

**Методичні вказівки**  
до лабораторного практикуму з дисципліни  
**«Магнітні та електричні методи збагачення корисних копалин»**

Для студентів спеціальності 6.050303

*Збагачення корисних копалин*

Дніпропетровськ

2013

## Лабораторная работа № 1.

### Магнитный анализ сильномагнитных руд.

*Цель работы:* выполнение мокрого магнитного анализа сильномагнитных руд на анализаторе типа 25-СЭ (трубка Дэвиса) и определение показателей обогащения при магнитном анализе.

Мокрому магнитному анализу подвергаются тонковкрапленные сильномагнитные руды, которым для полного раскрытия полезного минерала необходимо измельчение до крупности менее 100 мкм. В данной крупности при обогащении сухим способом высокая адгезионная способность частиц не позволяет получать концентраты высокого качества. Вода снижает силы адгезии между твердыми частицами благодаря вязкостному сопротивлению, что способствует повышению различий в траекториях движения немагнитных и магнитных частиц в зоне извлечения последних из потока.

Магнитный анализ позволяет определить обогатимость руды, произвести оценку точности разделения операции магнитного обогащения и получить максимально возможные технологические показатели обогащения.

Магнитный анализатор 25 – СЭ состоит из: ярма, выполненного в виде скобы; катушек, посаженных на ярмо; стеклянной трубки, в которой происходит разделение исходного материала на магнитный и немагнитный, и имеется дополнительный патрубок для подачи воды; приемной воронки, предназначенной для направления потока пульпы в трубку; электропривода, приводящего в поступательно-возвратное движение стеклянную трубку через передаточный механизм. *Магнитный анализатор эскизируется студентом во время выполнения лабораторной работы.*

*Необходимые материалы оборудование и инструменты:* проба тонкоизмельченной сильномагнитной руды; магнитный анализатор 25-СЭ;

емкости для сбора продуктов разделения; секундомер; мерная емкость (500 мл).

Порядок проведения магнитного анализа магнетитовых кварцитов.

1. Отбор пробы исходной руды (проба усредняется и методом квартования отбирается необходимое количество навесок).

2. Пробы неоднородные по гранулометрическому составу (содержание класса  $+0,045$  мм более 40%) подвергаются классификации на сите с размером ячеек  $0,045$  мм. Магнитный анализ выполняется по двум классам крупности: 1) –  $1,0 + 0,045$  мм; и 2) –  $0,045$  мм.

3. Массу навески определяют в зависимости от содержания железа в исходной руде:

Содержание, Fe, %	>60	60 – 40	40 – 20	<20
Масса пробы, г	10	15	20	25

4. Перед проведением магнитного анализа навески руды предварительно перемешивают с водой.

5. Магнитный анализ производят последовательным выделением фракций при различной напряженности магнитного поля (от 700 до 2000 Э).

6. Заполняют водой стеклянную трубку (уровень воды выше полюсов электромагнитной системы) и устанавливают необходимый расход воды, требуемый по условиям разделения (обычно  $0,0165$  л/с).

7. Включают электромагнит и устанавливают необходимую напряженность магнитного поля посредством изменения силы тока, протекающего в обмотках электромагнитной системы (зависимость напряженности магнитного поля от силы тока представлена на рис. 1).

8. Пробу, обогащаемого материала, выливают в трубку. Начинают одновременно выпускать и подавать воду при сохранении уровня. Магнитные частицы под влиянием магнитного поля задерживаются на стенках трубки между полюсами, а немагнитные – выносятся потоком воды

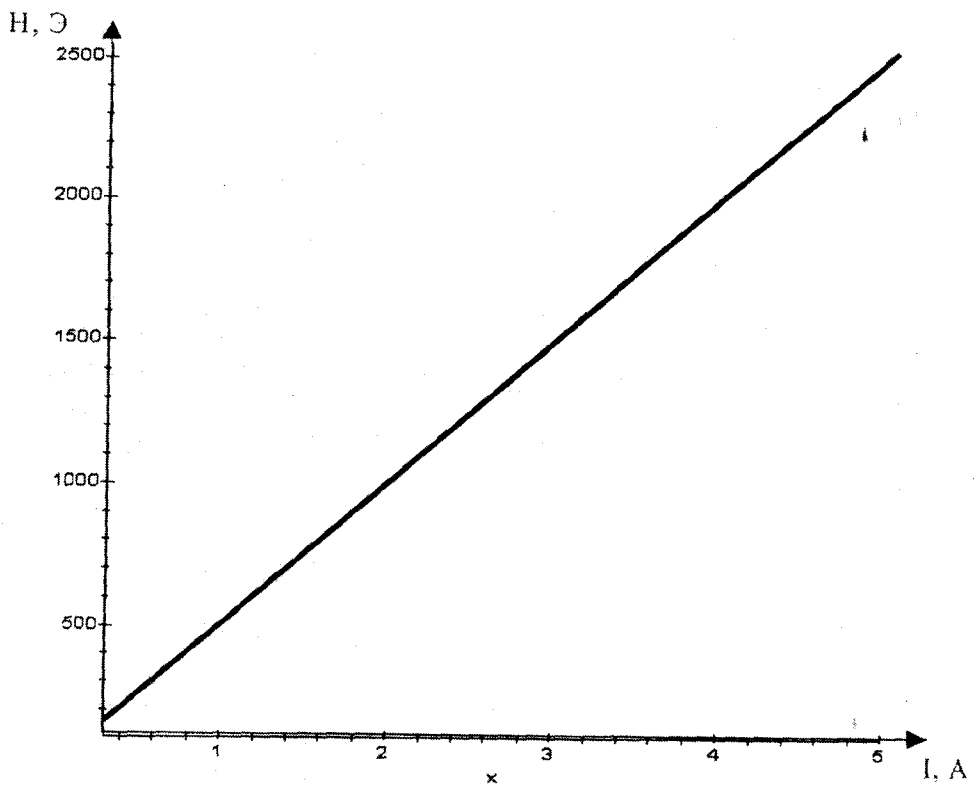


Рис. 2. – Зависимость средней напряженности магнитного поля в зазоре анализатора 25 – СЭ от силы тока, протекающего в электромагнитной системе.

в сливной патрубком, направленный в специально для этого установленную емкость. Уровень воды поддерживается постоянным (выше полюсов магнитной системы).

9. Включают электродвигатель, приводящий трубку, в возвратно-поступательное движение. При этом немагнитные частицы вымываются водой из разрываемых флокул и выносятся водой через разгрузочную горловину трубки. Продолжительность анализа выбирается в соответствии с необходимой точностью разделения и целью исследований (обычно 5 – 10 мин).

10. После окончания анализа подачу воды прекращают, ток выключают и собирают магнитный продукт в отдельную емкость. Продукты обезвоживают, сушат и определяют выхода.

В зависимости от цели магнитного анализа в дальнейшем подвергают перечистке магнитный или немагнитный продукт.

В данной работе подвергают исходную навеску магнитному анализу, но при другой напряженности магнитного поля (опыт повторяют не менее трех раз). Под биноклем оценивают примерное содержание кварца и бедных сростков в магнитных продуктах. Строится кривая зависимости выхода магнитного продукта от напряженности магнитного поля.

**Отчет должен содержать:** название, цель, краткий порядок проведения лабораторной работы; эскиз анализатора; график зависимости средней напряженности магнитного поля в зазоре анализатора от силы тока, протекающей в электромагнитной системе; график зависимости выхода магнитного продукта от средней напряженности магнитного поля в зазоре анализатора; таблицу, в которой отражены условия проведения опыта и полученные данные; выводы.

## Лабораторная работа № 2.

Исследование показателей работы сухого роликового сепаратора.

*Цель работы:* изучение устройства, назначения и принципа работы валковых сепараторов.

*Общие сведения.*

Электромагнитные валковые сепараторы предназначены для обогащения слабомагнитных руд ( $\chi < 500 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ), представленных крупностью 1 – 6 мм.

В этих сепараторах используются замкнутые магнитные системы, которые позволяют в малом объеме рабочего пространства между полюсными наконечниками создавать магнитные поля с напряженностью (индукцией) порядка 600 – 800 кА/м (0,8 – 1,0 Тл).

Для создания большой неоднородности магнитного поля в малом объеме рабочего зазора один из полюсных наконечников выполняют в виде зубьев. Шаг и форма зубьев выбирается исходя из необходимой магнитной силы.

Валки, диаметр которых менее 15 см носят название роликов.

Линии напряженности магнитного поля концентрируются на зубцах валков, что создает градиент магнитного поля, необходимый для притягивания слабомагнитных частиц. Валок выносит магнитный продукт из зоны действия магнитной силы.

Магнитная сила, действующая на частицу, определяется из уравнения:

$$F_{\text{м}} = \mu_0 \chi V H \text{grad} H,$$

где:  $F_{\text{м}}$  – магнитная сила, действующая на частицу, Н;  $\chi$  – объемная магнитная восприимчивость частицы;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ), Гн/м;  $V$  – объем частицы,  $\text{м}^3$ ;  $H$  – напряженность магнитного поля, А/м;  $\text{grad} H$  – градиент магнитного поля, А/м<sup>2</sup>.

Удельная магнитная сила, действующая на частицу равна

$$f_m = \frac{F_m}{m} = \mu_0 \chi H \text{grad} H ;$$

где:  $f_m$  – удельная магнитная сила, действующая на частицу, Н/кг;  
 $\chi$  – удельная магнитная восприимчивость частицы, м<sup>3</sup>/кг.

Напряженность магнитного поля по осевой линии  $X$ , проходящей через вершину зубца ролика (рис. 1), изменяется по параболическому закону и равна:

$$H_x = \frac{0,5S_1 H_0 \sqrt{1-c}}{\sqrt{0,25S_1^2 - c(0,5S_1 - x)^2}} ;$$

где:  $H_0$  – напряженность магнитного поля на острие вершины зубца ролика, А/м;  $S_1$  – шаг зубцов многозубчатого полюса, м;  $c$  – коэффициент неоднородности магнитного поля, зависящий от шага зубцов и изменяется от 0,3 м<sup>-1</sup> для  $S_1=1$ см до 0,6 м<sup>-1</sup> для  $S_1=3$ см.

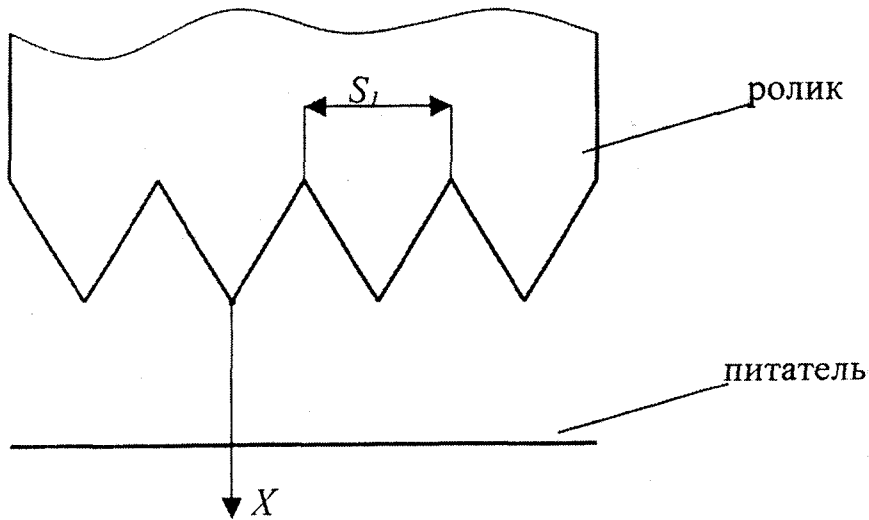


Рис. 1

Параметр  $H \text{grad} H$ , который является основной характеристикой любого магнитного поля, еще называют *силой магнитного поля*. В роликовых сепараторах сила магнитного поля составляет  $10^5 - 10^7$  кА<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Более точно она определяется из уравнения:

$$H_{grad} H_x = \frac{0,25S_1^2 H_0^2 (0,5S_1 - x)(1 - c)}{(0,25S_1^2 - c(0,5S_1 - x)^2)^2}$$

В сепараторах применяют два режима работы: *режим удержания* или *режим извлечения*.

Первый осуществляется подачей исходного материала на ролик сверху, благодаря чему даже бедные рудные сростки удерживаются магнитными силами и достигается высокое извлечение при пониженном качестве магнитного продукта.

При нижней подаче исходного материала рудные частицы должны быть извлечены из потока, т. е. магнитная сила, действующая на частицу должна быть достаточной для ее извлечения. В этом случае качество магнитного продукта выше так, как бедные сростки не извлекаются.

*Порядок выполнения.*

1. Изучить конструкцию и принцип действия роликового сепаратора. Определить режим сепарации.
2. Замерить высоту и шаг зубцов. Определить угол зуба у острия.
3. Отобрать 5 навесок исходной руды.
4. Разбить кривую напряженности магнитного поля на 5 участков, и провести сепарацию на каждом участке. Определить выход продуктов деления. Данные записать в таблицу.
5. Под биноклем определяется содержание полезного минерала в исходной пробе, в магнитном и немагнитном продукте (при выполнении данного пункта на стекле делают дорожку не менее чем из 100 зерен и под биноклем считают количество рудных, нерудных, богатых и бедных сростков). По полученным данным рассчитывается извлечение рудных зерен в магнитный продукт
6. На основании полученных данных построить график зависимости содержания рудных зерен в продуктах сепарации и извлечения от магнитной



силы поля. (Выхода рудных зерен в магнитный продукт от напряженности магнитного поля).

7. Выполнить эскиз роликового сепаратора.

**Отчет должен содержать:** название, цель, краткий порядок проведения лабораторной работы; эскиз роликового сепаратора; график средней напряженности магнитного поля в зазоре сепаратора от силы тока, протекающей в электромагнитной системе; графики указанных выше зависимостей; таблицу, в которой отражены условия проведения опыта и полученные данные; выводы.

$B, Tл$

1,0

0,8

0,6

0,4

0,2

0,0

0

2

4

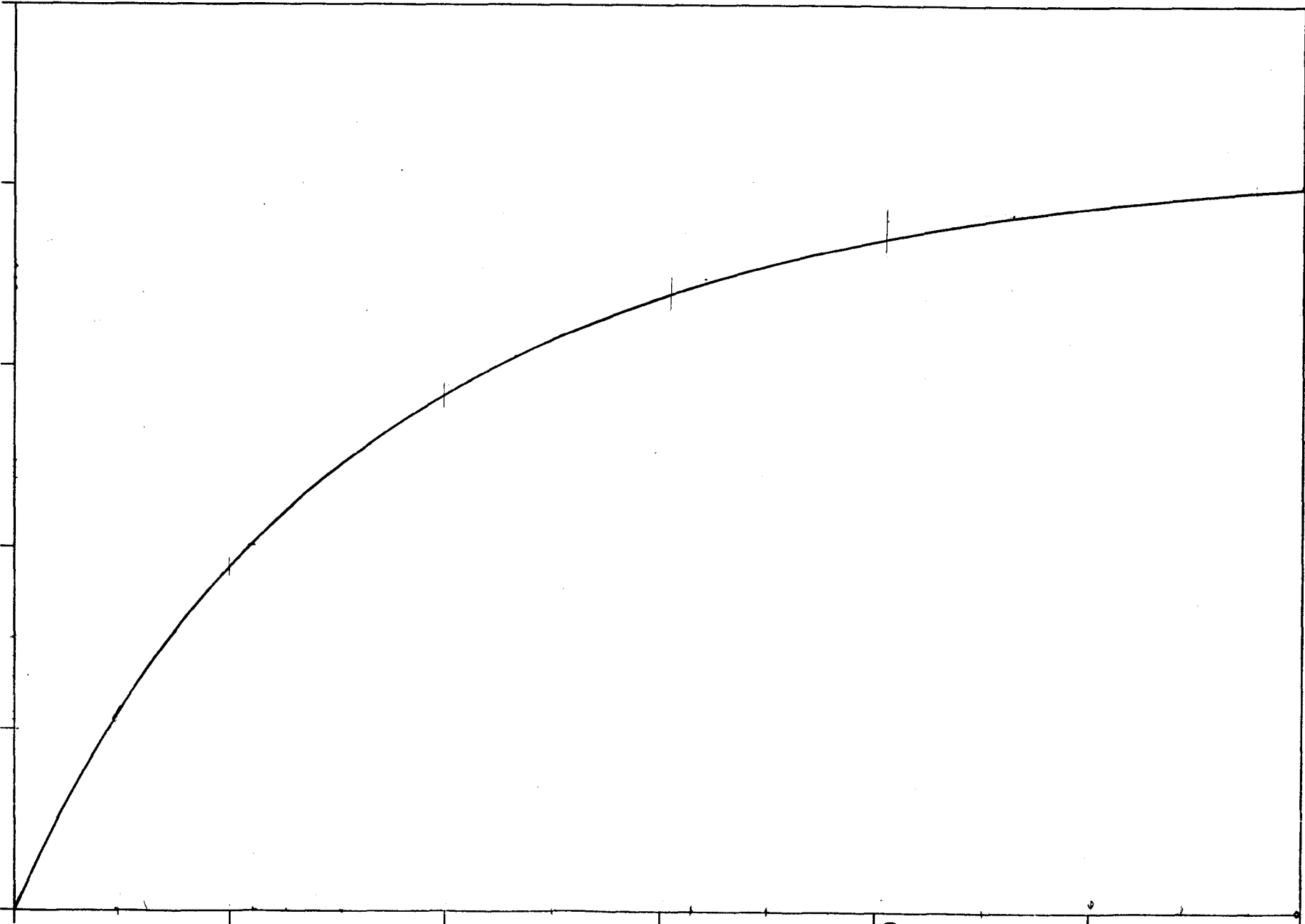
6

8

10

12

*LA*



### Лабораторная работа № 3.

## Исследование высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных руд.

*Цель работы:* изучить устройство матриц, назначение и принцип действия высокоградиентных сепараторов.

#### *Общие сведения.*

Крупновкрапленные слабомагнитные руды представленные крупностью 1 – 6 мм успешно обогащаются на валковых сепараторах. Однако для извлечения из потока частиц, размеры которых менее 0,5 мм магнитной силы недостаточно по нескольким причинам, основные из которых это: высокая адгезионная способность частиц, относительно большой зазор между полюсами; малое время пребывания частиц в зоне разделения, вследствие ее незначительной длины.

Для обогащения руд данной крупности с конца 60-х годов создаются и разрабатываются высокоградиентные магнитные сепараторы. Все высокоградиентные сепараторы основаны на общем принципе: в рабочей зоне с помощью ферромагнитных матриц, являющимися индукционными магнито-носителями создается множество локальных зон с трехмерной неоднородностью магнитного поля. В этих зонах магнитная сила хотя и ограничена по величине, но больше чем в любых других сепараторах и позволяет превысить уровень гидромеханических сил, приложенных к частице (сила инерции, сила тяжести и т.д.).

Средняя напряженность (индукция) магнитного поля в рабочей зоне высокоградиентного сепаратора составляет 600 – 900 кА/м (0,8 – 1,2 Тл).

Сепараторы названы высокоградиентными в связи с тем, что в их рабочих зонах достигается высокое значение магнитной силы не только за счет высокой напряженности магнитного поля, но и за счет применения специальных матриц, которые позволяют в несколько десятков раз

увеличить градиент напряженности магнитного поля (т.е. неоднородность магнитного поля).

В виде матриц в высокоградиентных сепараторах используют: стальные шары, тянутые сетки, металлическую вату, стружку, стержни различного профиля, рифленные пластины, что позволяет создать силу магнитного поля более  $10^{10}$  кА<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

В данной лабораторной работе высокоградиентная сепарация проводится в сухую на мелкозернистом материале.

*Эскиз установки и матрицы высокоградиентного сепаратора выполняется студентом во время проведения лабораторной работы.*

*Порядок выполнения.*

1. Изучить конструкцию матрицы высокоградиентного магнитного сепаратора, состоящую из рифленных пластин. Выполнить эскиз установки и матрицы.

2. Замерить высоту матрицы, высоту и шаг зубцов. Определить угол зуба у острия.

3. Отобрать 5 навесок исходной руды.

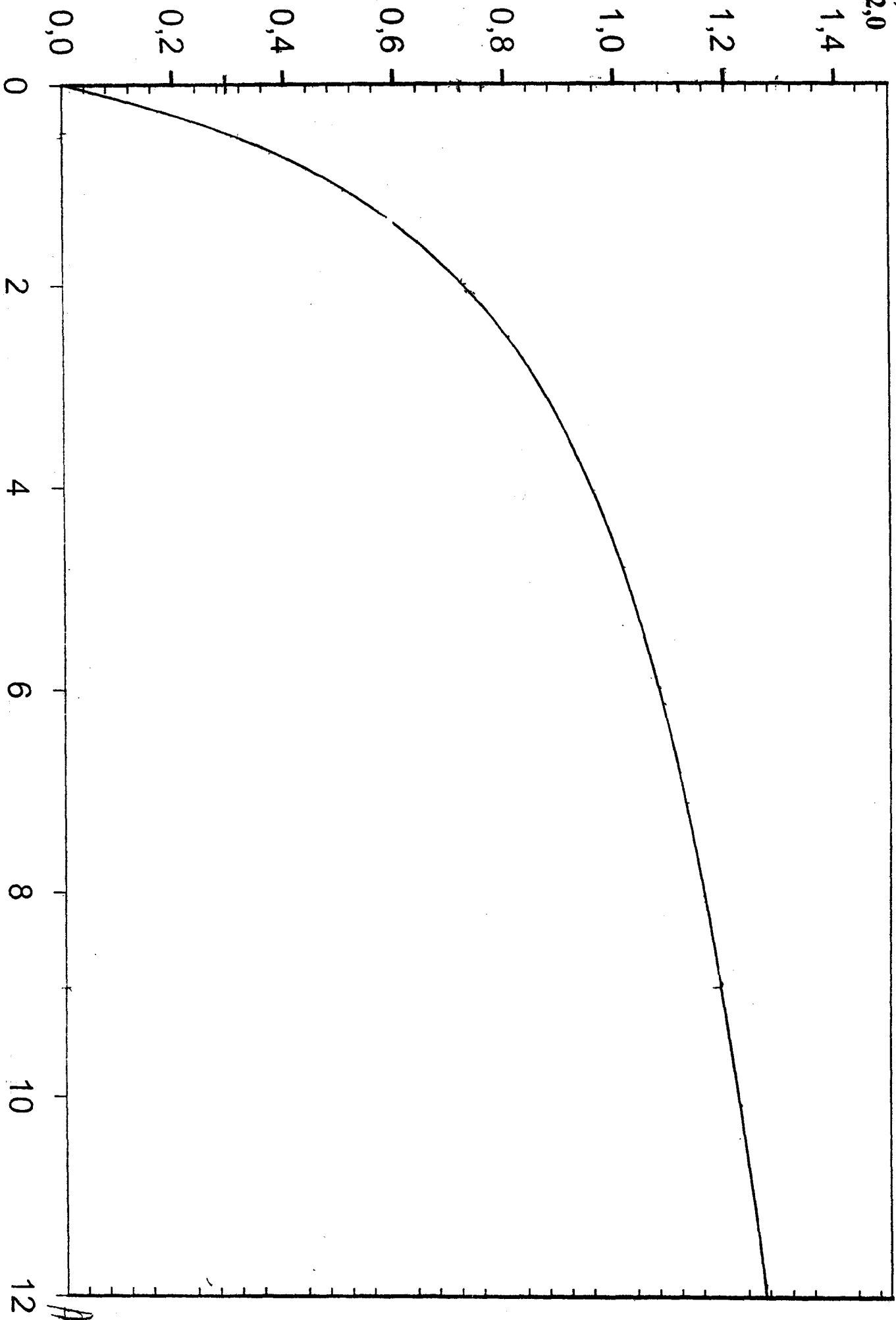
4. Разбить кривую напряженности магнитного поля на 5 участков, начиная с индукции 0,3 Тл и провести сепарацию на каждом участке. Определить массу и выход магнитного и немагнитного продукта. Данные записать в таблицу.

5. На основании полученных данных построить график выхода магнитного продукта от напряженности магнитного поля.

Для одной из проб определить под биноклем: содержание полезного минерала в исходной пробе; содержание полезного минерала в магнитном материале; содержание полезного минерала в немагнитном материале (при выполнении данного пункта на стекле делают дорожку не менее чем из 100 зерен и считают количество рудных, нерудных, богатых и бедных сростков под биноклем).

***Отчет должен содержать:*** название, цель, краткий порядок проведения лабораторной работы; эскиз рабочей зоны высокоградиентного сепаратора; график зависимости средней напряженности магнитного поля в зазоре сепаратора от силы тока, протекающей в электромагнитной системе; график зависимости выхода магнитного продукта от средней напряженности магнитного поля в зазоре сепаратора; таблицу, в которой отражены условия проведения опыта и полученные данные; выводы.

B, T<sub>1</sub>  
\*2,0



Лабораторная работа № 4.  
Проведение электросепарации ильменитовых руд.

*Цель работы:* изучение конструкции, назначения и принципа действия коронно-электростатического и пластинчатого электростатического сепаратора.

*Общие сведения.*

При электрической сепарации разделение частиц происходит за счет различия электропроводимости минералов, т.е. способности частиц сохранять или отдавать полученный электрический заряд.

*Коронно-электростатический сепаратор.*

В коронно-электростатическом сепараторе разделение частиц основано на их заряде, на вращающемся барабане потоком ионов, движущихся от коронирующего к осадительному электроду.

Для создания коронного разряда на два электрода подают высокое напряжение. При этом один из электродов (положительный) имеет большой радиус кривизны (барабан), а второй – малый (острие, токая проволока, лезвие и т.д.). Между электродами возникает неоднородное электрическое поле, напряженность которого вблизи тонкого электрода значительно выше, поэтому вокруг него образуется светящее пространство, сопровождающееся ионизацией воздуха. Это явление называется *коронным разрядом*.

При ионизации воздуха появляется ток отрицательных ионов воздуха от коронирующего электрода к осадительному.

Напряженность электрического поля  $E_k$  (кВ/см), необходимая для возникновения коронного разряда (ионизации воздуха) при относительной плотности воздуха  $\delta$  ( $\delta = 1$  при давлении 101 кПа и температуре 25 °С):

$$E_k = 31,6 \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta}} \right),$$

при этом напряжение на коронирующем электроде  $U_k$  (кВ) при его радиусе  $r_k$  (см) и расстоянии до плоского электрода (барабана)  $h$  (см) должно быть:

$$U_k = E_k r_k \ln \left( \frac{2h}{r_k} \right).$$

Процесс зарядки частиц в этих сепараторах можно представить в следующем виде.

Минеральные частицы подаются на осадительный электрод (барабан) в верхней его части и вращаются вместе с ним. При попадании частиц в зону ионизации они заряжаются за счет тока отрицательных ионов воздуха. Их заряд возрастает от нуля, в начале зоны ионизации, до максимального значения, в зоне наименьшего расстояния между двумя электродами (коронирующим и осадительным). После выхода из зоны ионизации, частицы разряжаются на барабан. Остаточный заряд частицы через время  $t$  (с) определяется уравнением

$$Q_t = Q_{\max} \exp \left( -\frac{2t}{RC} \right),$$

где  $Q_{\max}$  – максимальный заряд, полученный частицей, Кл;  $C$  – емкость частицы, Ф;  $R$  – сумма сопротивлений собственно частицы и контакта, Ом.

Частицы, обладающие высокой электропроводностью ( $R = 0$  и  $C = 0$ ), после выхода из зоны ионизации быстро разряжаются на барабан и вновь заряжаются зарядом осадительного электрода. Затем, попадая в зону действия отклоняющего электрода, они отрываются от осадительного за счет действия центробежной и кулоновской сил и попадают в приемник проводников. Действие кулоновской силы здесь двоякое: одноименные заряды отталкиваются (осадительный электрод и частица одного заряда – положительного); разноименные заряды притягиваются (траектория движения частицы изменяется в сторону отклоняющего электрода, который имеет отрицательный заряд).

Частицы непроводников после выхода из зоны ионизации удерживаются на поверхности осадительного электрода (барабана) из-за сохранения остаточного противоположного заряда и снимаются щеткой в приемник непроводников.

Таким образом, применение отклоняющего электрода способствует более раннему отрыву проводников, и увеличивает разницу в траектории движения частиц с различной электропроводностью (проводников, полупроводников и непроводников).

#### *Пластинчатый электростатический сепаратор.*

Пластинчатый электростатический сепаратор ПЭСС представляет собой многоблочный аппарат, состоящий из каскада секций. В каждой из секций имеется пластинчатый заземленный электрод, заряженный положительно и отклоняющий клиновидный электрод, заряженный отрицательно. Между электродами движется слой материала, в котором частицы диэлектриков получают отрицательный трибозаряд (за счет трения о поверхность), а частицы проводников – положительный. При сходе материала с полки образуется широкий веер, который разделяется с помощью отсекателей на три фракции: проводниковую, полупроводниковую и непроводниковую. Особенность работы сепаратора – зерна кварца смещаются дальше других минералов в сторону положительно заряженного нижнего электрода, и поэтому непроводниковая фракция освобождается от кварца. Взаимозасорение проводников и непроводников очень мало и составляет до 10 %. В одном аппарате, собранном из каскада секций, завершается полный цикл основной и перечистных операций с получением готовых фракций проводников и непроводников. Основные достоинства сепаратора ПЭСС в следующем: отсутствие вращающихся частей и привода; простота обслуживания и ремонта; высокая эффективность разделения; относительно большая производительность (до 20 т/час).

*Необходимые материалы, оборудование и инструменты:* коронно-электростатический и пластинчатый электростатический сепараторы; весы разновесы.

#### *Порядок проведения работы.*

1. Отбор пробы исходной руды (проба усредняется и методом квадратурования отбирается необходимое количество навесок).
2. Проба загружается в питатель сепаратора.
3. Включается источник высокого напряжения и выставляется требуемая величина напряжения (**без преподавателя не включать**).
4. Открывается питатель и выполняется элетросепарация.



5. Определяется масса и выход полученных продуктов разделения.

6. Для одной из проб, указанной преподавателем, определить под бинокляром: содержание полезного минерала в исходной пробе; содержание полезного минерала в проводниках, полупроводниках и диэлектриках (при выполнении данного пункта на стекле делают дорожку не менее чем из 100 зерен и считают количество рудных, нерудных, богатых и бедных сростков под бинокляром).

7. Каждый опыт дублируется дважды. В первом случае обогащению подвергается материал комнатной температуры, во втором – нагретый до температуры 50 – 60°C.

**Отчет должен содержать:** название, цель, краткий порядок проведения лабораторной работы; эскиз коронно-электростатического и пластинчатого сепаратора; график зависимости выхода проводниковой фракции от напряжения, подаваемого на электроды сепаратора; таблицу, в которой отражены условия проведения опыта и полученные данные; выводы.