбирают разовым пересечением рудного потока по сигналу приемщика, извещающего о начале разгрузки состава. Последующие отборы следуют через 10 мин.

Отобранную за одно отсекание пробу массой 100—150 кг ленточным конвейером подают в щековую дробилку и дробят до крупности 30 мм, сокращая барабанным сократителем. Сокращенную пробу массой 16—18 кг еще раз делят на желобчатом сократителе (ширина желоба 50 мм).

За час до конца рабочей смены сменную пробу сокращают с учетом массовой доли асбеста в руде, определенного визуально, до 25—60 кг. Последнюю порцию делят на две равные части, одну из которых используют для анализа (первичная проба), вторую (контрольная проба) хранят три дня. Расхождение в массе между первичной и контрольной пробами допускается до 5 % массы первичной пробы. В первичную и контрольную пробу вкладывают одинаковые паспорта с указанием даты отбора пробы, массы пробы, наименований фабрики и рудника, смены и фамилии лаборанта.

Первичную пробу сразу же после подготовки доставляют в лабораторию для анализа.

Опробование богатой кусковой руды производится вручную. Задача опробования — определение количества и качества асбестового волокна в кусковой руде, поступающей с рудников мелкими частями (порциями). Руду опробуют от каждой сдаваемой партии. Материал разгружают на площадку размером 1000×1000 мм и разравнивают слоем толщиной не более 200 мм. После разравнивания руды из нее отбирают пробу массой 2—3 кг совком 200×150×30 мм из 3—5 точек в шахматном порядке. Расстояние между точками отбора до 200 мм (длина совка). Пробы, отобранные от отдельных партий, объединяют в одну среднюю пробу, которую сокращают квартованием до 8—10 кг и доставляют в лабораторию с документом, заполненным ответственным лицом за сдачу руды. В лаборатории указанную пробу делят на две части — первичную и контрольную пробы.

Ручное опробование руды первого сорта проводят от каждой принятой автомашины после разгрузки ее на железный лист, помещенный для этой цели над бункером. Опробуемая руда (штабель) слегка разравнивается. На боковой поверхности штабеля и его верхнем основании проводят параллельные линии на расстоянии 0,5 м одна от другой. На каждой параллельной линии на расстоянии 0,5 м друг от друга намечают точки отбора проб по

всему штабелю. В точке отбора вырывают ямку глубиной не менее 300 мм и отбирают порцию руды, погружаемой в яму лопатой на всю ее глубину. Масса отдельной порции 1—2 кг. Общая масса пробы составляет не менее 12 кг от 3 т руды, не менее 24 кг от 6 т руды.

Среднюю пробу тщательно перемешивают с предварительной разбивкой отдельных больших кусков длиноволокнистого асбеста, сокращают квартованием до массы 6—12 кг и доставляют в лабораторию с документом, заполненным ответственным лицом за сдачу руды. В лаборатории пробу дробят на щековой дробилке, делят на желобчатом сократителе на две равные части, представляющие первичную и контрольную пробы.

Пробы готовой продукции сортового асбеста II—VI групп отбирают из мешков после каждой упаковочной машины и обрабатывают их в лаборатории ситовых анализов в соответствии с ГОСТ 12871—83 «Асбест хризотилковый, технические условия». В течение смены с каждой упаковочной машины отбирают не менее четырех проб. От каждого отобранного мешка из любой его точки отбирается точечная проба массой не более 0,1 кг. Затем точечные пробы объединяют, и масса объединенной пробы должна быть не менее 0,5 кг. Для проверки соответствия качества партии асбеста требованиям стандарта отбирают 5 % мешков от партии (но не более 5 мешков). Партией считается асбест одной марки массой не более 200 т, а для асбеста 0—II групп — не более 100 т.

Отобранную пробу сначала разрыхляют в рыхлителе. Рыхление проб проводят частями: для асбеста 0—II группы массой по 1 кг и для асбеста V—VI группы по 2 кг. Часть асбеста разгружают в бункер рыхлителя, закрывают крышку, включают рыхлитель на 5—10 с. Разрыхленный асбест собирают в ящик, затем его высыпают на поверхность и отбирают в любых точках две навески по 50 г каждая для определения массовой доли влаги. Затем пробу перебирают вручную для определения наличия посторонних предметов. При их отсутствии асбест перемешивают и квартуют, получая две пробы, одну из которых помещают в мешок и хранят до окончания испытания (она может быть и контрольной). Вторую пробу используют для проведения всех испытаний. Дальнейшая подготовка проб заключается в обеспечении представительности проб для проведения каждого вида испытаний.

*Подготовка проб к анализу.* Исходная проба, предварительно сокращенная до массы не более 150 кг, поступает на участок лабораторных испытаний.

Необходимую массу пробы для анализа (класс —15 мм) выбирают в зависимости от массовой доли асбеста в ней, определяемой визуально (табл. 34).

Исходную пробу дробят в щековой дробилке до класса —15 мм и затем в зависимости от крупности зерен и массы перемешивают методом конуса или на установке, состоящей из питателя в комплекте с грохотом и стационарным делителем.

Таблица 34

## Необходимая масса проб руды и продуктов обогащения, кг

Массовая доля асбеста, %	Руда		Продукты обогащения
	высокосортная	рядовая	
0—1	—	50	3—50
1,1—1,5	—	38	3—40
1,6—2	—	25	3—40
2,1—2,5	20	20	3—20
2,5—3	15	15	3—20
>3	10	10	1—10

Метод конуса применяется при перемешивании руд, промежуточных и оборотных продуктов класса +12 мм и черновых концентратов с массовой долей волокна в пробе более 50%. Пробу насыпают в конусообразную кучу, все время вращая совком с продуктом вокруг вертикальной оси конуса. После этого продукт разравнивают в диск высотой около 100 мм. Затем берут совком с периферии диска отдельные порции пробы и снова насыпают в конусообразную кучу на другой площадке. При этом порции поочередно берут с диаметрально противоположных сторон диска. Операцию повторяют три раза, после чего приступают к сокращению пробы.

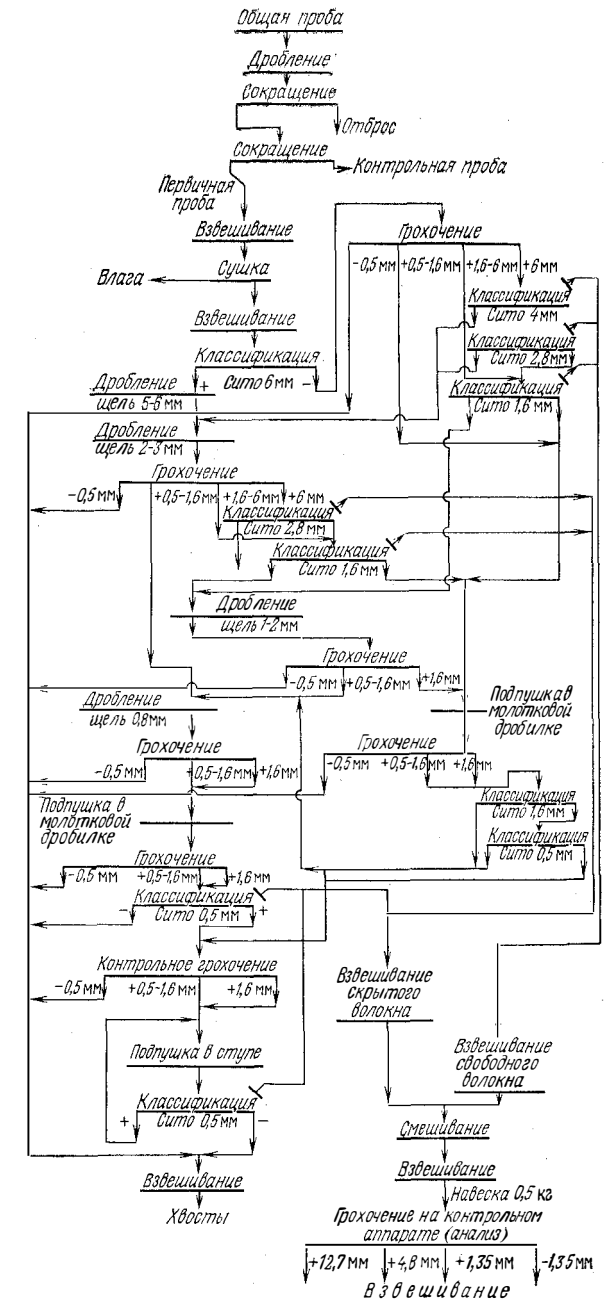
При ручном сокращении подготовленную пробу делят на четыре равных сектора крестовиной. После разделения продукты двух противоположных секторов соединяют.

Механическому сокращению подвергают продукт, однородный по крупности зерен класса —12 мм, с массовой долей волокна в пробе не более 10%. Механическое сокращение производится на установке, состоящей из питателя в комплекте с грохотом и делителем. Продукт подают в питатель, который равномерно распределяет его по ширине деки грохота, после чего он поступает на желобчатый сократитель, где делится на две части. Полученные пробы делят на основную и контрольную. Основную пробу подвергают дальнейшим подготовительным операциям и обработке (рис. 95). Контрольную пробу хранят в течение установленного времени на случай повторных анализов.

От проб с массовой долей волокна более 50% (определяет лаборант визуально) отбирают пробы для анализа на приборах контроля качества асбеста: на контрольном аппарате, четырехситном, диафрагмовом односитном гидрокласификаторе, приборах определения степени распушки и удельной поверхности волокна.

Если продукт содержит галю, то перед выполнением анализов на аппаратах контроля качества асбеста, кроме контрольного аппарата, производится очистка его от гали на вибромашине. Возможность проведения анализа на контрольном аппарате определяет лаборант визуально в присутствии мастера.

Рис. 95. Схема подготовки пробы асбестовой руды



Основную пробу при необходимости подсушивают в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 10$  °С. Необходимость подсушки пробы определяют мастер и лаборант визуально. Момент прекра-



Таблица 35

## Размеры круглых отверстий и их шаг для листовых сит

Номинальный диаметр отверстий в свету, мм	Шаг отверстий (мм) при живом сечении сит, %			Толщина сита, мм
	40	50	56	
15	22,5	—	—	4—6
26	—	35,5	—	6—8
50	—	67	—	8—10
100	—	—	140	8—12

щения подсушки определяется визуально лаборантом. Продукты массой от 2,5 до 50 кг взвешивают на весах с погрешностью не более 50 г, продукты массой от 100 г до 10 кг — на весах с погрешностью не более 1 и 5 г соответственно. Подготовленные основные пробы поступают на горный анализ. Подготовка на анализ основных и контрольной проб может проводиться с классификацией на крупные классы.

Классификация продукта на крупные классы производится на листовых штампованных или сверленных металлических ситах (табл. 35).

Внутренние размеры деревянных ящиков для сит 580×370×110 мм.

Взвешенные продукты классов +100, +50, +26, +15 мм объединяют и дробят в щековой дробилке с размером щели 10 мм. В зависимости от крупности классов размер щели в щековой дробилке может регулироваться от 20 до 10 мм. При повышенном выходе крупного класса дробление повторяют. Дробленый продукт крупностью +15 мм и продукт крупностью —15 мм, полученный при рассеве крупных классов, объединяют. Подготовленные основные пробы поступают на анализ.

Качество руды и продуктов обогащения определяют совокупностью двух параметров: массовой долей волокна асбеста и его крупностью.

Массовую долю асбеста определяют при подготовке пробы (см. рис. 95), включающей отбор свободного волокна и вскрытие волокна дроблением, подпушкой с последующим его извлечением и перемешиванием от породных частиц до заданной чистоты.

Крупность волокна, извлеченного из пробы, определяют путем его механического рассева на наборе сит с последующим взвешиванием волокна полученных классов.

Класс точности, погрешность средств измерений и измерительных установок приведены ниже:

Весы технические:		
РН-10У-13У	± 5 г	
ВНЦ-2	± 1 г	
T-200	± (25—50) мг	
Секундомер	± 0,2 с	

Тахометр ТЧ-10Р	± 10 мин <sup>-1</sup>
Штангенциркуль	0,05 мм
Установка ситового анализа для навески 500 г (ящики размером 670×375×90 мм)	± 10—25 %
Установка для определения массовой доли фракции — 0,071 мм в асбесте (ОКА)	± 10 %
Анализатор длины волокна асбеста (АДА-04)	± 2,5—10 %
Прибор для определения:	
степени распушки асбеста (ПРА)	± 4 %
удельной поверхности волокна асбеста (Ригден)	± 15 %
фракционного состава асбеста (четырёхситный гидроклассификатор)	± 6 %
содержания магнитного железа в асбестовом волокне (ФМП-4/Ф-100)	10 %/10 %

Вспомогательные устройства имеют следующие размеры, мм:

Листы металлические	400×460×80; 260×350×45
Столы:	
разделочные	1900×1400×700; 1400×2500×700
лабораторные	100×740×850
для листов	600×390×770
Совки металлические	120×160×40
Длина волос волосяных щеток	30—50

Определение массовой доли асбеста класса ±0,5 мм начинают с классификации на механическом сите. Размеры ячеек в свету и диаметр проволоки сеток приведены ниже, мм:

Номер сетки	12	6	2,8	1,6	0,5	0,25
Номинальный размер стороны ячейки в свету	12	6	2,8	1,6	0,5	0,25
Диаметр проволоки основы и утка	3	1,8; 2,2	1,6	0,9; 1	0,25	0,12

Допускается проводить съем волокна с механического сита вручную из продуктов класса +12 и 6 мм при небольшой массе волокна в продукте.

Свободное волокно каждого класса обезгаливается на лабораторной вибромашине. Обезгаленное свободное волокно класса +12 и ниже до класса +1,6 мм классифицируется на механическом сите на тех же сетках, а волокно классов +0,5 и +0,25 мм обеспыливается на ситах с сетками 0,5 и 0,25 мм. Определяется масса волокна каждого класса.

Волокно и галю соответствующего класса массой до 1000 г взвешивают на весах ВНЦ-2 с погрешностью до 1 г (при взвешивании более 1000 г — погрешность до 2 г). Волокно и галю массой от 2 до 10 кг взвешивают на весах ВНЦ-10 с погрешностью до 2,5 г при взвешивании до 2500 г и с погрешностью до 5 г при взвешивании более 2500 г.

Результаты взвешивания записывают в этикетку (документ, выдаваемый заказчику).

Свободное волокно всех классов объединяют, расклассифицированные продукты после извлечения из них свободного волокна

подвергают дроблению и измельчению. Продукты классов +12 и +6 мм дробят в валковой дробилке с размером щели 6 мм, затем объединяют с продуктом класса +2,8 мм и измельчают в валковой дробилке с размером щели 3 мм.

Измельченный продукт рассеивают на механическом грохоте с сеткой 2,8; 1,6; 0,5 мм. Продукты классов +2,8 и +1,6 мм поддушивают в молотковом распушителе и классифицируют на механическом сите на тех же сетках.

Надрешетные продукты классов +2,8 и +1,6 мм направляют на выделение гали на вибромашине. Выделенное на вибромашине волокно классов +2,8 и +1,6 мм собирают на отдельном листе.

Галю класса +2,8 мм измельчают в валковой дробилке с размером щели 3 мм, галю класса +1,6 мм — в валковой дробилке с размером щели 1 мм.

Измельченные продукты после валковой дробилки с размером щели 1 мм направляют на механический грохот. Продукт класса +1,6 мм после механического грохота поддушивают в молотковом распушителе, а продукт класса +0,5 мм направляют на измельчение в валковой дробилке с размером щели 0 мм. Подпушенный в молотковом распушителе продукт класса +1,6 мм направляют на механическое сито для классификации на сетке 1,6 мм. Надрешетный продукт класса +1,6 мм обезгаливают на вибромашине. Выделенное волокно объединяют с волокном классов +2,8 и +1,6 мм. Промпродукт класса +1,6 мм направляют на механическое сито для обеспыливания на сетке 0,65 мм. Надрешетный продукт класса +0,5 мм обезгаливают на вибромашине.

Галю класса +0,5 мм объединяют и измельчают в валковой дробилке с размером щели 0 мм. Измельченные продукты направляют на механическое сито на обеспыливание.

Надрешетный продукт класса 0,5 мм и промпродукт класса +0,5 мм поддушивают в молотковом распушителе.

Продукт после молоткового распушителя обеспыливают на механическом сите. Надрешетный продукт класса +0,5 мм поддушивают в молотковом распушителе. Подпушенный продукт обеспыливают на механическом сите. Надрешетный продукт класса +0,5 мм обезгаливают на вибромашине. Галю и промпродукт поддушивают в механической ступе. Подпушенный продукт обезгаливают на вибромашине. Галю и промпродукт поддушивают в механической ступе. Подпушенный продукт обеспыливают на механическом сите. Надрешетный продукт обезгаливают на вибромашине. Такой цикл повторяют до полного извлечения волокна класса +0,5 мм. Объединенное вскрытое волокно обеспыливают на механическом сите.

Подрешетные продукты класса —0,5 мм после операций обеспыливания и классификации направляют на механическое сито для контрольной пересортировки на сетке 0,5 мм.

Контрольная пересортировка на механическом сите с сеткой 0,5 мм проводится для извлечения волокна класса +0,5 мм. Доизвлеченное волокно класса +0,5 мм обеспыливают на сите 0,5 мм и

взвешивают с погрешностью не более 1 г. Массу доизвлеченного волокна прибавляют к массе вскрытого волокна.

Свободное и вскрытое волокно перемешивают и направляют в схему подготовки волокна класса +0,5 мм к контролю качества асбеста.

*Определение массовой доли асбеста класса —0,5+0,25 мм.* Подрешетные продукты после операций классификации и обеспыливания и подрешетный продукт после контрольной пересортировки объединяют, взвешивают для определения потерь, перемешивают три раза методом конуса. Продукт сокращают до 1 кг и измельчают в лабораторных бегунах в течение 2 мин.

Измельченный продукт обеспыливают на механическом сите с сеткой 0,25 мм. Надрешетный продукт класса +0,25 мм обезгаливают на вибромашине или вручную волосяной щеткой в зависимости от содержания волокна. Волокно обеспыливают на механическом сите сеткой 0,25 мм и взвешивают с погрешностью не более 1 г. Подрешетные продукты взвешивают и выводят в конечные хвосты.

*Ситовой анализ* волокна класса +0,5 мм и класса —0,5+0,25 мм проводят согласно ГОСТ 12871—83.

Если масса волокна асбеста, подготовленного к ситовому анализу, меньше 400 г, то рассев на контрольном аппарате производится на ящиках с перегородками.

Навеску волокна массой 100; 200; 300 г равномерно высыплют в соответствующую часть ящика. Аппарат приводят в действие на 2 мин. Затем остатки с сит каждого ящика высыплют на стол, а просев III сита первого комплекта высыплют в верхний ящик второго комплекта. Аппарат приводят в действие на 5 мин. Остатки с сит второго комплекта по отдельности высыплют на стол.

Галю выбирают отдельно из остатков каждого сита I и II комплектов контрольного аппарата. Из остатков на первом и втором ситах I комплекта галю отбирают вручную. Остатки на ситах II комплекта и третьего сита I комплекта отдельно высыплют на ручное сито с размером стороны ячейки в свету 0,25 мм. После его встряхивания выбирают распушенное волокно волосяной щеткой. Оставшийся на сите продукт с нераспушенными агрегатами волокна слегка растирают между ладонями и поверхностью сита, повторяют отбор волокна щеткой.

Отобранное волокно и галю отдельно с каждого сита взвешивают с погрешностью 1 г. Остаток продукта в 4 ящике II комплекта взвешивают с погрешностью до 1 г.

Анализ на II комплекте сит не проводят, если масса остатка, полученного в 4 ящике I комплекта, меньше 5 г при исходной навеске 100 г и меньше 10 г при исходной навеске более 100 г.

Массу свободного волокна класса +0,5 мм определяют как сумму масс свободного волокна классов +12; +6; +2,8; +1,6; +0,5 мм. Массу свободного волокна класса —0,5+0,25 мм и массу вскрытого волокна класса +5 мм определяют взвешиванием.

Массу свободного волокна и скрытого волокна класса +0,5 мм определяют как сумму масс свободного и скрытого волокна (далее общее волокно класса +0,5 мм).

Массу скрытого волокна класса +0,25 мм определяют по формуле

$$M_1 = (M - M_2 - M_3) \alpha,$$

где  $M_1$  — масса скрытого волокна класса +0,25 мм в пробе, г;  $M$  — масса исходной пробы, г;  $M_2$  — масса общего волокна класса +0,5 мм в пробе, г;  $M_3$  — масса свободного волокна класса +0,25 мм в пробе, г;  $\alpha$  — массовая доля скрытого волокна класса +0,25 мм, г/кг.

Массу общего волокна класса +0,25 мм определяют как сумму масс общего волокна класса +0,5 мм и общего волокна класса +0,25 мм.

Допустимые относительные потери  $\Delta\alpha_{0,5}$  при определении массовой доли асбеста класса +0,5 мм не должны превышать 5 % и рассчитываются по формуле

$$\Delta\alpha_{0,5} = (M - M_2 - M_4) / M,$$

где  $M$  — масса исходной пробы, г;  $M_2$  — масса общего волокна класса +0,5 мм в пробе, г;  $M_4$  — масса пыли класса —0,5 мм в пробе, г.

Потери при определении массовой доли асбеста класса +0,25 мм не нормируют.

Результаты ситового анализа рассчитывают с точностью до 0,1 %. Допустимые относительные потери при ситовом анализе составляют, %:

0,2—0,5 — при ситовом анализе асбеста готовых сортов (потери относят к большему остатку волокна на сите);

0,2—1 — при ситовом анализе волокна класса +0,5 мм, извлеченного из пробы руды (потери относят к большему остатку волокна на сите);

1—3 — при ситовом анализе продуктов обогащения (потери относят к большему остатку волокна на сите, если массовая доля пыли класса —0,25 мм не превышает 50 %, и к пыли, если ее массовая доля более 50 %).

**Оценка качества волокна асбеста.** Качество волокна асбеста оценивают на приборах контроля качества асбеста: контрольном аппарате, четырехситном диафрагмовом и односитном гидрокласификаторах, приборах определения степени распушки, удельной поверхности волокна и феррометрах.

На контрольном аппарате определяют массовую долю остатков волокна на ситах, галей, пыли. На приборах для определения степени распушки асбеста ПРА определяют степень распушки волокна асбеста. На приборе Ригдена определяют удельную поверхность волокна асбеста. На анализаторе длины асбеста АДА-02А и АДА-04 определяют среднюю длину волокна и содержание волокон асбеста длиной 0,5 мм.

На односитном гидрокласификаторе ОКА определяют массовую долю фракции менее 0,071 мм. На четырехситном гидрокласификаторе определяют фракционный состав асбеста. На диафрагмовом гидрокласификаторе определяют фракционный состав асбеста.

На феррометрах ФМП-4 и Ф-100 определяют содержание магнитного железа в асбестовом волокне.

Контроль качества выполнения анализов проводится в соответствии с «Положением о внутреннем и внешнем контроле качества обработки проб асбестовой руды и продуктов обогащения при определении содержания асбеста и крупности волокна» (табл. 36, 37).

Содержание пыли класса —0,25 мм в волокне класса +0,5 мм должно быть не более 2 %, в волокне класса —0,5+0,25 мм должно быть не более 5 %.

Допустимая степень распушки волокна класса 0,5 мм, извлеченного из проб руды, составляет 20—36 кПа.

**Методы определения фракционного состава и массовой доли гали.** Существуют два метода определения фракционного состава хризотилового асбеста: сухой — для определения массовой доли остатков на ситах 12,7; 4,8 и 1,35 мм, фракции менее 0,4 мм и

Таблица 36

Допустимые относительные расхождения результатов двух параллельных определений массовой доли асбестов классов +0,5 и +0,25 мм, %

Массовая доля асбеста в пробе, %	Руда	Продукты обогащения
0—0,3	40	—
0,3—1	22	—
1,1—3	15	—
≥3	10	—
<10	—	30
≥10	—	10

Таблица 37

Допустимые относительные расхождения результатов двух параллельных определений массовой доли остатков волокна, извлеченного из пробы на ситах контрольного аппарата, %

Массовая доля (остаток на сите контрольного аппарата), %	Руда	Продукты обогащения
<2 на I и II ситах (класс +4,8 мм)	100	50
2—5	50	30
5,1—10	35	15
≥10	25	10
1—70 на III сите (класс —4,8 +1,35 мм)	15	10

гали; мокрый — для определения массовой доли фракций менее 0,14 и более 1 мм.

Сущность сухого метода определения фракционного состава и массовой доли гали заключается в определении количественного распределения асбеста по фракциям путем сухого рассева на ситах с последующим ручным отбором гали.

Контрольный аппарат представляет собой грохот с продольно-вертикальными колебаниями. Платформа приводится в движение валом через эксцентрики. Частота вращения вала составляет  $5 \pm 0,03$  с<sup>-1</sup>, амплитуда колебаний вала 18,8 мм. На платформу устанавливают ящик и комплект из четырех сит. Верхнее сито закрывают прижимной крышкой. Размеры ячеек сеток на ситах приведены ниже.

Номер сита (нумерация от верхнего сита)	I	II	III	IV
Размер ячеек в свету, мм	12,7	4,8	1,35	0,4
Диаметр проволоки, мм	2,67	1,6	1,19	0,25

Испытание проводят параллельно на двух навесках.

Навеску асбеста массой 500 г высыпают на верхнее сито равномерным слоем по всей площади. Аппарат приводят в действие на 120 с. С каждого сита отдельно собирают оставшийся продукт и взвешивают с погрешностью не более 2 г, продукт из ящика — с погрешностью не более 0,1 г.

Продукт из сита № 3 высыпают на стол и вручную выбирают из него галю. Продукт из сита № 4 высыпают на сито с сеткой № 0,4, вручную встряхивают и отбирают распушенное волокно волосяной щеткой. Оставшийся на сите продукт с нераспушенными агрегатами волокна слегка растирают между резиновыми поверхностями и вновь отбирают распушенное волокно щеткой на сите. Отобранную галю с обоих сит взвешивают с погрешностью не более 0,1 г.

В асбесте 0—II-й групп наличие гали определяется визуально.

**Абсолютное расхождение между результатами параллельных определений**

Массовая доля остатка на ситах, %	5—30	30—50	50—80
Абсолютное расхождение, %	1,2	1,6	2
Массовая доля фракции 0,4 мм, %	2—5	5—10	10—20
Абсолютное расхождение, %	0,4	0,6	0,8

По массовой доле гали расхождение не должно превышать 0,2 %. Если расхождение между результатами двух параллельных определений превышает приведенное значение, то определение повторяют. За окончательный результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух последних определений.

Сущность мокрого метода определения фракционного состава заключается в определении асбеста по фракциям путем рассева на ситах под воздействием восходящей струи воды, получающей движение от колеблющейся диафрагмы.

Диафрагмовый классификатор состоит из камеры с двумя ситами, расположенными одно над другим (верхнее с сеткой № 1, нижнее № 014 по ГОСТ 6613—86), под ситами расположена эластичная диафрагма, которая при работе совершает вертикальные колебания с частотой 4,17 с<sup>-1</sup> и амплитудой  $24 \pm 0,5$  мм. Классификация пробы асбеста осуществляется при постоянном расходе воды 7 дм<sup>3</sup>/мин. Вода подается в камеру под сита и контролируется ротаметром. Уровень воды в камере фиксируется регулятором уровня. Все узлы гидроклассификатора смонтированы в корпусе, являющемся одновременно столом для лаборанта.

Испытание проводится параллельно на двух навесках. Навеску асбеста массой 25 г помещают в сосуд, заливают примерно 0,5 дм<sup>3</sup> и перемешивают около 30 с. Подготовленную смесь выливают на сито, которое закрывают колпаками, гидроклассификатор приводят в действие для асбеста III, IV групп на 300 с, а для асбеста V, VI групп — на 180 с. После отключения гидроклассификатора подачу воды прекращают.

С каждого сита тщательно собирают волокно асбеста, помещают его в металлический сосуд и высушивают до постоянной массы. Высушенное волокно асбеста охлаждают и взвешивают с погрешностью не более 0,03 г.

*Метод определения средней длины волокна, массовой доли волокна длиной менее 5 мм и менее 0,5 мм* заключается в определении количественного распределения волокна по длине путем рассева его на ситах с различным размером ячеек. Анализатор длины асбеста АДА-04 или АДА-02А состоит из рабочей камеры, представляющей собой цилиндр, разделенный на шесть секций перегородками. Внутри камеры расположен ротор (вал с колками), вращающийся с частотой  $6,66 \pm 0,08$  с<sup>-1</sup>. Нижняя часть рабочей камеры разделена на шесть классифицирующих сит и соединена с верхней при помощи шарниров. Размеры ячеек сеток приведены ниже.

Номер сита	I	II	III	IV	V	VI
Диаметр отверстия сита, мм	3,5	6	10	16	18	0,5

Сита экспериментально подобраны так, чтобы волокно асбеста, проходящее через них, было следующей длины:

Номер сита	I	II	III	IV	V	VI
Длина волокна, мм, не менее	5	10	15	20	25	0,5

В верхней части рабочей камеры имеются отверстия для загрузки волокна, закрываемые крышкой. Для сбора волокна, прошедшего через сита под камерами на подвижной платформе, установлены лотки, которые на время работы аппарата прижимаются к камере снизу.

Испытание проводят на двух параллельных навесках. Навески асбеста массой 25 г с лотка поочередно помещают через загрузочные отверстия в секции рабочей камеры и плотно закрывают крышкой.

Анализатор длины асбеста приводят в действие на  $300 \pm 3$  с. Волокно, просеявшееся через каждое сито в лотки, собирают и взвешивают с погрешностью не более 0,03 г. Волокно, оставшееся на ситах, удаляют невзвешенным.

Среднюю длину волокна определяют как сумму произведений средней длины волокна каждого класса на его массу, отнесенную к массе навески.

Среднюю длину волокна  $l_{ср}$  (мм) определяют по формуле

$$l_{ср} = [2,5m_1 + 7,5(m_2 - m_1) + 12,5(m_3 - m_2) + 17,5(m_4 - m_3) + 22,5(m_5 - m_4) + 27,5(25 - m_5)]/m,$$

где  $m_1 - m_5$  — масса асбеста, прошедшего соответственно через I—V сита, г;  $m$  — масса навески, г;  $(25 - m_5)$  — масса асбеста, оставшегося на V сите, г; 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5; 27,5 — средняя длина расчетных классов, мм.

Массовую долю волокна длиной более 5 мм  $\alpha_5$  (%) определяют по формуле

$$\alpha_5 = 100m_1/m.$$

Массовую долю волокна длиной менее 0,5 мм  $\alpha_{0,5}$  (%) определяют по формуле

$$\alpha_{0,5} = 100m_6/m,$$

где  $m_6$  — масса фракции, прошедшей через сито № 6, г.

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, абсолютные расхождения между которыми не должны превышать 0,3 мм — по средней длине волокна; 2% — по массовой доле волокна длиной менее 0,5 мм; 0,6% — по массовой доле волокна длиной менее 0,5 мм.

Метод определения степени распушки заключается в измерении сопротивления, оказываемого асбестом проходящему через него воздушному потоку.

Прибор для определения степени распушки асбеста ПРА-1 состоит из трех последовательно расположенных камер.

Навеску асбеста массой 100 г помещают в камеру и уплотняют до постоянного объема (высота слоя асбеста 40 мм). Включают насос, затем при помощи дроссельного устройства по тягонапорометру устанавливают перепад давления, равный 98 Па, и вакуумметром измеряют разрежение воздуха под слоем асбеста.

За степень распушки принимают показание вакуумметра, измеренное при перепаде давления, равном 98 Па (при нормальных условиях).

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений. Расхождение между параллельными определениями не должно превышать 3 кПа.

Для определения влажности навеску асбеста массой 50 г помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре  $110 \pm 10$  °C до постоянной массы. Затем пробу охлаждают до ком-

натной температуры в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,1 г.

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми не должно превышать 0,5%.

**Метод определения насыпной плотности.** Установка состоит из металлического цилиндра внутренним диаметром 88 мм, вместимостью 1 дм<sup>3</sup> и приспособления для сыпания продукта. Приспособление включает горизонтальную площадку и наклонную плоскость, угол наклона которой к плоскости стола составляет 60°. Приспособление установлено на основании так, чтобы расстояние нижнего края наклонной плоскости от верха цилиндра было 35 мм.

Навески асбеста массой примерно по 200 г помещают равным слоем на горизонтальную площадку установки, постепенно сыпают по наклонной плоскости в металлический цилиндр. После наполнения цилиндра излишек асбеста снимают ножом вровень с краем цилиндра. Содержимое цилиндра взвешивают с погрешностью не более 2 г.

За результат анализа принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, расхождения между которыми не должно превышать 10 г/дм<sup>3</sup>.

Обработка пробы хвостов заключается в стадийном дроблении, классификации с удалением пыли и извлечении волокна вручную щеткой с сит (рис. 96).

Пробу дробят в лабораторных дробильных валках.

Для классификации и обеспыливания продукта после дробления применяют лабораторный многоярусный механический грохот.

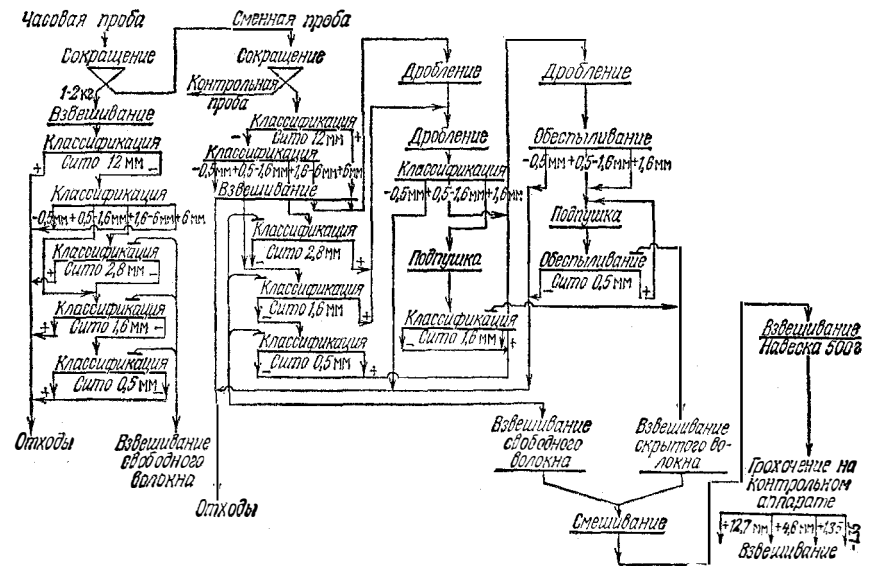


Рис. 96. Схема подготовки пробы хвостов на асбестообогатительных фабриках

Для подпушки «лепешек», которые образуются при дроблении в валковых дробилках, применяют ступу и лабораторный молотковый распушитель.

Волокно извлекают вручную волосяной щеткой при рассеивании продукта на ситах.

«Свободное» и «скрытое» волокна, извлеченные в процессе обработки пробы, взвешивают отдельно и подсчитывают их содержание в пробе как отношение массы волокна  $+0,5$  мм, извлеченного из пробы, к массе всей пробы. При обработке контрольной пробы за окончательный результат принимается анализ контрольной пробы.

Расчет технологических показателей и расчет технологических балансов на фабрике выполняет фабричная лаборатория. Технологические показатели работы фабрики определяют по данным лабораторных анализов [25].

Расчетная массовая доля асбеста в руде  $\alpha_p$  определяется по конечным результатам обогащения как отношение массы чистого асбеста в готовой продукции шести сортов и в хвостах обогащения к массе переработанной руды:  $\alpha_p = (K_k + K_x) / M_p$ .

Расчетная массовая доля асбеста в руде обычно превышает лабораторную массовую долю асбеста в руде. Расчетный коэффициент на лабораторную массовую долю асбеста в руде  $k_p$  представляет собой отношение расчетной массовой доли к лабораторному  $k_p = \alpha_p / \alpha_{л}$ . Расчетный коэффициент является одним из основных планируемых технологических показателей.

Средняя запыленность готовой продукции  $\alpha_n$  подсчитывается по результатам ситового анализа на контрольном аппарате шести групп товарного асбеста и представляет собой отношение средне-взвешенной массы пыли во всей продукции к массе этой продукции.

Массу пыли  $P$  во всех сортах определяют по формуле

$$P = 0,01 \sum_{i=1}^6 M_i \alpha_{ni};$$

$$\alpha_n = 100P/M.$$

Извлечение асбестового волокна — основной показатель при оценке эффективности работы обогатительных фабрик:

$$\varepsilon = K_k / (K_k + K_x)$$

или с учетом расчетного коэффициента

$$\varepsilon = \sum_i \gamma_{\beta i} \beta_i / (\alpha_n k_p).$$

1. Аленицин Ю. Е. О составлении товарного баланса металлов на обогатительных фабриках.— Обогащение руд, 1982, № 1, с. 24—28.

2. Аленицин Ю. Е., Браун В. И., Милин И. М. Инженерный расчет технологического баланса для двухпродуктовой разделительной схемы.— Обогащение руд, 1978, № 2, с. 41—44.

3. Алмаев В. Г. Подготовка проб в системах оперативного аналитического контроля.— Обогащение руд, 1982, № 2, с. 29—31.

4. Альбов М. Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1975.

5. А. с. 611116 (СССР). Способ опробования расхода/Авт. изобрет. Ю. М. Гуревич, Г. Н. Коган, В. З. Козин и др.—Опублик. в Б. И. 1978, № 22.

6. Барский Л. А., Козин В. З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М., Недра, 1978.

7. Болошенко В. Р., Иванов О. П., Сотникова С. А. Исследования предела допустимого сокращения веса минералого-химических проб оловянных руд. Труды ЦНИИОЛова. Новосибирск, 1979.

8. Большаков А. Ю. Системы ядерно-физического опробования для управления качеством руд. Л., Недра, 1979.

9. Глуценко Н. Н., Корчагин Э. У., Трифонов В. Н. Электромагнитная транспортная установка для доставки технологических проб.— Цветная металлургия, 1982, № 9, с. 43—44.

10. Иванов О. П., Ермаков С. Ф., Кузнецова В. Н. Повышение точности определения весового гранулометрического состава рудных минералов по измерениям в шлифах. Труды ЦНИИОЛова. Новосибирск, 1979.

11. Карпенко Н. В. Опробование и контроль качества продуктов обогащения. М., Недра, 1987.

12. Карпенко Н. В., Павлов А. А., Хромов В. Н. Число разовых проб, обеспечивающих представительность общей пробы, при опробовании руд и продуктов обогащения с попутным содержанием благородных металлов. Труды Механобра, Л., 1978, с. 121—125.

13. Кипнис Ш. Ш. Технический контроль на углеобогатительных фабриках. М., Недра, 1985.

14. Козин В. З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. М., Недра, 1985.

15. Кошелев И. В., Пряничников Е. В. Экспресс-анализ и сортировка бериллиевых руд в вагонетках.— Горный журнал, 1982, № 10, с. 261—264.

16. Краснов Д. А. Теоретические основы и расчетные формулы определения веса проб. М., Недра, 1969.

17. Куликов А. А. Опробование золотоносных конгломератов. Новосибирск, Наука, 1981.

18. Леман Е. П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л., Недра, 1973.

19. Лисковский М. Д., Потапова Г. И. Кассетный пробоотборник бурового шлама для оценки качества руды в массиве.— Горный журнал, 1982, № 7, с. 57—58.

20. Лузин В. П., Шестаков В. Г. Анализ распределения содержаний хризотиласбеста на Баженовском месторождении. Свердловск, СГИ, 1981.

21. Мейер В. А., Ваганов П. А. Основы ядерной геофизики. Л., Изд-во ЛГУ, 1978.

22. Применение геофизических методов опробования/В. Г. Балякин, О. В. Вошилов, Г. И. Малыгин и др.— Горный журнал, 1982, № 7, с. 15—29.

23. Промышленные испытания стационарных пробоотборных устройств/В. В. Несмелов, А. И. Пустовалов, Г. М. Ковин и др.— Обогащение руд, 1979, № 1, с. 38—40.

24. *Радиоизотопное* определение содержания бария в рудах и продуктах их переработки/М. Б. Энкер, Г. Я. Колесов, В. И. Черевко и др.— Экспресс-информация КазИИТИ, Алма-Ата, 1980, серия 07, выпуск 47.
25. *Сафонов Ф. П.* Практика обогащения асбестовых руд. М., Недра, 1975.
26. *Серго Е. Е.* Опробование и контроль технологических процессов обогащения. Киев, Вища школа, 1979.
27. *Справочник* по обогащению руд. Подготовительные процессы. М., Недра, 1982.
28. *Справочник* по обогащению руд. Основные процессы. М., Недра, 1983.
29. *Справочник* по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы. М., Недра, 1983.
30. *Ткачев Ю. А., Шейн А. А.* Обработка проб полезных ископаемых. М., Недра, 1987.
31. *Ткачев Ю. А., Юдович Я. Э.* Статистическая обработка геохимических данных. Л., Недра, 1975.
32. *Хан Г. А.* Опробование и контроль технологических процессов обогащения. М., Недра, 1979.
33. *Шупов Л. П.* Математические модели усреднения. М., Недра, 1978.
34. *Gy P.* Die Probenahme bei stückigen Erzen.— Aufbereitungs Technik, N 11, 1972, s. 687—697.
35. *Schubert H.* Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Leipzig, 1972.

Введение . . . . .	3
<b>I. Прямые и косвенные способы определения массы</b> . . . . .	7
1. Способы измерения масс . . . . .	7
2. Измерение объемов с целью определения масс . . . . .	10
3. Определение насыпной плотности сыпучих тел . . . . .	11
4. Определение плотности пульпы . . . . .	12
5. Соотношения между параметрами пульпы . . . . .	14
6. Определение расходов твердых продуктов . . . . .	15
7. Определение расходов твердого в пульпах . . . . .	19
8. Определение плотности твердого . . . . .	22
9. Определение влажности . . . . .	24
<b>II. Определение массовой доли</b> . . . . .	26
10. Способы определения массовой доли в пробе . . . . .	26
11. Механическое разделение компонентов пробы и взвешивание . . . . .	30
12. Химическое разделение компонентов пробы с последующим определением их массовой доли . . . . .	34
13. Измерение флюоресцентного излучения как характеристики массовой доли компонентов пробы . . . . .	37
14. Измерение рассеянного излучения как характеристики массовой доли определяемого компонента . . . . .	45
15. Измерение проникающего излучения и магнитного потока как характеристики массовой доли . . . . .	47
16. Количественный минералогический анализ . . . . .	48
<b>III. Измерение крупности</b> . . . . .	49
17. Характеристики крупности продуктов . . . . .	49
18. Определение гранулометрического состава . . . . .	55
<b>IV. Закономерности распределения массовой доли компонентов в точечных пробах</b> . . . . .	59
19. Распределение массовой доли компонента в отдельных кусках чистых минералов одного размера. Дисперсия покускового опробования чистых минералов . . . . .	59
20. Эволюция распределения массовой доли в отдельных кусках с увеличением их размера . . . . .	61
21. Дисперсия покускового опробования в переходной зоне и в зоне нормального закона . . . . .	63
22. Экспериментальное определение типа модели руды . . . . .	67
23. Распределение массовой доли компонентов в точечных пробах, состоящих из серии кусков чистых минералов . . . . .	70
24. Аппроксимация экспериментальных данных типичными законами распределения . . . . .	73
25. Влияние асимметрии распределения на среднее арифметическое и дисперсию при ограниченном числе наблюдений . . . . .	76
26. Учет исключительных показателей . . . . .	78
27. Связь между погрешностью оценки среднего и числом проб . . . . .	80
28. Формулы характеристик опробуемых массивов . . . . .	82
29. Закономерности распределения массовой доли компонентов в точечных пробах . . . . .	82
<b>V. Закономерности образования проб</b> . . . . .	86
30. Взаимосвязь между точечной и объединенной пробами . . . . .	86
31. Покусковая дисперсия и дисперсия неоднородности массива . . . . .	89
32. Минимальная масса для однородного и неоднородного массива . . . . .	90

33. Оптимальный пробоотбор . . . . .	92	71. Особенности систем уравнений технологического баланса . . . . .	191
34. Общая закономерность изменения минимальной массы пробы от крупности кусков для однородного массива . . . . .	94	72. Расчет сложных схем . . . . .	202
35. Полные и рабочие формулы минимальной массы пробы для однородного массива . . . . .	95	73. Вероятная систематическая погрешность расчетных показателей . . . . .	204
36. Экспериментальный метод определения коэффициентов упрощенных формул . . . . .	101	<b>XI. Расчет товарного баланса и погрешности расчетных показателей . . . . .</b>	<b>204</b>
37. Общая закономерность изменения минимальной массы от массы точечной пробы для неоднородного массива . . . . .	104	74. Общее определение. Полная формула товарного баланса . . . . .	206
38. Минимальная масса и число точечных проб при случайном изменении свойств неоднородного массива . . . . .	105	75. Невязка . . . . .	206
39. Экспериментальное определение дисперсии точечных проб . . . . .	108	76. Систематическая погрешность невязки . . . . .	208
40. Минимальная масса и число точечных проб при закономерном изменении свойств неоднородного массива . . . . .	110	77. Вероятная систематическая погрешность невязки . . . . .	209
41. Минимальная масса пробы для определения содержания класса крупности, ограниченного с одной стороны . . . . .	112	78. Погрешность невязки, вызываемая неполным учетом продуктов в емкостях . . . . .	210
42. Минимальная масса пробы для определения содержания узких классов . . . . .	116	79. Случайная погрешность невязки . . . . .	211
43. Закономерности образования проб . . . . .	118	80. Закономерности изменения невязки с увеличением массовой доли компонента в руде . . . . .	213
<b>VI. Закономерности преобразования проб . . . . .</b>	<b>119</b>	81. Товарное извлечение . . . . .	215
44. Типичные операции преобразования проб . . . . .	119	82. Связь товарного и технологического балансов . . . . .	216
45. Погрешность сокращения пробы . . . . .	121	83. Методика расчета и анализа товарного баланса . . . . .	216
46. Погрешность подготовки пробы . . . . .	123	84. Корректировка балансов . . . . .	227
47. Погрешность отбора навески для анализа . . . . .	125	<b>XII. Практика опробования на горно-обогатительных комбинатах . . . . .</b>	<b>227</b>
48. Погрешность выделения навески при геофизических методах анализа . . . . .	128	85. Опробование на железорудных фабриках . . . . .	227
49. Погрешность подготовки пробы с обогащением . . . . .	130	86. Опробование на фабриках цветной металлургии . . . . .	239
<b>VII. Погрешность результата опробования . . . . .</b>	<b>132</b>	87. Система опробования на прииске . . . . .	249
50. Структура погрешности результата . . . . .	132	88. Опробование на углеобогатительных фабриках . . . . .	256
51. Методы выявления и устранения систематической погрешности результата опробования . . . . .	133	89. Опробование на кварцеобогатительных фабриках . . . . .	262
52. Общая формула и диаграмма формирования случайной погрешности результата опробования . . . . .	136	90. Опробование на асбестообогатительных фабриках . . . . .	268
53. Экспериментальный метод определения случайных составляющих погрешности результата опробования . . . . .	139	Список литературы . . . . .	283
<b>VIII. Методика расчета и оптимизации опробования . . . . .</b>	<b>140</b>		
54. Расчет погрешностей опробования . . . . .	140		
55. Расчет опробования для заданных условий — синтез . . . . .	144		
56. Оптимизация опробования . . . . .	149		
<b>IX. Способы и системы отбора и подготовки проб . . . . .</b>	<b>151</b>		
57. Отбор проб и опробование в забоях . . . . .	151		
58. Отбор проб и опробование неподвижных масс . . . . .	152		
59. Отбор проб и опробование перемещаемых масс . . . . .	156		
60. Пробоотборные устройства, выделяющие пробу способом поперечных сечений . . . . .	159		
61. Пробоотбиратели для отбора проб способом продольных сечений . . . . .	165		
62. Опробование способом продольных сечений с помощью датчиков . . . . .	170		
63. Пробоотбиратели, основанные на извлечении элементов потока . . . . .	171		
64. Подготовка проб . . . . .	173		
65. Проборазделочные машины . . . . .	179		
66. Системы отбора и подготовки проб руды . . . . .	180		
67. Системы отбора и подготовки пульпообразных проб . . . . .	183		
68. Контейнерная доставка проб . . . . .	187		
<b>X. Расчет технологического баланса и погрешности расчетных показателей . . . . .</b>	<b>189</b>		
69. Основные понятия. Решение систем технологического баланса . . . . .	189		
70. Погрешность расчетных показателей . . . . .	193		