

# **СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

## **МОДУЛЬ 1 МАГНИТНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ**

### **Лекция 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА**

**Лозовая Светлана Юрьевна, д.т.н., проф. кафедры  
механического оборудования**

**г. Белгород,  
2012 г.**

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА

**Процессы магнитного обогащения** - основаны на различии магнитных свойств разделяемых компонентов. **Применяются для:**

- обогащения руд черных, редких и цветных металлов;
- регенерации сильномагнитных утяжелителей;
- удаления железистых примесей из кварцевых песков, абразивов, керамического сырья, флюсов, ванадийсодержащих шлаков и других материалов, а также пищевых продуктов и бытовых отходов.

**Основными объектами магнитного обогащения являются** магнетитовые, титаномагнетитовые, магнетитогематитовые, окисленные железные, сидеритовые, хромитовые, а также марганцевые руды.

Разделение материалов по магнитным свойствам осуществляется в постоянном магнитном поле. **На показатели обогащения оказывают влияние:**

- магнитные свойства разделяемых частиц;
- плотность, крупность и форма;
- конструктивные особенности магнитного сепаратора.

## Основные величины, используемые при магнитном обогащении

Наименование	Обозначение	Единица		Размерность
		Наименование	Обозначение	
Сила тока	$I$	Ампер	A	$I$
Магнитный момент электрического тока	$P_m$	Ампер-на квадратный метр	$A/m^2$	$L^2I$
Магнитная индукция	$B$	Тесла	Тл	$MT^{-2}I^{-1}$
Магнитный поток	$\Phi$	Вебер	Вб	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
Напряженность магнитного поля	$H$	Ампер на метр	$A/m$	$L^{-1}I$
Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu_{abs}$	Генри на метр	Гн/м	$L^2MT^{-2}I^{-2}$
Относительная магнитная проницаемость	$\mu$		-	1
Магнитная постоянная	$\mu_0$	Генри на метр	Гн/м	$L^2MT^{-2}I^{-2}$
Магнитодвижущая сила	$M$	Ампер	A	$I$
Намагниченность	$J$	Ампер на метр	$A/m$	$L^{-1}I$
Магнитная восприимчивость	$\chi$		-	1
Удельная магнитная восприимчивость	$X$	Кубический метр на кг	$m^3/kg$	$L^3M^{-1}$
Размагничивающий фактор	$N$		-	1
Условная магнитная сила	$\mu_0 H grad H$	Килограмм на квадратный метр на секунду в квадрате	$kg/(m^2 \cdot c^2)$	$L^{-2}MT^{-2}$

Если магнитная восприимчивость вещества  $\chi < 0$ , вещество диамагнитно; если  $\chi > 0$  и имеет порядок  $10^{-5}$ - $10^{-3}$ , вещество парамагнитно; если  $\chi$  имеет порядок 1 и более, вещество ферромагнитно.

Магнитное поле называется однородным, когда во всех его точках напряженность одинакова по значению и направлению.

Магнитное обогащение происходит только в неоднородных полях, которые создаются соответствующей формой и расположением полюсов магнитной системы сепаратора.

Неоднородность магнитного поля в данной его точке характеризуется градиентом его напряженности  $\text{grad}H$ , т.е. вектором, представляющим собой производную абсолютной величины напряженности в этой точке по направлению ее наибольшего увеличения.

Размагничивающий фактор является важным параметром: он влияет на поведение смеси сильномагнитных частиц в магнитном поле и в его отсутствие.

Для бесконечно длинного стержня, ось которого совпадает с направлением напряженности  $H$  поля,  $N = 0$ ; для бесконечно тонкого диска, расположенного перпендикулярно к направлению напряженности  $H$ , размагничивающий фактор достигает своего максимального значения  $N = 1$ ; для шара  $N = 1/3$ . Таким образом, пределы изменения размагничивающего фактора  $0 \leq N \leq 1$ . Для частиц магнетита, обычно несколько вытянутых в одном направлении, размагничивающий фактор можно в среднем принять равным 0,16.

Для характеристики магнитных полей сепараторов введено понятие – **условная магнитная сила  $\mu_0 H_{grad} H$** , соответствующая удельной магнитной силе  $f_m$ , действующей на частицу с удельной магнитной восприимчивостью  $X_m = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

## **МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ**

По магнитным свойствам различают минералы : **сильномагнитные, слабомагнитные и немагнитные.**

**Сильномагнитные минералы** извлекают на магнитных сепараторах с относительно слабым магнитным полем с напряженностью до 120 кА/м. Эти минералы имеют удельную магнитную восприимчивость вещества  $X > 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ . К ним относятся магнетит (искусственный и естественный), маггемит, титаномagnetит, франклинит и пирротин.

Одной из основных особенностей сильномагнитных веществ является зависимость их магнитной индукции или намагниченности от напряженности поля.

Магнитные свойства сильномагнитных веществ, как правило, существенно зависят от температуры. При определенной для каждого вещества температуре, называемой точкой Кюри, сильномагнитные (ферромагнитные) свойства исчезают и вещество становится парамагнитным.

**Слабомагнитные минералы** извлекают на магнитных сепараторах с сильным полем напряженностью 800-1500 кА/м и выше. Эта группа включает минералы с удельной магнитной восприимчивостью  $X = (750 \div 10) 10^{-8}$  мЗ/кг. К ним относятся оксиды, гидроксиды и карбонаты железа и марганца, ильменит, вольфрамит, гранат, биотит и др. Нижний предел удельной магнитной восприимчивости минералов, извлекаемых на сепараторах с сильным полем, имеет тенденцию к понижению по мере совершенствования конструкций магнитных сепараторов.

Магнитные свойства слабомагнитных минералов в отличие от сильномагнитных не зависят от формы частиц и напряженности намагничивающего поля. Наблюдаемая в отдельных случаях зависимость удельной магнитной восприимчивости различных слабомагнитных минералов от напряженности поля, по-видимому, объясняется наличием сильномагнитных включений.

Слабомагнитные минералы, подверженные магнитному обогащению, как правило, являются парамагнитными веществами

**Немагнитные минералы** не извлекают при магнитном обогащении. Их удельная магнитная восприимчивость  $X < 10^{-7}$  мЗ/кг. К таким минералам относятся кварц, кальцит, касситерит, апатит и др.

Для определения магнитных свойств минералов применяют баллистический, магнитометрический и пондеромоторный методы. Первые два метода используют для сильномагнитных минералов, третий – для сильномагнитных, слабомагнитных и немагнитных.

## СЕЛЕКТИВНОСТЬ МАГНИТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ.

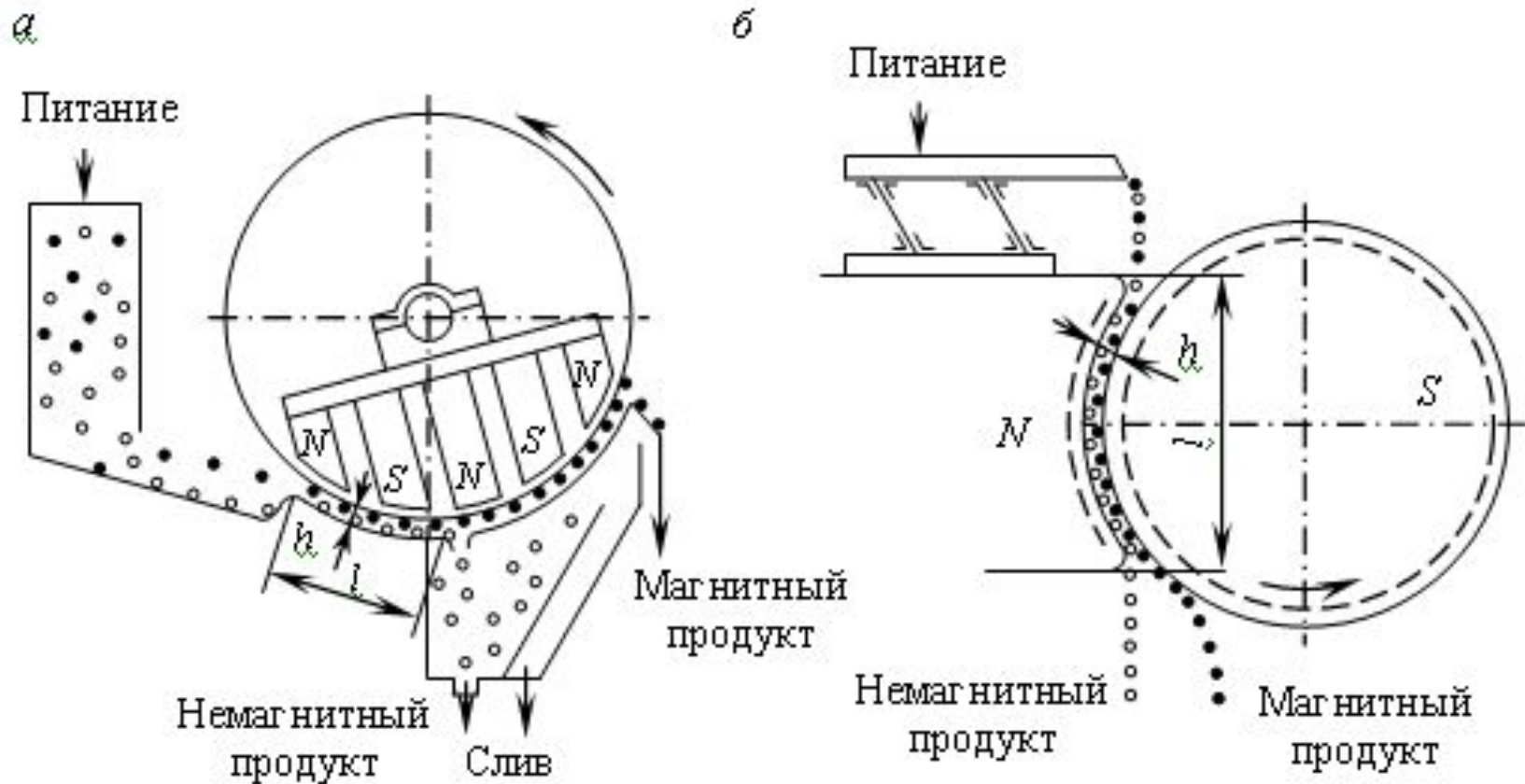
Для успешного магнитного разделения двух минералов, имеющих одинаковую магнитную восприимчивость, но различные точки Кюри, сепарацию ведут при промежуточной температуре, соответствующей значительному снижению магнитных свойств у одного из них при сохранении их практически неизменными у другого. Этот процесс получил название **терромагнитной сепарации**.

Отношение удельных магнитных восприимчивостей  $X''/X'$  разделенных частиц называется **селективностью магнитного обогащения**. При этом  $X'$  и  $X''$  – удельная магнитная восприимчивость соответственно более магнитных и менее магнитных частиц.

Магнитные поля сепараторов неоднородны как по напряженности  $H$ , так и по значениям магнитной силы  $\mu_0 H \text{ grad} H$ . Размер частиц влияет на значение средней магнитной силы, действующей на частицу, поэтому частицы разных размеров, могут испытывать действие одинаковых магнитных сил. Введено понятие **коэффициента удельной (отнесенной к единице массы) равнопритягиваемости частиц руды при магнитном обогащении**. Соотношение размеров  $d'/d''$  равнопритягиваемых частиц зависит:

- пределов изменения значений удельной магнитной восприимчивости магнитных частиц;
- степени неоднородности поля по  $\mu_0 H \text{ grad} H$ ;
- сопротивления среды движению магнитных частиц;
- способа подачи руды в сепаратор (верхнее или нижнее питание).

При широком диапазоне крупности обогащаемой руды для повышения селективности обогащения применяют предварительное грохочение. В сепараторах для обогащения **сильномагнитных руд** применяются **открытые многополюсные системы (а)**, в сепараторах для **слабомагнитных руд** – **замкнутые магнитные системы (б)**, которые экономичнее открытых многополюсных систем и позволяют создавать поля большой напряженности, но у них часто забивается рабочая зона флоккулами сильномагнитных частиц.





**Рабочей зоной сепаратора** - участок, на котором происходит притяжение магнитных частиц к рабочему органу сепаратора (барабану, диску, валку), их удерживание на рабочем органе и транспортирование при возможном удалении захваченных немагнитных частиц.

Рабочая зона определяется областью полезного действия магнитного поля сепаратора и состоит в общем случае из зоны извлечения магнитных частиц и зоны их транспортирования.

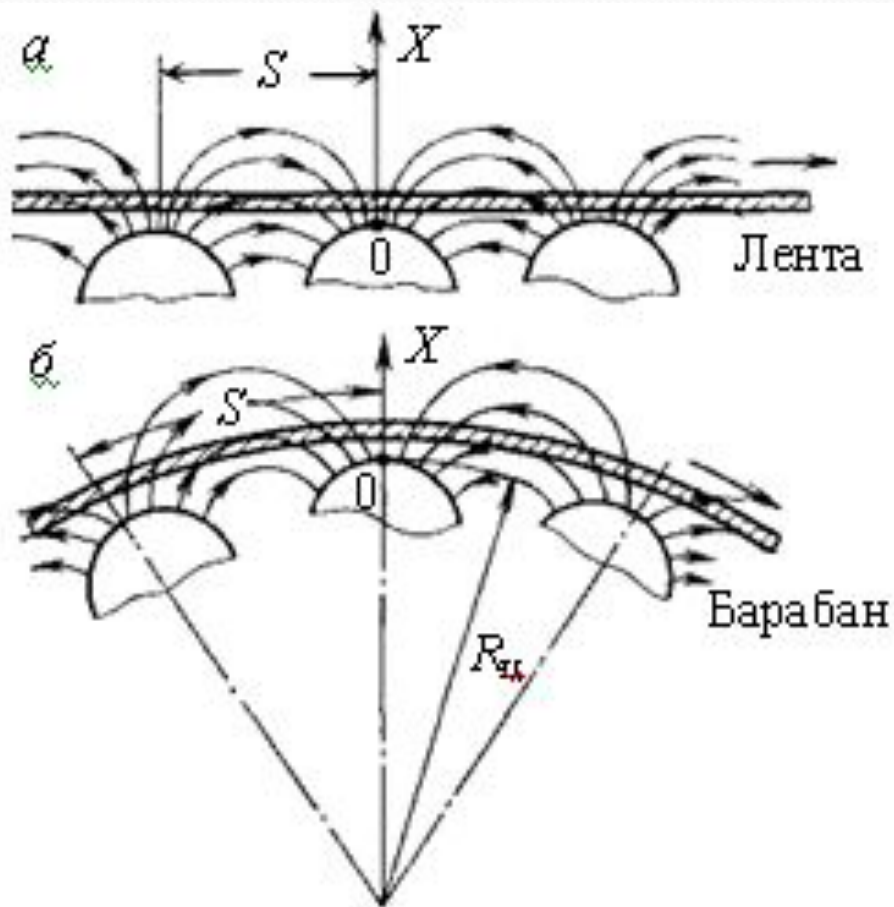
**Зона извлечения** характеризуется ее длиной  $l$  и высотой  $h$ . Высота - определяется минимальным расстоянием между рабочим органом сепаратора и транспортирующей поверхностью (конвейерной лентой, вибрлотком) или поверхностью, ограждающей поток сепарируемого материала (дном ванны, неподвижным полюсом валкового сепаратора).

**Активной частью зоны** извлечения называется та ее часть, в которой магнитная сила вызывает перемещение магнитных частиц к рабочему органу сепаратора (например, участки рабочей зоны валковых сепараторов, расположенные вблизи оси симметрии зубцов валка, участки рабочей зоны барабанного сепаратора для мокрого обогащения, расположенные против полюсов магнитной системы).

**Зона транспортирования** представляет собой участок, на котором осуществляется перемещение магнитного продукта рабочим органом сепаратора к месту разгрузки и очистка магнитного продукта.

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СИЛЬНОМАГНИТНЫХ РУД

Сепараторы с открытыми магнитными системами имеют ряд полюсов чередующейся полярности, края которых расположены в **плоскости (а)** или **по цилиндрической поверхности (б)**, как, например, у барабанных сепараторов. В последнем случае полярность полюсов может чередоваться либо по периметру барабана, либо по его оси.

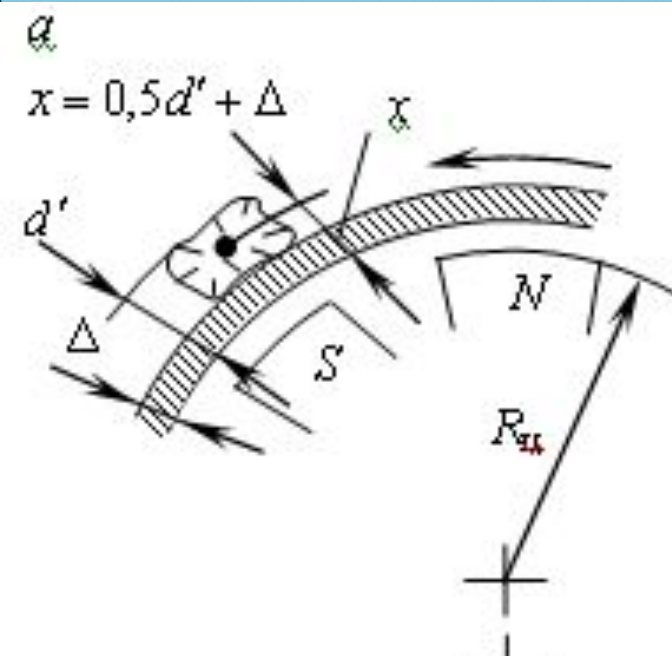


Магнитное поле многополюсных систем описывается равенством А.Я.Сочнева

$$H_x = H_0 \exp(-sx) = \pi M \exp(-sx) / 2S,$$

где  $H_x$  – напряженность магнитного поля на расстоянии  $x$  от поверхности полюсов, А/м;  
 $H_0$  – напряженность магнитного поля на поверхности полюсов, А/м;

$S$  – шаг полюсов, отсчитываемый по дуге радиуса  $R_{ц}$ , м;  
 $s$  – коэффициент неоднородности поля, м<sup>-1</sup>.

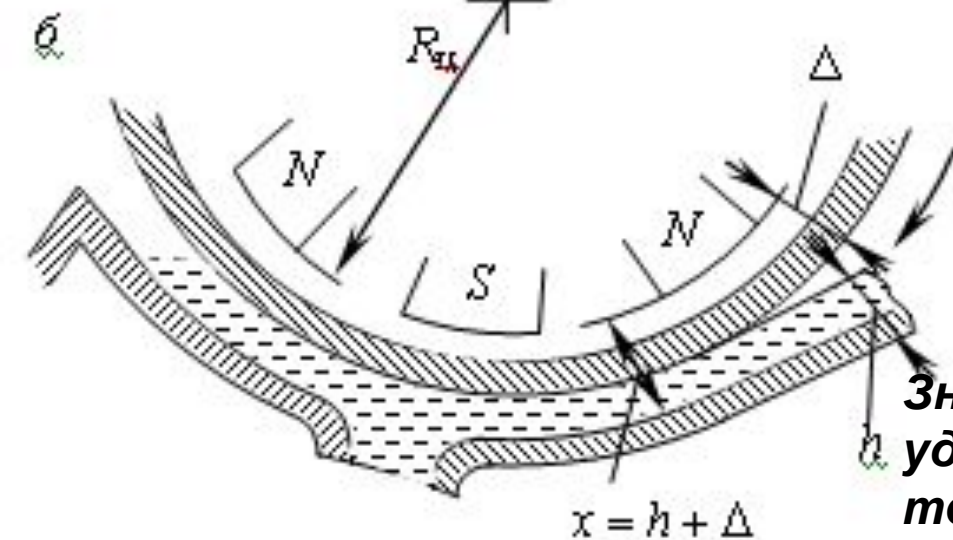


При расположении полюсов в плоскости  $s = \pi/S$ ;  
 при расположении полюсов на цилиндрической  
 поверхности  $s = \pi/S + 1/R_{ц}$ .

Шаг полюсов определяется верхним пределом  
 крупности  $d'$  обогащаемой руды или высотой  $h$   
 зоны извлечения и подачи питания – **верхней (а)**  
 или **нижней (б)** и составляет при расположении  
 полюсных наконечников в плоскости

$$S \approx \pi(d' + 2\Delta) = 2\pi(h + \Delta),$$

где  $\Delta$  – расстояние от поверхности полюсов до  
 слоя руды или пульпы, м.



При расположении полюсных  
 наконечников на цилиндрической  
 поверхности

$$S \approx [\pi R_{ц}(d' + 2\Delta)] / [R_{ц} - (d' + 2\Delta)] =$$

$$= [2\pi R_{ц}(h + \Delta)] / [R_{ц} - 2(h + \Delta)].$$

Значение  $\mu_0 H_{grad} H$  уменьшается с  
 удалением от поверхности полюсов,  
 тем быстрее, чем больше  
 коэффициент неоднородности  $s$ . Он  
 зависит от шага полюсов  $S$ , который  
 определяет глубину поля сепаратора.

**Для электромагнитных систем, систем из литых магнитов, обладающих большой остаточной индукцией и относительно малой коэрцитивной силой, близкие значения напряженности поля над серединами полюсов и зазоров между ними обеспечиваются при отношении ширины полюса к межполюсному зазору около 1,2.**

**Для магнитных систем из анизотропного феррита бария, обладающего относительно малой остаточной индукцией и большой коэрцитивной силой, зазор между полюсами сводится к минимуму.**

## **БЕГУЩЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СИЛЬНОМАГНИТНЫХ РУД**

**При перемещении барабана или ленты с магнитным материалом относительно многополюсной магнитной системы происходит переориентация флокул из магнитных частиц с частотой**

$$f = v/2S,$$

**где  $v$  – скорость перемещения барабана или ленты относительно полюсов магнитной системы, м/с.**

**Таким образом в любой точке на поверхности барабана многополюсной системы создается бегущее поле с частотой  $f$ .**

**При обычной скорости вращения барабана (1-2 м/с) и шаге полюсов магнитной системы  $S = 15 \div 20$  см частота поля составляет 2-7 Гц. При малой частоте поля происходит переориентация и частичный разрыв наиболее длинных флокул. Этого недостаточно для полного удаления частиц, находящихся между магнитными флокулами.**

*С увеличением частоты поля уменьшается длина флокул, и при достаточно большой частоте происходит их разрушение, что способствует повышению качества концентратов.*

*Бегающее магнитное поле может создаваться и электромагнитной системой трехфазного тока.*

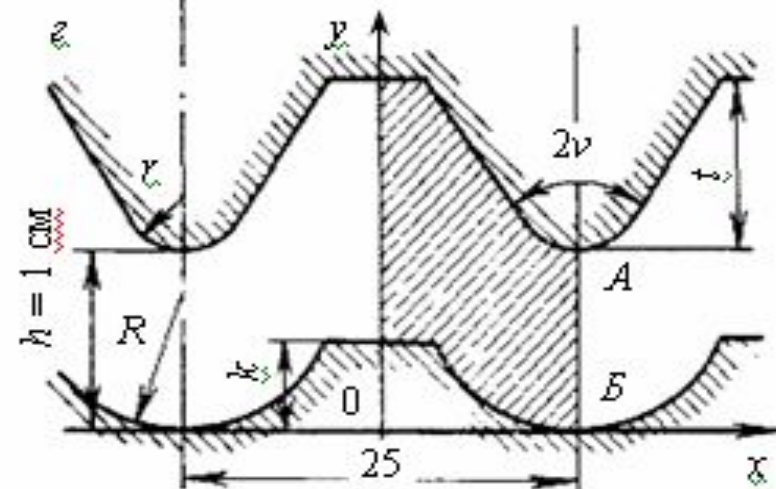
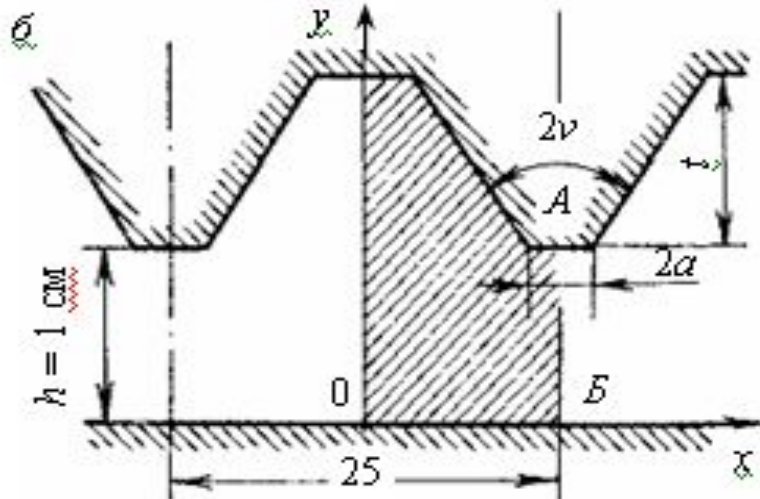
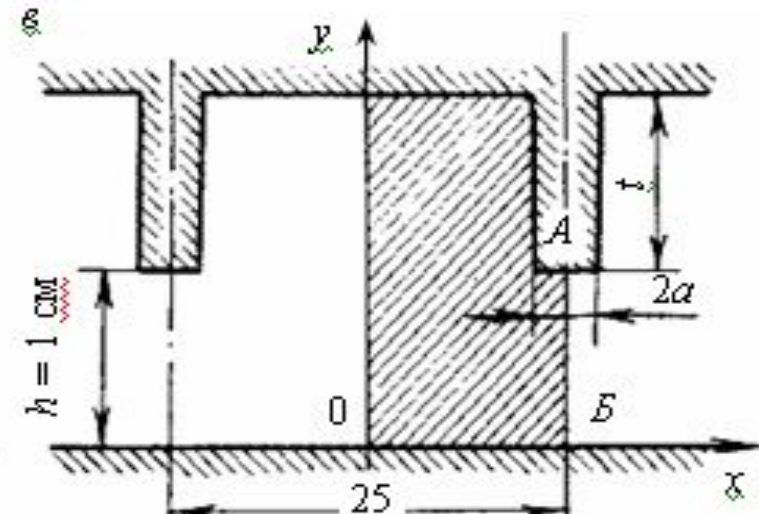
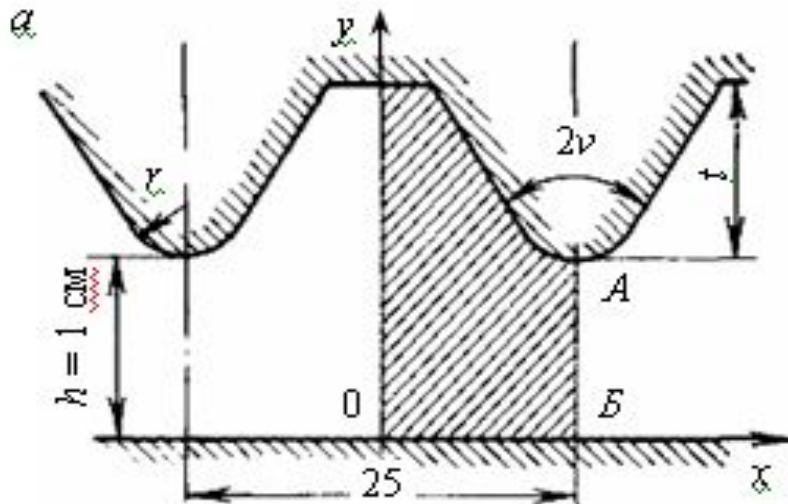
## **МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ РУД**

*Слабомагнитные руды можно обогащать при большом значении условной силы магнитного поля  $\mu_0 H_{grad} H$ , превышающем  $1,5 \cdot 10^8 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$ . Значение  $\mu_0 H_{grad} H$  в большой степени зависит от формы полюсов и их размеров. Поэтому их правильный выбор играет значительно бóльшую роль, чем в сепараторах со слабым магнитным полем для сильномагнитных руд.*

*При сочетании плоского и многозубчатого полюсов поле неоднородно лишь вблизи зубцов, а с приближением к плоскому полюсу становится близким к однородному. Замена плоского полюса полюсом желобчатым существенно повышает неоднородность всего поля, увеличивая значения условной магнитной силы  $\mu_0 H_{grad} H$ .*

# ОСНОВНЫЕ ПРОФИЛИ РАБОЧИХ ЗОН СЕПАРАТОРОВ С СИЛЬНЫМ ПОЛЕМ:

**а** – закругленный зубец – плоский полюс; **б** – трапецеидальный зубец – плоский полюс; **в** – прямоугольный зубец – плоский полюс; **г** – закругленный зубец – желобчатый полюс



# **ДИНАМИКА РУДЫ И ПУЛЬПЫ В СЕПАРАТОРАХ**

**Руда, перемещаясь через магнитное поле сепаратора, подвергается воздействию магнитной и механических сил.**

**Сепараторы подразделяются по характеру подачи, перемещения руды или пульпы через рабочую зону на сепараторы:**

- с верхним питанием и криволинейным перемещением (барабанные и валковые сепараторы);**
- сепараторы с нижним питанием с прямолинейным перемещением (ленточные, дисковые);**
- сепараторы с нижним питанием и криволинейным перемещением (барабанные, валковые и др).**

## **ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ РУДЫ В СЕПАРАТОРАХ ДЛЯ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ С ВЕРХНИМ ПИТАНИЕМ И КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ**

**Руду загружают на вращающийся барабан или валок, перемещающий ее через магнитное поле сепаратора.**

Поскольку магнитные частицы поступают на поверхность барабана вместе с немагнитными и не могут скользить относительно этой поверхности, удельная магнитная сила, необходимая для извлечения сильномагнитных частиц,

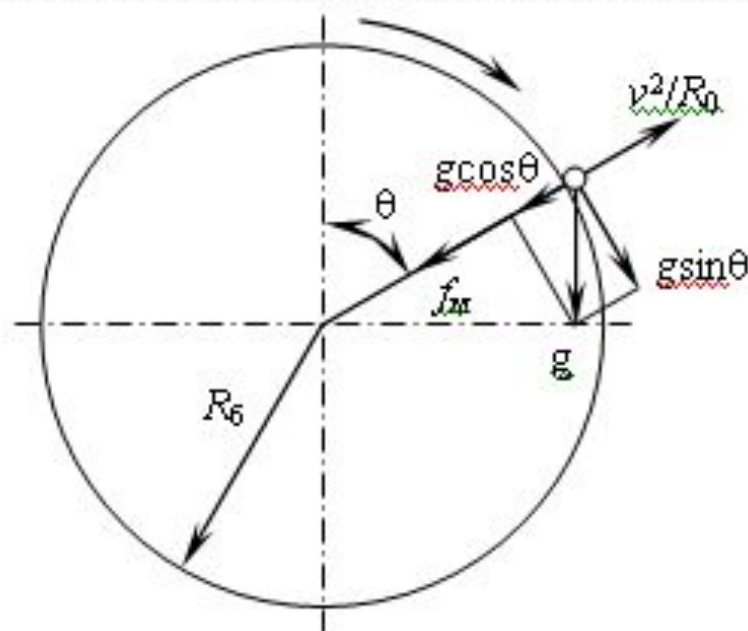
$$f_m = v^2/R_6 - g \cos \theta,$$

где  $v$  – скорость вращения барабана (или валка), м/с;

$R_6$  – радиус барабана, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\theta$  – угол, определяющий положение магнитной частицы на поверхности барабана, рад.





При обогащении крупнокусковой руды (размер частиц  $d$ ),  
когда отношение  $(d/R_6) > 0,05$ , равенство принимает вид

$$f_m = v^2(R_6 + 0,5d) / R_6^2 - g \cos \theta.$$

Скорость вращения барабана при заданном значении угла  $\theta$   
отрыва магнитных частиц

$$v = \sqrt{R_6 (\mu_0 X_T H \operatorname{grad} H + g \cos \theta_m)}.$$

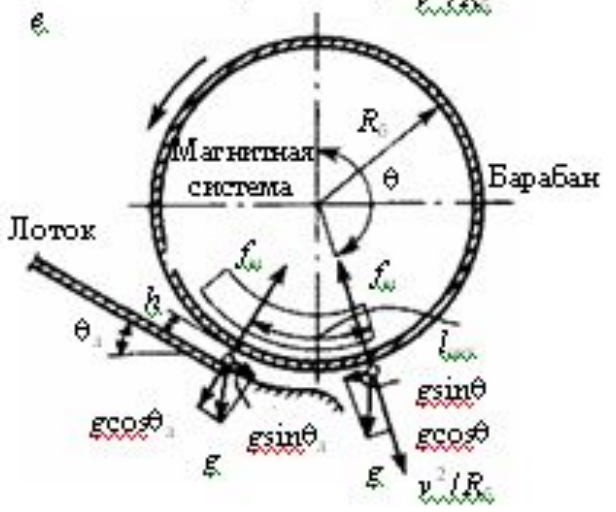
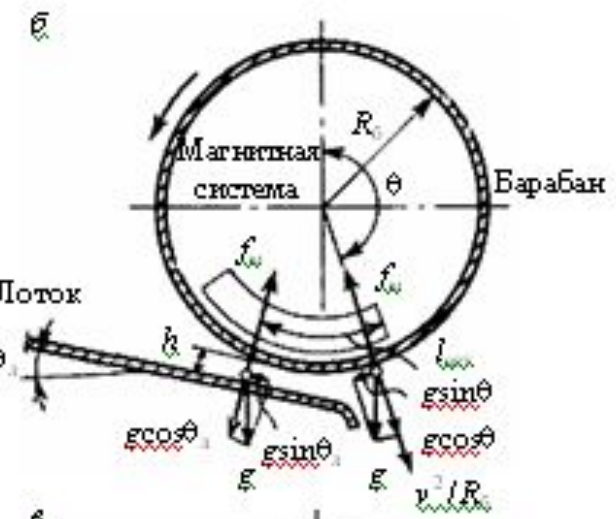
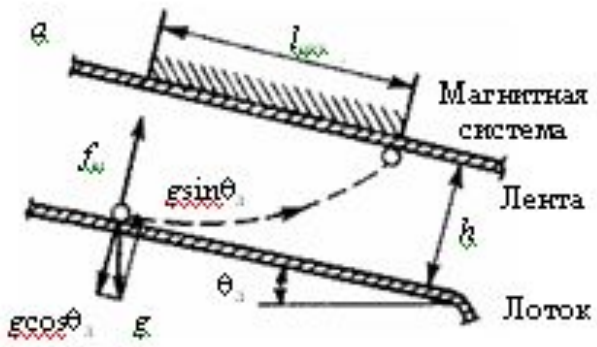
Угол отрыва магнитных частиц от поверхности барабана  
при заданной скорости его вращения

$$\theta_m = \arccos [v^2 / R_6 - \mu_0 X_T H \operatorname{grad} H] / g;$$

угол отрыва немагнитных частиц

$$\theta_n = \arccos v^2 / (g R_6).$$

# ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ РУДЫ В СЕПАРАТОРАХ ДЛЯ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ С НИЖНИМ ПИТАНИЕМ



В сепараторах с нижним питанием применяют три варианта перемещения руды и магнитного продукта через рабочую зону сепаратора:

- руда и магнитный продукт перемещаются прямолинейно (а);
- руда перемещается прямолинейно, а магнитный продукт – по криволинейной траектории (б);
- руда и магнитный продукт перемещаются по криволинейным траекториям (в).

Удельная магнитная сила  $f_m$  (Н) для извлечения магнитных частиц при прямолинейном перемещении руды и магнитного продукта (а) в дисковых сепараторах,

$$f_m = \mu_0 \chi_m H \text{grad} H \geq 2h\nu^2 / [(l_{akt})^2 + g],$$

где  $h$  – глубина зоны извлечения, мм;

$\nu$  – скорость транспортирования руды через зону извлечения, м/с;

$l_{akt}$  – длина активной части зоны извлечения, м.

**Предложенной формулой можно пользоваться при угле наклона лотка  $\theta_{\text{л}}$  от 0 до  $30^\circ$  и применима для однослойного питания.**

**После того как магнитные частицы сместились к транспортирующему устройству, удаляющему их из рабочей зоны, магнитной силе  $f_m$  необходимо преодолеть только силу тяжести  $g$  или ее нормальную составляющую  $g \cos \theta_{\text{л}}$ . При прямолинейном перемещении руды и криволинейном перемещении магнитного продукта (б), имеющих место при работе некоторых типов валковых и барабанных сепараторов, движение магнитных частиц можно разделить на два периода: 1) подъем магнитных частиц и притяжение их к барабану или валку; 2) транспортирование магнитных частиц.**

**При криволинейном перемещении руды и магнитного продукта (в), которое имеет место при работе некоторых типов валковых сепараторов, руда поступает в рабочую зону самотеком по наклонному лотку, а затем движется по магнитному полюсу, концентричному валку.**

## **ДИНАМИКА РУДЫ В СЕПАРАТОРАХ ДЛЯ МОКРОГО ОБОГАЩЕНИЯ С НИЖНИМ ПИТАНИЕМ**

**При разделении в водной среде учитывают влияние сопротивления среды на скорость движения частиц. Здесь сопротивление среды на границе вода – воздух исключается благодаря тому, что их рабочие органы погружены в пульпу и процесс обогащения происходит полностью в водной среде.**

**Сопротивление водной среды уменьшает скорость движения магнитных частиц в направлении  $f_m$ , а немагнитных – в направлении действия механических сил. Рабочие органы сепараторов, перемещаясь вместе с магнитными частицами, увлекают часть пульпы с взвешенными в ней тонкими немагнитными частицами и этим загрязняют магнитный продукт, поэтому скорость вращения барабанов или валков должна быть ограничена, особенно в операциях выделения чистых магнитных продуктов 1,2-1,4 м/с и в операциях перечистки магнитного концентрата 0,8-1,0 м/с.**

**При мокром обогащении сильномагнитных руд происходит магнитная флокуляция тонких магнитных частиц. Крупные магнитные флокулы по сравнению с отдельными частицами испытывают относительно небольшое сопротивление среды при движении к полюсам магнитной системы. При мокром обогащении слабомагнитных руд магнитная флокуляция не происходит и на магнитную частицу действует сила, соизмеримая с силой тяжести.**

При мокром обогащении **сильномагнитных руд** удельная магнитная сила, необходимая для извлечения магнитных частиц, приближенно определяется выражением

$$f_m = \mu_0 X_T H \text{grad} H = g_0 + 7,5 (v_m)^2 \Delta_{\pi} / (d_m \delta_m \sqrt{v_m d_m \Delta_{\pi} / \eta_c}),$$

где  $g_0$  – начальное ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $v_m$  – скорость движения магнитных частиц к поверхности барабана, м/с;  $\Delta_{\pi}$  – плотность питания, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_m$  – плотность вещества магнитных частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $d_m$  – крупность магнитных частиц (флокул), м;  $\eta_c$  – вязкость среды, Па·с.

Скорость движения магнитных частиц

$$v_m = 0,26 d_m^3 \sqrt{[(\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0) \delta_m / \sqrt{\eta_c \Delta_{\pi}}]^2}.$$

Допустимая скорость потока пульпы в рабочем пространстве сепаратора может быть определена из условия

$$v_{\pi} = v_m l_{\text{акт}} / h,$$

где  $l_{\text{акт}} = \kappa_a l$  – длина активной части зоны извлечения, м;  $\kappa_a \approx 0,4$ ;  $h$  – высота зоны извлечения, м.

В этом случае

$$v_{\pi} = (0,26 l_{\text{акт}} d_m / h) \sqrt[3]{[(\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0) \delta_m / \sqrt{\eta_c \Delta_{\pi}}]^2}.$$

Минимальная крупность  $d_m$  магнитных частиц (флюкул), извлекаемых в магнитный продукт при заданном режиме работы сепаратора, определяется по формуле

$$d_m = 3,8 v_{\pi} h / l_{\text{акт}} \sqrt[3]{[(\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0) \delta_m / \sqrt{\eta_c \Delta_{\pi}}]^2}.$$

При мокром обогащении **слабомагнитных руд** магнитная сила, необходимая для извлечения магнитных частиц,

$$f_m \approx \mu_0 X_T H \text{grad} H = g_0 + 18 \eta_c v_m / (d_m^2 \delta_m).$$

Допустимая скорость потока пульпы в рабочем пространстве сепаратора может быть определена с учетом соотношения:

$$v_{\pi} = (l_{\text{акт}} d_m^2 \delta_m / 18 \eta_c h) (\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0).$$

Минимальная крупность магнитных частиц, извлекаемых в магнитный продукт,

$$d_m = 4,27 \sqrt{v_{\pi} \eta_c h / [l_{\text{акт}} \delta_m (\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0)]}.$$

## **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СЕПАРАТОРОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ**

При магнитном обогащении руд различают:

- **максимально допустимая производительность сепаратора** - наибольшая производительность, которая обеспечивает удовлетворительные результаты разделения руды;
- **фактическая производительность** определяется конкретными условиями установки на фабрике.

Принимают фактическую производительность сепаратора равной или несколько меньшей максимально допустимой.

**Максимально допустимая производительность сепаратора определяется:**

- **извлекающей способностью** (способностью извлекать магнитные частицы из слоя или потока материала за время прохождения руды через зону извлечения);
- **транспортирующей способностью** (способностью рабочего органа транспортировать магнитные продукты из зоны извлечения к месту разгрузки);
- **пропускной способностью**, характеризуемой максимальным количеством материала, которое сепаратор способен пропустить в единицу времени;
- **от физико-минералогических особенностей обогащаемой руды и конструктивных параметров сепараторов.**

**Извлекающая способность** сепаратора зависит от условной магнитной силы, крупности руды, магнитной восприимчивости магнитных частиц и содержания их в исходной руде, длины и глубины зоны извлечения и сил сопротивления движению магнитных частиц к рабочему органу.

**Транспортирующая способность** сепаратора зависит от окружной скорости вращения рабочего органа и максимально возможной нагрузки магнитного продукта на единицу поверхности рабочего органа. При сухом обогащении ее регулируют, изменяя скорость вращения барабана или валка, а при мокром она ограничена, так как увеличение окружной скорости вращения рабочих органов сверх 1,4 м/с вызывает чрезмерную турбулентность потока пульпы в рабочей зоне и значительные загрязнения магнитного продукта немагнитными частицами.

**Пропускная способность** сепаратора определяется длиной, высотой и шириной рабочей зоны и скоростью перемещения материала через нее. При сухом обогащении скорость перемещения материала через рабочую зону зависит от конструкции транспортирующих устройств и рабочей зоны, скорости вращения рабочего органа и физических свойств обрабатываемых материалов. При мокром (в режиме частичного погружения барабана или валка в пульпу) эта скорость определяется напором пульпы на входе в рабочую зону и гидравлическим сопротивлением рабочей зоны.



**Производительность сепараторов для сухого обогащения с верхним питанием.** Максимально допустимая производительность сепараторов с верхним питанием

$$Q = 3,6 a_m v_p v_r \delta_r n d' b,$$

где  $a_m$  – коэффициент, учитывающий содержание  $\alpha_m$  магнитных частиц в исходной руде,  $a_m = 0,7$  при  $\alpha_m > 70 \%$ ,  $a_m \approx 1$  при  $\alpha_m \approx 50 \%$ ,  $a_m = 1,3$  при  $\alpha_m \leq 30 \%$ ;  $v_p$  – коэффициент заполнения слоя руды,  $v_p = 0,2$  для неклассифицированного материала,  $v_p = \pi \times \frac{(d' - d'')}{(6d' \ln(d'/d''))}$  для классифицированного материала с верхним  $d'$  и нижним  $d''$  пределами крупности;  $\delta_r$  – плотность руды, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – число слоев, зависящих от крупности руды, для сильномагнитных руд  $n = 1$  при  $d' > 2,5$  см;  $n = 1 \div 3$  при  $2,5 \text{ см} \geq d' \geq 0,8$  см;  $n = 3 \div 5$  при  $0,8 \text{ см} \geq d' \geq 0,2$  см;  $n = 5 \div 10$  при  $d' < 0,2$  см; для слабомагнитных руд крупностью менее 0,3 см число слоев  $n = 1 \div 3$ ;  $b$  – ширина слоя питания, м.

Скорость транспортирования руды через зону извлечения  $v_p$  при верхнем питании определяется равенством  
 где  $v = v_p$  с учетом равенства

**Производительность сепараторов для сухого обогащения с нижним питанием.** Скорость удаления магнитного продукта из рабочей зоны, т.е. скорость вращения барабана или вала, для барабанных и валковых сепараторов

$$\underline{v} = \underline{h}_c \alpha_m \underline{v}_D \delta'_p / (\underline{h}'_c \delta'_m),$$

где  $\underline{h}_c$  и  $\underline{h}'_c$  – средняя высота слоя соответственно материала, поступающего под барабан (валок), и магнитного продукта, на поверхности барабана (вала), м;

$\delta'_p$  и  $\delta'_m$  – насыпная плотность соответственно исходной руды и магнитного продукта, кг/м<sup>3</sup>.

Следует учитывать, что скорость  $\underline{v}$  не должна превышать значения, определяемого выражением.

**Производительность барабанных сепараторов для мокрого обогащения со слабым полем с нижним питанием. Максимально допустимая производительность определяется выражением**

$$Q = 9,4 \cdot 10^{-3} (k_g / k_w) b P_{\text{II}} l_{\text{акт}} d_m^3 \sqrt{[(\mu_0 X_T H \text{grad} H - g_0)^2 \Delta_{\text{II}}^2 \delta_m^2 / \eta_c]},$$

где  $k_g$  – коэффициент, учитывающий условия подачи пульпы в рабочую зону;  $k_w$  – коэффициент, показывающий отношение объемного расхода немагнитной части пульпы к объемному расходу питания;  $P_{\text{II}}$  – содержание твердого в питании, доли ед.

Для прямоточных и полупротивоточных сепараторов  $k_g \approx 1$ ; для противоточных сепараторов  $k_g \approx 0,6$ . Для прямоточных сепараторов  $k_w = 1$ , а для противоточных и полупротивоточных

$$k_w = 1 - \gamma_m (R_{\text{II}} + 1 / \delta_m) / (R_{\text{II}} + 1 / \delta_{\text{II}}),$$

где  $\gamma_m$  – выход магнитного продукта, доли ед.;  $R_{\text{II}}$  и  $R_m$  – отношение Ж:Т соответственно в питании и в магнитном продукте по массе, доли ед.;  $\delta_{\text{II}}$  – плотность твердого в питании, кг/м<sup>3</sup>.

## **ПОДГОТОВКА РУДЫ ПЕРЕД МАГНИТНЫМ ОБОГАЩЕНИЕМ**

**Выбор подготовительных операций определяется характеристикой руды и условиями процесса обогащения.**

**1. Дробление и измельчение.**

**2. Грохочение руды.**

**При обогащении неклассифицированной руды с широким диапазоном крупности снижается эффективность разделения, затрудняется правильный подбор условий обогащения и выбор параметров рабочей зоны сепаратора.**

**3. Обеспыливание и обесшламливание руды.**

**4. Намагничивание сильномагнитных руд и материалов.**

**Предварительно намагниченные частицы магнетита осаждаются быстрее частиц пустой породы. Удаление в слив тонкой пустой породы со значительным количеством воды также улучшает последующее обогащение руды.**

**5. Размагничивание сильномагнитных руд и материалов производят для разрушения флокул перед классификацией или фильтрованием тонкого концентрата, т.к. по выходе из магнитного поля флокулы сохраняются, хотя их размеры уменьшаются, и, если их не разрушить, при классификации они попадают в пески, нарушая процесс классификации, а при фильтровании затрудняют отделение воды и получение хорошо обезвоженного кека.**

**6. Сушка руды.** При сухом магнитном обогащении отрицательное влияние на процесс обогащения оказывает сила взаимного сцепления частиц, возрастающая с повышением влажности руды. Это особенно заметно при уменьшении крупности руды.

На отечественных фабриках при сухом магнитном обогащении грубых гравитационных концентратов руд редких металлов концентрат предварительно подсушивают до содержания в нем влаги менее 1 %.

Так, для смеси минералов (для плотной магнетитовой руды) получены следующие значения:

Крупность, мм	-3 + 0	-6 + 0	-12 + 0	-25 + 0
Влажность, %	<1,0	1,5	2,5	5,0