МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Научный Совет по методам технологических исследований

Методические рекомендации
№ 11

Согласовано
Зам. начальника
Технического управления
Мингео СССР
И.И.Малков

ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ РУД ИНДУКЦИОННЫМ РАДИОРЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ (ИРМ)

Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС)

Москва, 1980

В соответствии с приказом Мингео СССР № 513 от 12 февраля 1976 года методические рекомендации № 11, разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом минерального сырья /В.А.Лилеевым, В.В.Зверевым, Е.Н.Гулиным/, рассмотрены секцией обогащения /протокол № 4 от 17 октября 1980г./ и рекомендованы Бюро Научного совета по методам технологических исследований /протокол № 11 от 17 октября 1980г./

Председатель НСОМТИ	И.В.Шманенков
Председатель секции обогащения	В.А.Мокроусов
Ученый секретарь	Е.П.Сахарова
Секретарь секции обогащения	Е.П.Бродинина

Содержание

I. Введение 4
2. Методика оценки обогатимости руд 7
2.I. Задачи и объемы работ на различных стадиях разведки месторождения..... 8
2.2. Изучение свойств руд, влияющих на радиометрическую обогатимость I0
2.3. Сепарация руды I2
3. Сочетание ИРМ с последующими технологическими процессами 28
4. Исходные данные для технико-экономических расчетов 29
5. Техника безопасности 30
Литература 30

Методические рекомендации № II рассмотрены в соответствии с приказом Мингео СССР № 513 от I2 февраля 1976г. Научным советом по методам технологических исследований (протокол № II от I7 октября 1980г.) и рекомендованы к утверждению и вводу в действие с 0I.0I.1981.

I. В В Е Д Е Н И Е

Индукционный радиорезонансный метод сепарации руд /ИРМ/ относится к радиометрическим обогатительным процессам [6]. В этом методе обогащения используется различие минералов в удельном электрическом сопротивлении, проявляющемся при их взаимодействии с электромагнитными полями радиоволн /$10^5 \div 10^{15}$нм/.

Результат этого взаимодействия в ИРМ оценивается количественно по уменьшению абсолютной величины энергии, излучаемой источником, когда в ближнюю зону излучателя попадает кусок руды, обладающий электропроводностью.

В качестве излучателя в ИРМ чаще всего используются колебательные системы, состоящие из электрического конденсатора и катушки индуктивности, соединенных в виде замкнутого контура. Значение излучаемой источником энергии измеряют по величине добротности контура, которая численно равна отношению энергии, запасенной в контуре, к энергии, теряемой последним за один период колебаний.

Потери энергии в контуре в общем случае тем выше, чем больше электропроводность куска руды, попадающего в ближнюю зону действия, например, катушки индуктивности.

Экспериментально установлена связь между реакцией измерительной системы /пропорциональной изменению добротности контура/ и содержанием определяемого компонента в измеряемом куске руды.

$$У_{(Q)} = A \cdot c \cdot e^{-a \cdot r^2} \quad (I),$$ где

$У_{(Q)}$ – реакция измерительной системы, %;

A – постоянный коэффициент, характеризующий чувствительность измерительной системы;

c – содержание определяемого компонента в куске руды,

a – коэффициент, пропорциональный количеству магнитных силовых линий, приходящихся на единицу площади ближней зоны действия катушки индуктивности, $1/м^2$;

r – расстояние от центра куска руды до центра датчика /катушки индуктивности/, м.

В табл. I приведены величины удельных электрических сопротивлений для некоторых чистых минералов и горных пород[7,8]. Наибольшей электропроводностью обладают сульфидные минералы и их аналоги. Электропроводность несульфидных минералов ниже на много порядков. Если для рудной части величина $\rho_v \leq 10^{-1}$ Ом, а для вмещающих пород она составляет 10^{1} Ом и выше, то возможно успешное применение ИРМ при высокой селективности процесса разделения. Следует отметить, что электропроводность кусков руды, представляющих собой гетерогенные системы, зависит от текстурно-структурных особенностей, фазового и минерального состава, водонасыщенности и других факторов. Поэтому при оценке обогатимости руд ИРМ конкретного месторождения свойства кусков руды должны изучаться специально. Как показал практический опыт сепарации и результаты исследований, влажность на рекомендуемых для ИРМ сепарации частотах 1,76 и 13,56 МГц не оказывает влияния на практические показатели сепарации руд.

Индукционный радиорезонансный метод предназначен для обогащения фракций – 150/200/ + 10/15/ мм руд. Он может быть применен к рудам медно-никелевым, никель-кобальтовым, вольфрамовым, оловянным, медно-колчеданным, медно-молибденовым, свинцово-цинковым, железным /магнетитовым/, марганцевым и многим другим. С помощью ИРМ могут решаться следующие основные технологические задачи:

предварительное обогащение перед последующим глубоким обогащением, металлургической или химико-технологической переработкой;

Таблица I

Величины удельного электрического сопротивления ρ_v для некоторых минералов и горных пород

Минералы	ρ_v	Минералы, горные породы	ρ_v
Пирротин	2.10^{-6} – $1,6\ 10^{-4}$	Кварц	10^{12} – 10^{16}
Пирит	$1,4\ 10^{-5}$–10^{-1}	Кальцит	6.10^{7}–10^{14}
Пентландит	10^{-6}–10^{-5}	Альбит	$2,5.10^{7}$–10^{12}
Ковеллин	3.10^{-7}–$8,3.10^{-5}$	Микроклин	4.10^{10}
Арсенопирит	2.10^{-5}–2.10^{-2}	Слюды	10^{9}–10^{16}
Галенит	3.10^{-6}–$1,2.10^{2}$	Серпентин	10^{5}
Халькозин	8.10^{-5}–10^{-2}	Хлориты	2.10^{10}
Марказит	10^{-3}–$1,5.10^{-1}$	Ангидрит	10^{7}–10^{10}
Халькопирит	$1,2.10^{-5}$–6.10^{-2}	Сидерит	10–10^{3}
Смальтин	$1,1.10^{-6}$–$1,2.10^{-5}$	Гранит	7.10^{3}–3.10^{4}
Никелин	$1,1.10^{-7}$–2.10^{-6}	Базальт	2.10^{3}–4.10^{4}
Кобальтин	10^{-5} – 9.10^{-1}	Диабаз	6.10^{5}–2.10^{6}
Магнетит	3.10^{-5}–10^{4}	Гнейс	10^{4} – 10^{7}
Манганит	$1,2.10^{-2}$–3.10^{-1}	Перидотит	4.10^{5}–10^{7}
Цинкит	$1,5.10^{-3}$	Скарн	10^{3}–10^{7}
Антрацит	10^{-4}–10^{-2}	Филлит	10^{3}– 10^{5}
Графит	10^{-6}– 10^{-4}		

разделение руд на технологические типы;

выделение продукта, пригодного для последующей переработки без стадии глубокого обогащения.

Применение ИРМ позволяет улучшить технико-экономические показатели переработки различных видов полезных ископаемых, повысить полноту и комплексность использования разведанных запасов. Настоящие методические рекомендации

разработаны на основе обобщения выполненных в ВИМСе работ по применению ИРМ к различным полезным ископаемым в лабораторном и укрупненном лабораторном масштабах с учетом требований к методическим материалам по ГОСТ 8.010-77, 8.001-72, 8.042-72, 16263-70.

Методические рекомендации предназначены для отраслевых институтов Мингео СССР, технологических лабораторий, геологических управлений, геологических партий и могут быть использованы другими организациями, которые разрабатывают технологию обогащения минерального сырья.

2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБОГАТИМОСТИ РУД

Оценка обогатимости руд радиорезонансным методом включает два этапа:

1. Изучение свойств руд, влияющих на обогатимость радиометрическими методами: содержание основного, попутных и "мешающих" химических элементов; гранулометрический состав, контрастность, эффективность признака разделения.

2. Опыты обогащения на радиорезонансных сепараторах.

Основные задачи первого этапа заключаются в выяснении принципиальной возможности применения ИРМ, определении теоретических и предельно возможных показателей сепарации, формулировке технологической задачи, которая может быть решена рассматриваемым способом. На втором этапе решаются следующие задачи: нахождение режимов сепарации, определение практических технологических показателей, разработка и уточнение технологической схемы обогащения, получение продуктов для последующей переработки другими способами, выдача данных для расчета кондиций, составления ТЭО, ТЭД и др.

Конечной задачей оценки обогатимости руд с помощью ИРМ является разработка оптимальной технологии их обогащения, обеспечивающей технически и экономически наиболее полезные показатели при положительном экономическом эффекте. Эти данные необходимы для проектирования обогатительной фабрики.

Задачи работ, их объем определяются тем, на какой стадии геологоразведочного процесса они производятся. Сами эти работы осуществляются в лабораторном, укрупненном лабораторном и полупромышленном /опытно-промышленном/ масштабах.

2.I. Задачи и объемы работ на различных стадиях разведки месторождения

Стадия поисков /подстадия поисково-оценочных работ/. На этой стадии оценка обогатимости выполняется для выяснения принципиальной возможности применения ИРМ, поэтому она носит поисковый характер. Работа проводится в лабораторном масштабе на частных пробах, отбираемых обычно с поверхностных горных выработок или от керна буровых скважин. Методика отбора проб как на этой, так и на всех последующих стадиях геологоразведочных работ должна отвечать существующим требованиям к опробованию месторождений полезных ископаемых с учетом необходимости и целесообразности раздельного изучения геолого-минеральных разновидностей руд /технологических типов руд/[I].

На стадии поисков оцениваются в первом приближении контрастность руды и эффективность признака разделения, а также возможные результаты обогащения. При этом используются способы, описанные ниже. Гранулометрический состав руды /соотношение выхода отдельных классов/ на этой стадии обычно не определяется из-за малой представительности проб по этому свойству.

Стадия предварительной разведки. Основная задача работы по оценке обогатимости на этой стадии заключается в получении данных, необходимых для решения вопроса о промышленном значении месторождения. Работа выполняется в лабораторном или укрупненном лабораторном масштабах на пробах, представляющих различные типы руд разведываемого месторождения. Исследования включают изучение свойств руд и проведение их индукционной радиорезонансной сепарации. Определяются теоретически возможные показатели обогащения, устанавливаются режимы сепарации, разрабатывается принци-

пиальная схема обогащения, дается классификация руд по обогатимости, накапливается обогащенный продукт, который при необходимости направляется на дальнейшие технологические лабораторные испытания. По комплексу проведенных исследований выдаются данные, необходимые для расчета временных кондиций и ТЭО детальной разведки, а также для проектирования опытной установки.

Стадия детальной разведки. На данной стадии разрабатывают технологию обогащения руд ИРМ, выдают данные, необходимые для оценки экономической эффективности процесса и для проектирования радиометрической обогатительной фабрики. Исследования проводятся в два этапа – в укрупненном лабораторном и полупромышленном масштабах. На первом этапе уточняют результаты ранее проведенных исследований и по совокупности данных рекомендуют технологическую схему полупромышленных испытаний индукционной радиорезонансной сепарации.

При полупромышленных испытаниях отрабатывается оптимальная технология сепарации, устанавливаются технологические показатели обогащения. Поскольку конечный обогащенный продукт после сепарации обычно подвергается дальнейшей переработке /глубокое обогащение или химико-технологический передел/, его накапливают в количестве, необходимом для дальнейших полупромышленных испытаний.

Технологические свойства руды и экономическую эффективность освоения месторождения, необходимые для подсчета запасов, оценивают на основании разработанной комбинированной схемы обогащения с индукционной радиометрической сепарацией в голове процесса.

На данном этапе работ при необходимости может проводиться и опытно-промышленная эксплуатация участков месторождения.

Стадии разведки эксплуатируемого месторождения и эксплуатационной разведки. На этих стадиях основной задачей оценочных работ является установление возможности обогащения дополнительно разведанных руд по принятой технологической схеме. Работы выполняют в таком же объеме, как и на стадии предварительной разведки. Если свойства руд

существенно отличаются, исследования необходимо провести в объемах, предусмотренных при детальной разведке.

Масса и крупность единичных технологических проб на различных стадиях и этапах работ. Требования к массе пробы, крупности составляющих ее кусков руды определяются задачами, поставленными при оценке обогатимости, вытекающими из необходимой детальности исследований, на той или иной стадии геологоразведочных работ. Общие требования к единичным технологическим пробам даны в табл. 2.

В каждом конкретном случае масса, крупность и число технологических проб могут уточняться в зависимости от особенностей руды, строения месторождения и способов его разведки.

Таблица 2

Масса и крупность единичных технологических проб

Стадия	Характер работ	Масса пробы, т	Диапазон крупности кусков, мм
Поиски /поисково-оценочные работы/	Поисково-лабораторные	0,030-0,050	-75+25
	Лабораторные	0,050-0,100	-75+25
Предварительная разведка	Лабораторные	0,2-0,5	-150/100/
	Укрупненные лабораторные	1,0-2,0	-150/100/
Детальная разведка	Укрупненные лабораторные	2,0-5,0	-150/200/
	Полупромышленные	100,0-500,0	-150/200/
	Опытно-промышленные	5000-10000	-150/200/

2.2. Изучение свойств руд, влияющих на радиометрическую обогатимость

На эффективность радиометрического обогащения оказывают влияние следующие свойства руды:

1/ содержание в ней ценных /основного и попутных/ и мешающих компонентов;

2/ гранулометрический состав;

3/ контрастность;

4/ эффективность выбранного признака разделения [6].

Первые три свойства изучаются одинаково для всех обогатительных радиометрических процессов в соответствии с уже утвержденными рекомендациями [3]. Поэтому в данных методических рекомендациях подробно рассматривается изучение эффективности признака разделения, используемого при индукционной радиорезонансной сепарации руд. Изучать ее целесообразно, как правило, в том случае, когда первые три свойства руды оказались благоприятными для радиометрического обогащения.

Содержание ценных и вредных компонентов

При изучении этого свойства определяются:
содержание ценных /основного и попутных/ компонентов;
содержание вредных примесей, то есть близких по удельному электрическому сопротивлению к ценным компонентов;
общий характер связи этих компонентов с основным полезным компонентом сырья.

Первая и вторая задачи решаются по данным аналитических исследований пробы.

Для решения третьей задачи сначала используются сведения о существующих минеральных ассоциациях, корреляционных связях элементов и т.п., полученные при геолого-геофизическом изучении месторождения. Затем этот вопрос более детально изучается при определении контрастности и эффективности признака разделения.

Гранулометрический состав. Для определения гранулометрического состава пробы подвергают грохочению на следующие классы крупности, мм:

+150	-50+30
-150 +75	-30+10
-75 +50	-10

На стадиях поисков и предварительной разведки шкалу грохочения можно изменять, выделяя классы: +100мм; -100+75 мм; -75+50 мм; -50+25 мм. Дальнейшую работу выполняют в соответствии с существующими методическими рекомендациями [3].

Контрастность руд. Контрастность руды /степень различия ее кусков по содержанию в них полезного

компонента/ изучается, как уже отмечалось, в соответствии с утвержденными методическими рекомендациями [3]. Куски руды, которые использовались для определения контрастности руды, являются исходной пробой для изучения эффективности разделительного признака Эп. Для количественной характеристики Эп требуется знать величину показателя контрастности. Методика обработки результатов, полученных при определении разделительного признака и контрастности руды, имеют много общего. Поэтому оба эти свойства руды следует изучать во взаимосвязи.

Эффективность признака разделения. Содержание ценных компонентов в продуктах разделения – один из основных технологических показателей, по которому оценивается эффективность любого метода обогащения. При радиометрическом обогащении, как и при других обогатительных процессах, разделение руды на продукты осуществляется не по содержанию полезного компонента, а по какому-либо физическому свойству с ним связанному – признаку разделения. Для индукционной радиорезонансной сепарации таким признаком разделения служит электропроводность кусков руды, количественно оцениваемая по влиянию кусков на добротность измерительного контура.

Естественно, что эффективность ИРМ во многом зависит от степени соответствия между величиной изменения добротности контура и содержанием в куске ценного компонента, поэтому необходима некоторая корреляция между этими величинами. Однако существуют причины, нарушающие соответствие между ними: колебание массы кусков даже в пределах определенного класса крупности; присутствие в кусках руды других минералов, близких по электропроводности к ценному минералу; характер распределения минералов в кусках руды и др. Для некоторых типов руд полезных ископаемых причиной нарушения соответствия может явиться присутствие в руде минералов с высокой магнитной восприимчивостью, например, для сульфидных медно-никелевых руд таким минералом является магнетит.

Эффективность признака разделения измеряется на специальной для каждого радиометрического метода аппаратуре,

позволяющей определить величину признака разделения для каждого куска пробы, в которых затем определяется и содержание ценного компонента.

Данные, полученные в результате измерения разделительного признака кусков руды, группируются во фракции, являющиеся основой для построения кривых обогатимости полезного ископаемого по изучаемому признаку разделения. Сравнение кривых обогатимости и контрастности дает возможность судить об эффективности изучаемого признака разделения: чем ближе конфигурация кривых обогатимости к соответствующим кривым контрастности, тем эффективнее признак разделения. Кроме графического способа оценки степени соответствия величины признака разделения и содержания ценного компонента, существует способ количественного определения эффективности признака разделения - с помощью расчета показателя признака разделения. Этот показатель является средневзвешенным относительным отклонением содержания ценного компонента во фракциях, сгруппированных по величине признака разделения, от среднего содержания данного компонента в руде. Величина показателя признака разделения определяется по уравнению:

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |z - a| \gamma_\Phi}{100 \cdot a} \quad /2/, \text{ где}$$

Π - показатель признака разделения /отвлеченное число/;

n - число фракций, на которые разделены пробы руды;

a - среднее содержание ценного компонента в руде, %;

z - среднее содержание ценного компонента во фракциях, %;

γ_Φ - выходы отдельных фракций, %.

Во фракциях, сгруппированных по величине признака разделения, не будет такого строгого распределения кусков по содержанию ценного компонента, как было бы при группировке их непосредственно по содержанию ценного компонента. Поэтому естественно, что показатель признака разделения меньше показателя контрастности. Величина отношения $\frac{\Pi}{M}$ количественно характеризует эффективность признака разделения Эп. Ниже /стр. I8 / приведен пример расчета эффективности признака разделения.

Изучение эффективности признака разделения следует

проводить параллельно с изучением контрастности руд на тех же кусковых пробах, взятых от каждого из сепарируемых классов. Число кусков в каждой пробе должно быть не менее 100. После промывки, высушивания при комнатной температуре, маркировки, взвешивания и определения плотности, проведенных обычно при изучении контрастности руды, куски измеряют на специальной аппаратуре для количественной оценки признака разделения.

Аппаратура для изучения признака разделения /АПР/

Аппаратура для оценки признака разделения при индукционной радиорезонансной сепарации состоит из серийного измерителя добротности контура /куметр/ Е4 -7[x/] и двух сменных измерительных датчиков индуктивного типа на частоты 1,76 и 13,56 МГц. При исследовании частотных характеристик руд различных типов в диапазоне радиоволн от 0,44 до 27,12 МГц установлено, что наиболее оптимальными для ИРМ сепарации являются частоты 1,76 МГц для руд с высокой электропроводностью и 13,56 МГц для руд с низкой электропроводностью, а также для руд, содержащих попутные минералы с высокой магнитной восприимчивостью.

Эти датчики являются нестандартными частями аппаратуры. Конструкция их проста и они могут быть изготовлены на месте. Общий вид их представлен на рис. 1.

Оба датчика выполнены в виде плоской намотки медного провода, заключенной между двумя плексиглазовыми пластинами, толщиной 5 мм и размером 170х160 мм, закрепленными на четырех опорных стойках, высотой 90 мм.

Датчик соединяется с куметром с помощью коротких проводов, снабженных вилочными разъемами.

Датчики отличаются между собой диаметром медного про-

---

x/ Техническая характеристика куметра представляется в документации, поставляемой вместе с прибором, поэтому здесь указаны только некоторые параметры:

Диапазон частот генератора 50 – 35000 кГц.
Пределы непосредственного отсчета добротности 5 – 1000 усл. ед.
Питание от сети переменного тока частотой 50 Гц –220в.
Потребляемая мощность не более 150 Вт.
Габаритные размеры 490 х 235 х 475 мм.

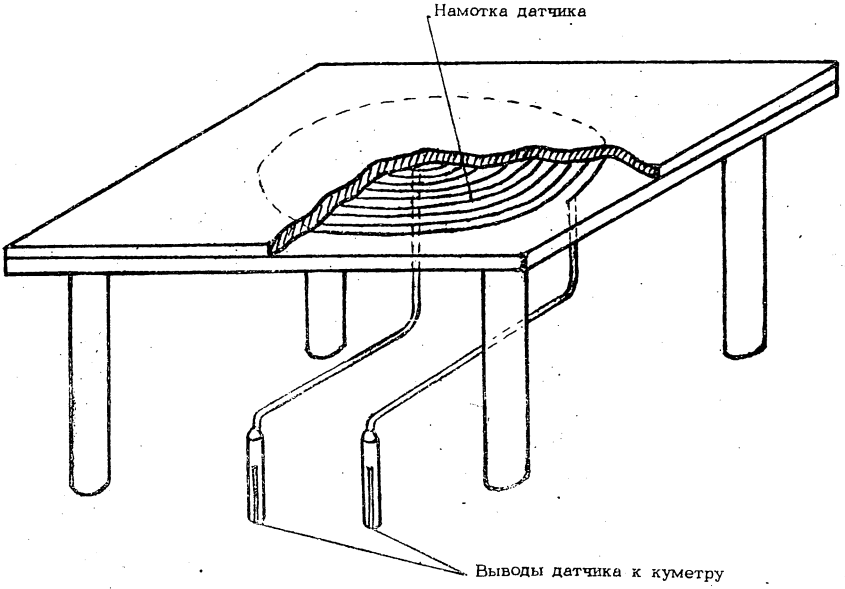


Рис.I. Схема измерительного датчика.

вода, шагом намотки и числом витков, что и приводит к различию их рабочих характеристик (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики датчиков

Рабочая частота, МГц	I,76	I3,56
Добротность контура, усл.ед.	270	300
Емкость, Ф	320.10^{-12}	$29,7.10^{-12}$
Индуктивность, Гн	$27,8.10^{-6}$	395.10^{-6}
Диаметр намотки, мм	I30	I00
Число витков	24	II
Диаметр провода, мм	I,3	I,8
Шаг намотки, мм	I,3	2,7

Подготовка аппаратуры к измерениям. После подключения к куметру измерительного датчика подготовка прибора проводится в соответствии с инструкцией. При этом требуется выполнять следующие операции:

I. Включить энергопитание куметра .

2. Выбрать необходимый диапазон и установить рабочую частоту генератора /I,76 или I3;56 МГц/.

3. Установить оптимальный уровень напряжения генератора .

4. Настроить измерительный контур в резонанс, изменяя емкость измерительного конденсатора ручкой прибора "емкость pF.

5. Внести в рабочий журнал исходные показания куметра.

После выполнения этих операций прибор готов к работе.

При работе на куметре постоянно контролируют исходную добротность колебательного контура Q_0 , которая не должна отличаться от паспортного значения более, чем на I,5% /относит/.

В случае значительного отклонения режимов от исходных значений, проводится подстройка аппаратуры.

Проведение измерений. При измерении кусков полезного ископаемого на куметре проводятся следующие операции:

I. Аппаратура включается и прогревается не менее 30 мин.

2. Устанавливается рабочий режим /как было указано выше/.

3.Кусок помещается в центре датчика.

4. Ручкой прибора "емкость pF" производится подстройка измерительного контура до положения, при котором прибор показывает максимальное значение добротности. После этого со шкалы снимается показание Q_i , которое характеризует изменение добротности контура за счет электропроводности куска руды.

5. Кусок снимается с датчика.

6. Результаты записываются в рабочий журнал /табл. 4, колонки I и 4/.

7. Аппаратура приводится в исходное положение.

Результаты измерений рассчитываются по уравнению:

$$\delta Q_i = \frac{Q_o - Q_i}{Q_o} 100\% \qquad /3/$$

Относительные изменения добротности контура δQ_i, характеризующие величину признака разделения, вносятся в колонку 5. Колонки 2 и 3 заполняются данными, полученными при изучении контрастности руды.

Таблица 4

Результаты измерения кусков руды при оценке ее обогатимости

М = ..., рабочая частота ..... МГц

Проба ..... Класс ..... мм

№№ пп	Масса, г	Плотность, Q_i г/см^3	Q_i услед.	δQ_i %	Содержание изучаемых компонентов, %			
					C_1	C_2	C_3	C_4
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I	I60,7	3,35	I40	6I,2	I,5	7,74	I7,03	...
2	206,5	2,78	346	3,9	0,02	0,06	0,98	...
	...	....	...	...	....	....	....	...

Обработка результатов измерений. Данные табл. 4 являются основой для расчета показателя признака разделения П и координат кривых обогатимости, по которым определяются предельно возможные технологические показатели обогатительного процесса для изучаемых руд и метода обогащения.

Расчет координат кривых обогатимости и способ их построения подробно описан в литературе[4]. Ниже приведен пример, который послужит к тому же и иллюстрацией способа расчета показателя признака разделения.

Данные, приведенные в колонках 5 и 6 табл. 4, группируются во фракции по возрастанию величины признака разделения, в данном случае увеличения относительной добротности контура δQ_i. При этом число фракций должно быть не менее 7–8. Каждая из них будет характеризоваться пре-

делать снижения добротности контура, выходом и содержанием изучаемого компонента. Все эти величины заносятся в табл. 5, колонки I–5. Затем производятся расчеты по формулам, приведенным в каждой колонке, и результаты записываются в соответствующие колонки этой таблицы.[x]

По итоговым данным колонок 5 и 9, используя уравнение /2/, расчитывается показатель признака разделения.

В данном случае $П = \frac{I57,86}{I,342 \times I00} = I,I8.$

Величина показателя признака разделения, как очень важная для оценки обогатимости испытываемой руды данным методом, записывается в заголовке табл. 5, где фиксируется показатель контрастности М, способ определения которого подробно описан в методических рекомендациях [3].

Для дальнейших исследований по величине П выбирается рабочая частота, которая обеспечивает получение более высокого показателя признака разделения.

Отношение величин $\frac{П}{М} = Эп$ является, как уже отмечалось выше, обобщенной характеристикой эффективности изучаемого признака разделения для данной руд, позволяющей сравнивать различные методы обогащения. При этом можно пользоваться следующей условной классификацией:

высокая эффективность $Эп > 0,9$
хорошая эффективность $Эп = 0,9–0,8$
средняя эффективность $Эп = 0,8–0,6$
низкая эффективность $Эп = 0,6–0,4$
неудовлетворительная эффективность $Эп < 0,4$

В последнее время для обогащения крупных классов полезных ископаемых расширяется применение гравитационных процессов, поэтому при испытаниях руд на обогатимость целесообразно рассчитывать эффективность признака разделения при использовании в качестве такового плотности кусков руды. Необходимые для этого данные (табл. 4, колонка 3) получаются при изучении контрастности руды. Способ их обработки аналогичен описанному выше.

[x] Приведенные в табл. 5 границы фракций могут быть изменены в зависимости от свойств руды.

Метод.реком.№ II
Таблица 5

Фракционный состав кривых обогатимости и предельные технологические показатели сепарации

Проба .... Класс ....., мм $M = I,40$ $a = I,342\%$ $\Pi = I,I8$ $Э_п = 0,84$

Фракции							Данные для расчета показателя признака разделения		Предельные технологические показатели								Ординаты кривой λ
									Хвосты (кривая Q)				Концентрат (кривая β)				
Номер	Границы класса, мм от	до	Выход γ_i	Содержание компонента c_i	Количество компонента $\gamma_i c_i$	Извлечение компонента $\frac{\gamma_i c_i}{100}$	$\lvert c_i - a \rvert$	$\frac{\lvert c_i - a \rvert \gamma_i}{100}$	Выход $\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i$	Количество компонента $\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i c_i$	Содержание компонента $\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i c_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i}$	Извлечение компонента $\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\gamma_i c_i}{100\,a}$	Выход $100 - \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i$	Количество компонента $100a - \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i c_i$	Содержание компонента $\frac{100a - \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i c_i}{100 - \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i}$	Извлечение компонента $100 - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\gamma_i c_i}{100\,a}$	
	%		%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
													I00,0	I34,I55	I,342	I00,0	
1		0	I0,0	0,083	0,832	0,6	I,259	I2,59	I0,0	0,832	0,083	0,6	90,0	I33,323	I,48I	99,4	5,0
2	0,I	3,0	9,0	0,054	0,488	0,4	I,288	II,59	I9,0	I,320	0,069	I,0	8I,0	I32,835	I,640	99,0	I4,5
3	3,I	5,0	I7,0	0,I06	I,807	I,3	I,236	2I,0I	36,0	3,I27	0,087	2,3	64,0	I3I,028	2,047	97,7	27,5
4	5,I	I0,0	I8,0	0,III	2,005	I,5	I,23I	22,I6	54,0	5,I32	0,095	3,8	46,0	I29,023	2,805	96,2	45,0
5	I0,I	20,0	I6,0	0,I42	2,265	I,7	I,200	I9,20	70,0	7,397	0,I06	5,5	30,0	I26,758	4,225	94,5	62,0
6	20,I	30,0	2,0	0,409	0,8I8	0,6	0,933	I,87	72,0	8,2I5	0,II4	6,I	28,0	I25,940	4,498	93,9	7I,0
7	>30,0		28,0	4,498	I25,940	93,9	3,I56	69,43	I00,0	I34,I55	I,342	I00,0					86,0
	Исх.класс		I00,0	I,342	I34,I55	I00,0		I57,85									

Показатели контрастности и признаков разделения удобны для первичной оценки обогатимости руды и сравнения эффективности различных методов обогащения.

Для определения технологических показателей и режимов обогатительных процессов требуется строить кривые обогатимости.

С их помощью можно определять количество и качество продуктов, которые теоретически должны получаться при сепарации полезного ископаемого, задаваясь различной величиной признака разделения. Или, наоборот, задаваясь только одним технологическим показателем, можно определить все остальные, а также величину разделительного признака, при которой они получаются.

Для этого на одном графике строятся три кривые, отображающие:

I/ зависимость выхода элементарных фракций от содержания в них изучаемого компонента - кривая λ .

2/ зависимость среднего содержания изучаемого компонента в обедненном продукте /хвостах/ от выхода этого продукта - кривая θ .

3/ зависимость среднего содержания изучаемого компонента в обогащаемом продукте /концентрате/ от выхода этого продукта - кривая β .

Кривые строятся в прямоугольной системе координат (рис. 2). Координаты точек для построения кривых берутся из колонок табл. 5: для кривой λ из 5 и I8, кривой θ из I2 и I0 , кривой β из I6 и I4.

Ниже приведен пример пользования кривыми обогатимости.

Пусть требуется определить технологические показатели при выделении из полезного ископаемого 20% хвостов.

Через соответствующую точку оси ординат проводится прямая линия, параллельная горизонтальной оси.

Абсциссы точек ее пересечений с кривыми θ и β покажут: содержание компонента в хвостах (0,07%) и в концентрате (I,66%).

Анализ результатов изучения свойств руды. По результатам, полученным при изучении свойств руды, производится интегральная оценка ее теоретической обогатимости. При этом

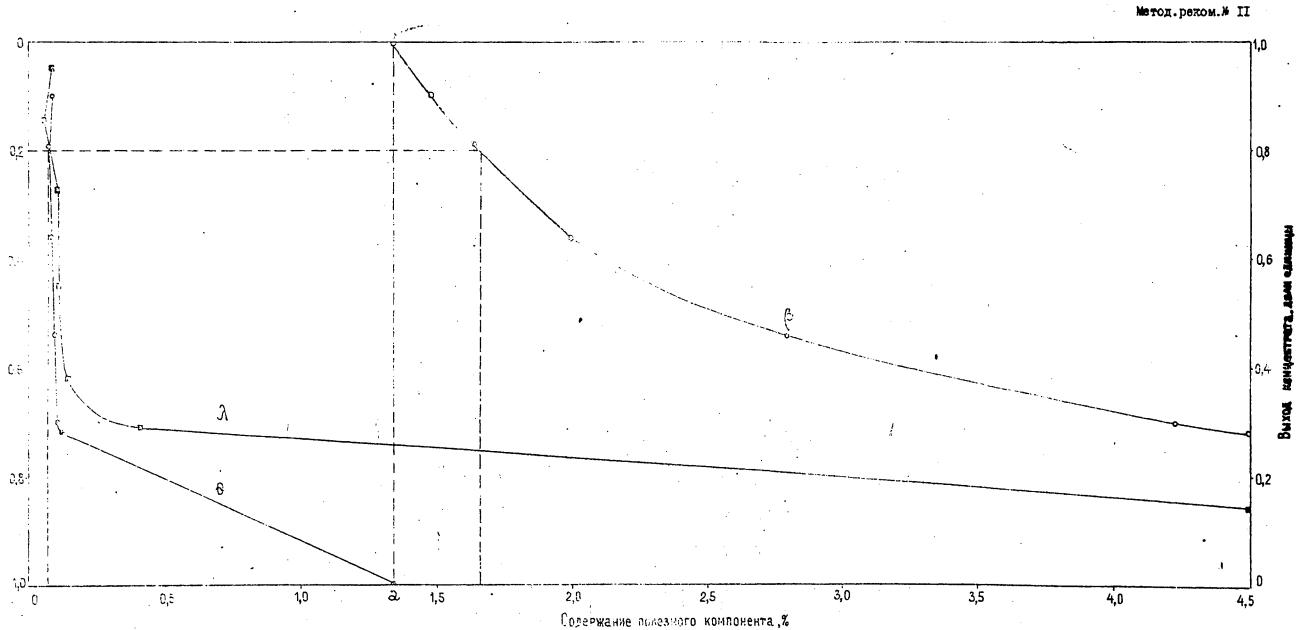


Рис. 2. Кривые обогатимости.

должны быть сделаны заключения по следующим вопросам:

возможность применения ИРМ,

решаемая технологическая задача,

предельные технологические показатели обогащения по основным полезным компонентам руды.

При благоприятных результатах этого комплекс данных используется и при практическом осуществлении сепарации руд, что входит в задачу второго этапа оценки обогатимости.

2.3. Сепарация руды

Принципиальная схема предварительной подготовки руды к сепарации и проведения этого процесса изображена на рис.3.

Согласно схеме, предусматривается грохочение проб на 6 классов крупности, додрабливание класса +150 мм, отбор частных кусковых проб от каждого класса для изучения свойств сепарации каждого класса, отбор валовых проб от всех продуктов сепарации для определения содержания основных компонентов.

На этапе лабораторных и укрупненных испытаний класс +150 мм можно не додрабливать, а ограничиваться лишь определением его выхода от исходной рудной массы. В ряде случаев можно установить верхний предел крупности 100 мм /если выход классов -100+10/15/ мм составляет более 60%/.

Допускается изменение границ классов крупности, однако, модуль шкалы грохочения, как правило, не должен быть выше двух. В зависимости от решаемой технологической задачи и свойств руды продукты сепарации и необогащаемый класс обрабатывают по одной из следующих схем:

1. При предварительном обогащении балансовых руд концентраты сепарации от всех классов объединяются, к ним присоединяется необогащаемый класс. Полученный продукт передается на дальнейшую переработку. Хвосты сепарации объединяются и образуют отвальный по содержанию полезных компонентов продукт.

2. При предварительном обогащении забалансовых руд концентраты сепарации от всех классов объединяются, образуя конечный обогащенный продукт. Необогащенный класс (со-

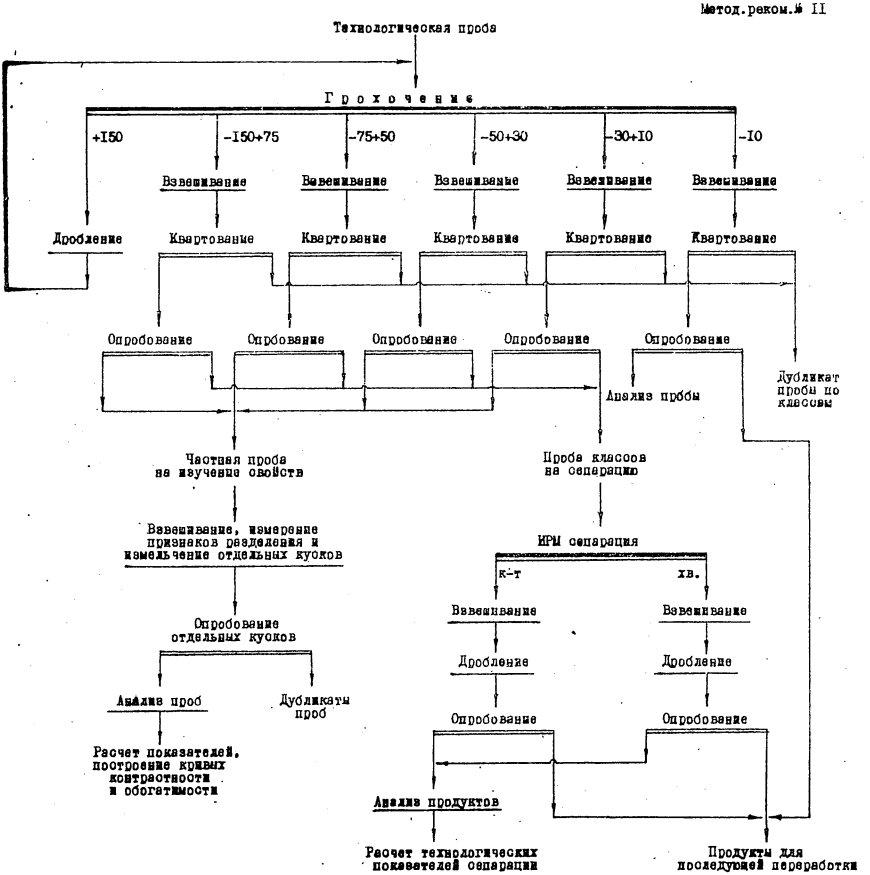


Рис. 3. Схема обработки проб

ли нет его существенного избирательного обогащения) и хвосты образуют отвальный продукт.

3. При разделении руды на технологические типы все продукты сепарации классов объединяют в два продукта, к одному из которых присоединяют необогащаемый класс. В дальнейшем оба конечных продукта обрабатываются отдельно.

В зависимости от конкретных условий возможны и другие операции с получаемыми продуктами сепарации.

Аппаратура для ИРМ сепарации. В настоящее время при оценке обогатимости различных типов руд методом ИРМ применяется специальная установка, разработанная в ВИМСе, включающая приемный бункер для руды / $V = 0{,}5$ м^3/ и одноканальный сепаратор ВИМС–75, работающий на частоте I,76 МГц.

Основные технические характеристики сепаратора:

I. Диапазон крупности сепарируемого материала –50+I0 мм.

2. Тип питателя – электровибрационный.

3. Тип транспортирующего устройства – ленточный транспортер.

4. Скорость движения ленты I,5 м/с.

5. Сортирующее устройство электропневматического типа.

Рабочее давление 6 атм.

Частота срабатывания до 20 Гц.

6. Тип датчиков – проходные, индукционные.

7. Характеристики датчиков

а/ для класса –30+I0 мм:

Рабочее сечение 39,5 см^2

Добротность контура 200 усл.ед.

Индуктивность $28{,}0 \cdot I0^{-6}$ Гн

Емкость $300 \cdot I0^{-I2}$ ф.

Рабочая частота I,76 МГц.

б/ для класса –50+30 мм:

Рабочее сечение III,5 см^2

Добротность контура 225 усл. ед.

Индуктивность $22{,}2 \cdot I0^{-6}$ Гн

Емкость $350 \cdot I0^{-I2}$ ф.

Рабочая частота I,76 МГц.

8. Порог чувствительности датчиков /по изменению добротности контура/ около I%.

9. Тип радиометра автогенераторный.
10. Напряжение питания 220 В, для радиометра и питателя, 380 В, для электродвигателя.
11. Потребляемая мощность 300 Вт.
12. Габариты, мм 3000х 420 х 700.
13. Масса, т 0,30.

Установка работает следующим образом. Куски руды из бункера вибрационным питателем подаются на ленту. Благодаря перепаду скорости, куски отрываются один от другого, что позволяет создать покусковой режим сепарации. Далее куски сходят с транспортерной ленты и в свободном падении проходят через датчик сепаратора, установленный на расстоянии около 50 мм от края транспортера. Если кусок обладает достаточной электропроводностью, радиометр выдает команду на сортирующее устройство, отбрасывающее кусок в концентрат. В противном случае, он попадает в хвостовой или промежуточный продукт сепарации. Величина порога с помощью специальных эталонов устанавливается в радиометре в зависимости от решаемой задачи и свойств сырья.

Следует отметить, что в настоящее время НПО "Свинцветметавтоматика" ведет работу по выпуску опытных образцов радиорезонансных сепараторов для обработки классов -150+10/15/мм на частотах 1,76 и 13,56 МГц.

Сепарация руды. Подготовка аппаратуры к проведению опытов по сепарации заключается в следующем. Радиометр сепаратора включается в электросеть и прогревается в течение 30 минут. По манометру проверяется давление сжатого воздуха около электропневматического клапана. Приводится в движение транспортерная лента. Включается вибропитатель и путем регулирования напряжения устанавливается режим подачи руды, обеспечивающий расстояние между кусками в среднем 70-100 мм.

Перед сепарацией руды необходимо проверить исправность разделяющего механизма. Для этого берется кусок руды, близкий по величине к верхнему пределу крупности данного класса, и с большим содержанием в нем минерала с высокой электропроводностью. Если такой кусок выделяется из руды с вероятностью не менее 0,95, то сепаратор находится в рабочем состоянии.

Для получения требуемых технологических показателей сепарации задаются содержанием ценного компонента в хвостах или концентрате и по кривой обогатимости определяют теоретически возможный выход этого продукта. Затем руду несколько раз пропускают через сепаратор и разделяют ее на пять шесть фракций, причем чувствительность настройки повышают при каждом пропуске. Путем подбора чувствительности настройки добиваются, чтобы суммарный выход трех-четырех последовательно выделенных фракций приближался к выходу выделяемого продукта, определенному по кривым обогатимости. После определения содержания ценного компонента во фракциях находят требуемую чувствительность настройки сепаратора, при которой обеспечиваются технологические показатели, приближающиеся к определенным по кривым обогатимости.

Обработка результатов. После сепарации продукты взвешивают, определяют их выход, затем дробят и отбирают пробы для определения основных, попутных и вредных компонентов. Далее рассчитывают технологические показатели. Так как руда делилась на несколько фракций, то рассчитывают два-три варианта сепарации и выбирают тот, который больше соответствует требованиям поставленной технологической задачи. Полученные данные вносят в табл. 6.

В последней графе таблицы дана эффективность выделения отвальных хвостов Эх, которая рассчитывается как отношение фактического выхода хвостов к теоретически возможному, определяемому по кривым обогатимости, при данном содержании ценного компонента в хвостах.

По результатам сепарации делают заключение о целесообразности применения ИРМ для обогащения изучаемой руды.

Заключительным этапом работы является составление одного или нескольких конечных продуктов сепарации. После элементного и минералогического анализов конечный обогащенный продукт поступает на дальнейшие технологические испытания.

Если сепарацию провести нельзя, а необходимо получить продукты для последующих технологических испытаний, руды разделяют на продукты, используя результаты замеров кусков

Метод.реком.№ II
Таблица 6

Технологические показатели радиорезонансной сепарации

Класс, мм	Настройка усл.ед.	Продукты сепарации	Выход, %		Содержание, %			Извлечение, %						Коэффициент обогащения K_o	Эффективность выделения углеродов Э
			от класса	от исходной руды	C_1	C_2	C_3	От класса E_1	E_2	E_3	От исходной руды E_1	E_2	E_3		
-75+50	59	Концентрат	25,1	9,4	2,240	0,615	0,082	82,1	68,8	72,7	25,8	18,7	21,5	3,27	
		Хвосты	74,9	28,1	0,164	0,094	0,010	17,9	31,2	27,3	5,7	8,5	7,8		0,39
		Исх. класс	100,0	37,5	0,684	0,225	0,028	100,0	100,0	100,0	31,5	27,2	29,3		
-50+30	19	Концентрат	26,0	5,2	2,610	0,734	0,090	89,4	62,1	75,7	16,6	12,3	13,1	3,45	
		Хвосты	74,0	15,0	0,108	0,157	0,010	10,6	37,9	24,3	2,0	7,6	4,2		0,33
		Исх.класс	100,0	20,2	0,757	0,307	0,031	100,0	100,0	100,0	18,6	19,9	17,3		
-30+15	9	Концентрат	26,4	2,8	2,960	0,643	0,105	93,1	58,0	80,7	10,1	5,8	6,2	3,53	
		Хвосты	73,6	7,9	0,078	0,167	0,009	6,9	42,0	19,3	0,7	4,2	2,0		0,85
		Исх. класс	100,0	10,7	0,839	0,293	0,034	100,0	100,0	100,0	10,8	10,0	10,2		
-75+15		Суммарный концентрат	25,4	17,4	2,466	0,655	0,088	86,2	64,4	75,3	52,5	36,8	42,8	3,39	
		Суммарные хвосты	74,6	51,0	0,134	0,124	0,010	13,8	35,6	24,7	8,4	20,3	14,0		
		Обогащаемые классы	100,0	68,4	0,727	0,258	0,030	100,0	100,0	100,0	60,9	57,1	56,8		
-15		Отсев	-	31,6	1,013	0,421	0,049	-	-	-	39,1	42,9	43,2	1,24	
-75+0,0		Обогащенный продукт	-	49,0	1,529	0,504	0,063	-	-	-	91,6	79,7	86,0	1,87	
-75+0,0		Исх.руда	-	100,0	0,818	0,310	0,036	-	-	-	100,0	100,0	100,0		

на датчиках куметра. Для этого выбирается граничная добротность δQ гр, и руда сортируется вручную на два или более продукта обогащения. В этом случае при расчете конечных показателей следует учитывать, что при обработке руды на сепараторе выходы продуктов будут меньше за счет недостаточно совершенной работы сепаратора[5].

По результатам изучения свойств руды и сепарации составляется отчет.

3. СОЧЕТАНИЕ ИРМ С ПОСЛЕДУЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

ИРМ обычно является первичным процессом переработки полезных ископаемых, продукты которой подвергаются дальнейшему глубокому обогащению, химическому или металлургическому переделу.

Влияние ИРМ на последующие процессы изучают, сравнивая результаты переработки исходной руды и продуктов сепарации. Вещественный состав продуктов ИРМ заметно отличается от исходной руды, поэтому при последующих технологических испытаниях необходимо находить оптимальные схемы и режимы их переработки. После выбора оптимального варианта переработки продуктов ИРМ экспериментально определяют технологические показатели по всей комплексной схеме и сравнивают их с показателями, полученными при переработке исходной руды без применения ИРМ. Как правило, применение сепарации существенно повышает эффективность последующих процессов и конечные технологические показатели. Увеличение содержания основного компонента в конечном продукте и его извлечения в большинстве случаев является доказательством целесообразности применения ИРМ для обогащения данных руд.

В случае равенства конечных показателей или некоторого их снижения вопрос о целесообразности применения индукционной радиорезонансной сепарации решается с помощью экономических расчетов с учетом сокращения тоннажа руды, поступающей на последующую обработку.

Более детально режимы всей комплексной схемы /настройку сепаратора, число перечистных операций, расход

реагентов в последующих процессах и т.д./ отрабатывают при полупромышленных испытаниях на непрерывно действующих установках.

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Исходными данными для расчетов являются технологические показатели по различным вариантам схем обогащения и переработки сырья. Экономическую эффективность применения ИРМ можно оценивать по известной формуле:

$$Э = \left[(C_I - C_2) + E\,(K_I - K_2)\right] \times B, \text{ руб, где}$$

C_I и C_2 – себестоимость тонны конечной продукции без применения и с применением ИРМ, руб.

K_I и K_2 – удельные капиталовложения по двум вариантам, руб.

В –годовой объем конечной продукции, т.

Е– нормативный коэффициент эффективности.

Ориентировочно можно принимать себестоимость обогащения ИРМ в среднем I руб. на тонну исходной руды. Объем капиталовложений составляет 3,0 руб. на I т годовой производительности радиометрической обогатительной фабрики. В более детальной форме технико-экономические расчеты проводятся по результатам полупромышленных испытаний.

В исходных данных для проектирования установок и фабрик для радиорезонансного обогащения должны содержаться

I. Сведения о научно-исследовательских работах, положенных в основу предлагаемой технологии.

2. Технико-экономическое обоснование технологии.

3. Характеристика исходной руды и продуктов ИРМ.

4. Качественно-количественная схема обогащения и материальный баланс производства.

5. Технические характеристики и стоимость сепараторов.

6. Данные для выбора основного и вспомогательного оборудования.

7. Условия ведения процесса ИРМ /режимы, настройки и т.д./.

8. Рекомендации по опробованию, аналитическому контролю и автоматизации.

Помимо перечисленного, по согласованию с проектной организацией могут быть представлены и дополнительные данные.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Электромагнитное поле, создаваемое датчиками сепараторов, ничтожно по мощности, поэтому никакой опасности для организма человека оно не представляет.

При работе с установками АПР и сепараторами должны соблюдаться общие правила техники безопасности, принятые для электроустановок [2].

Сепараторы имеют движущиеся и вращающиеся узлы /транспортерная лента, элекродвигатель, привод/. Поэтому необходимо соблюдать общеизвестные правила работ с механическими устройствами подобного типа.

Литература

1. Альбов М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. М., "Недра", 1972, 232 с.

2. Королькова В.Н. Электробезопасность на промышленных предприятиях. М., "Машиностроение", 1971, 522 с.

3. Методические рекомендации по изучению гранулометрического состава и контрастности полезных ископаемых для оценки возможности обогащения их с помощью радиометрических методов. М., ВИМС, 1978, 24 с.

4. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. М., "Недра", 1974, 352 с.

5. Мокроусов В.А., Гольбек Г.Р., Архипов О.А. Теоретические основы радиометрического обогащения радиоактивных руд. М., "Недра", 1968, 172 с.

6. Мокроусов В.А., Лилеев В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М., "Недра", 1979, 192 с.

7. Справочник /кадастр/ физических свойств горных пород. М., "Недра", 1975, 216 с.

8. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. М., "Недра", 1976, 527 с.

Методические рекомендации № II

Заказ № 261. Л-69942. Подписано к печати II/XI-80г
Объем I,7 уч.-изд.л. Тираж 500

Ротапринт ОЭП ВИМСа