

ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 3

Процессы и аппараты обогащения
Магнитные, электрические,
специальные методы

магнитных, электрических и

специальных

- Магнитные методы
 - железорудные минералы
 - регенерация утяжелителя в ТЖС
 - выделение железного скрапа перед оборудованием
 - доводка гравитационных концентратов
 - операция размагничивания
- Электрические
 - Россыпи редких металлов
- Специальные
 - Радиометрические (уран)
 - Фотометрические (алмаз)
 - По трению

Физические основы

Физические свойства минералов

- Магнитная восприимчивость
- Электропроводность
- Трение
- Радиоактивность
- Свечение

Размер минеральных выделений

- Сухая магнитная сепарация -100(50) + 6 (3) мм; для сильномагнитных минералов крупность выше, для слабомагнитных -20 (30)мм
- Мокрая магнитная сепарация -3 (6) мм
- Электрическая сепарация (только сухой материал) от 3(4) мм до 0,5 мм

Критерий разделения

- Различие в траектории движения частиц за счет различного действия суммы магнитной (электрической и др.) и механических сил на частицы, обладающие различными физическими свойствами (магнитная восприимчивость, удельная электропроводность и т.п.)

Магнитные

Индукция В, Тл $B = \mu H$

напряженность Н, [А/м] или [кА/м]

$$\text{grad}H = \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{grad}H = \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{grad}H \text{ имеет размерность [кА/м}^2\text{].}$$

$$H = k \int_l \frac{Idl \sin(\vec{i}, \vec{r})}{r^2}$$

Магнитная восприимчивость χ_1 данного минерала (вещества) – это физическая константа, зависящая от химического состава вещества, его кристаллического строения, крупности. Уменьшается с ростом температуры и увеличением дисперсности минерала

Магнитная проницаемость $\mu = 1 + 4\pi\chi$

$$\chi_0 = \frac{I}{H} \quad \chi = \frac{I}{H} = \frac{I}{H - NI}$$

Удельная магнитная восприимчивость вещества ($\text{м}^3/\text{кг}$)

$$\chi = \frac{\chi^i}{1 + N\chi_0} \quad 0 < N < 1, \text{ зависит от формы}$$

Магнитная сила $F_m = \mu_0 \chi H \text{grad}HV$

μ_0 - магнитная проницаемость вакуума – $4\pi \cdot 10^{-7}$ Вб/А;

Классификация минералов по удельной магнитной восприимчивости

Группы минералов по магнитным свойствам	Минералы	Удельная магнитная восприимчивость, см ³ /г
Сильномагнитные минералы >4·10 ⁻⁵ м ³ /кг	Магнетит Франклинит Пирротин Мартит	(50000-80000)·10 ⁻⁸ (1000-6000) · 10 ⁻⁸ (500-4500) · 10 ⁻⁸ (200-10000) · 10 ⁻⁸
Магнитные минералы от 7,5·10 ⁻⁶ до 1,26·10 ⁻⁷ м ³ /кг	Ильменит Гематит Гранат Хромит Вольфрамит Ферберит Родохрозит	(113-270) · 10 ⁻⁸ (70-280) · 10 ⁻⁸ (60-160) · 10 ⁻⁸ (50-450) · 10 ⁻⁸ (66-100) · 10 ⁻⁸ (25-150) · 10 ⁻⁸ 138·10 ⁻⁸
Слабомагнитные минералы от 7,5·10 ⁻⁶ до 1,26·10 ⁻⁷ м ³ /кг	Амфибол Биотит Глауконит Доломит Лимонит Магнезит Монацит Пироксен Пиролозит Сидерит Роговая обманка Турмалин Пирит	90·10 ⁻⁵ (40-52) · 10 ⁻⁵ 63·10 ⁻⁵ 27·10 ⁻⁵ (36-60) · 10 ⁻⁵ 15·10 ⁻⁵ 20·10 ⁻⁵ 65·10 ⁻⁵ 30·10 ⁻⁵ 63·10 ⁻⁵ 24·10 ⁻⁵ 12·10 ⁻⁵ 40·10 ⁻⁵
Немагнитные минералы <1,26·10 ⁻⁷ м ³ /кг	Полевой шпат Флюорит Рутил Циркон Ортоклаз Апатит Пирит Кальцит Борнит Антрацит Арсенопирит Берилл Кварц Халькопирит Галенит Сфалерит	5·10 ⁻⁶ 5·10 ⁻⁶ 2·10 ⁻⁶ 2·10 ⁻⁶ 5·10 ⁻⁶ 1·10 ⁻⁶ 1·10 ⁻⁶ 3·10 ⁻⁶ 8·10 ⁻⁶ 4·10 ⁻⁶ 8·10 ⁻⁶ 0,8·10 ⁻⁶ 0,2·10 ⁻⁶ 5·10 ⁻⁶ 5·10 ⁻⁶ 5·10 ⁻⁶

Типы магнитных систем по создаваемой напряженности

- Сепараторы со слабым магнитным полем (80-120 кА/м)
 - Открытые магнитные системы, используют постоянные магниты (ранее электромагниты)
 - Обогащение руд с сильномагнитными минералами
- Сепараторы с сильным магнитным полем (800-1200 кА/м)
 - Замкнутые магнитные системы (электромагниты)
 - Обогащение слабомагнитных руд

Разделение минералов происходит в сепараторах с неоднородным магнитным полем – необходимо иметь градиент магнитного поля

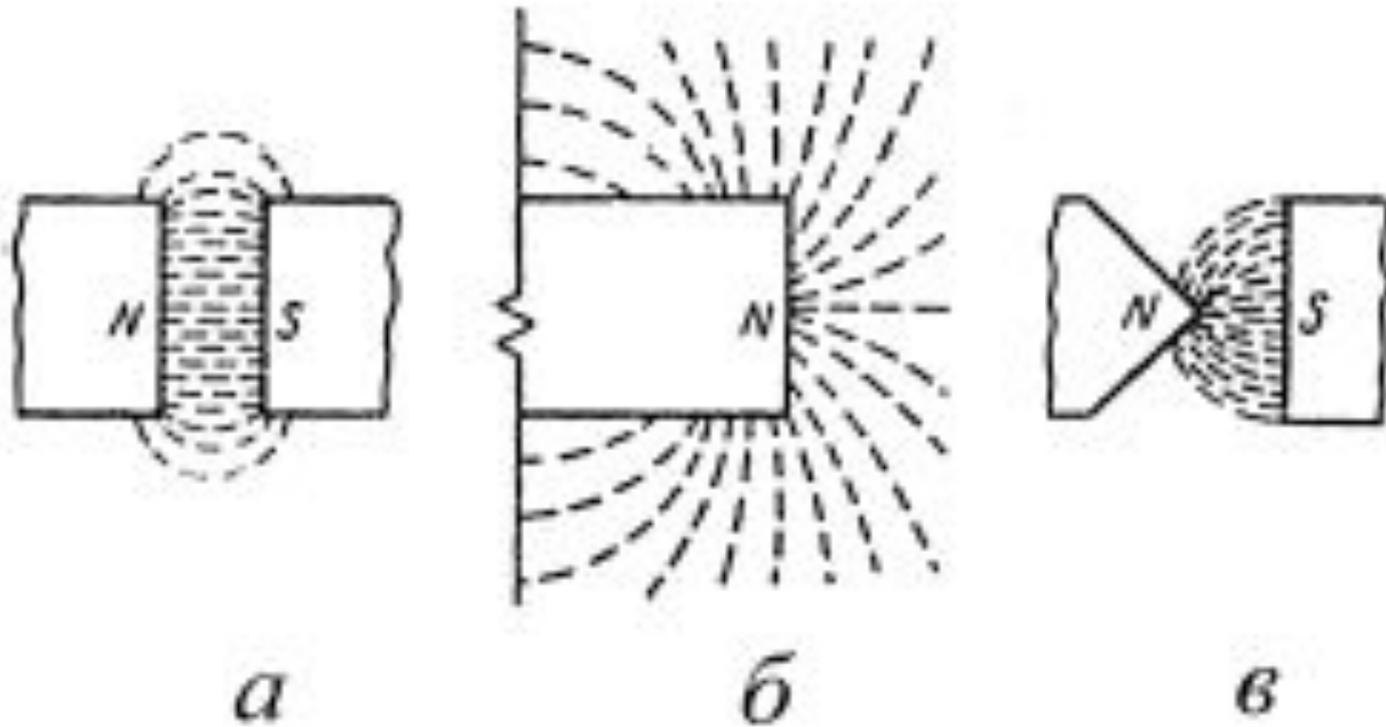


Схема образования магнитных полей:

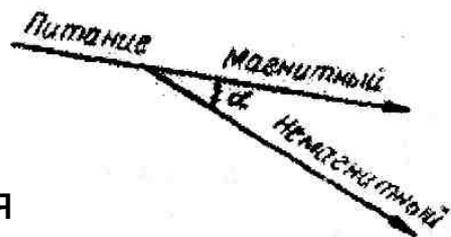
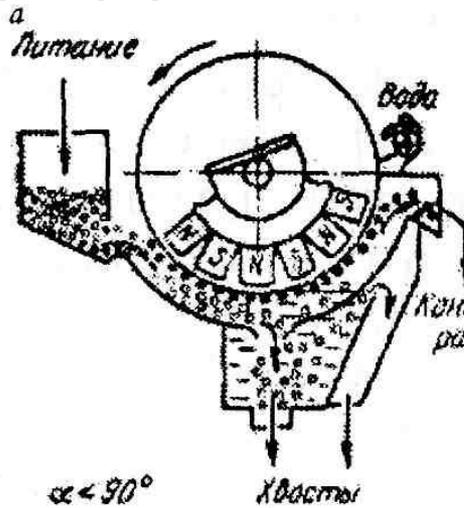
а – однородное поле; б и в – неоднородные поля

Классификация магнитных сепараторов

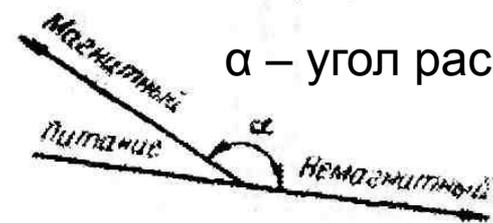
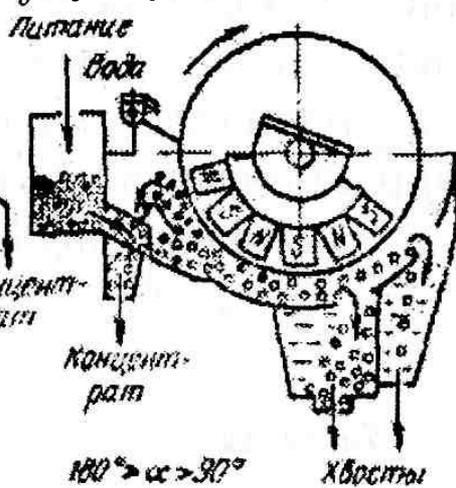
- По типу рабочего органа
 - Барабанные
 - Роторные
 - Дисковые
- По способам подачи исходной руды
 - С верхней (скорость выше, применяют для кускового и зернистого материала)
 - С нижней (для мелкого материала)
- По направлению движения исходного питания и продуктов обогащения (магнитный продукт)
 - Прямоточные
 - Противоточные
 - Полупротивоточные

По направлению движения исходного питания и продуктов обогащения (магнитный продукт)

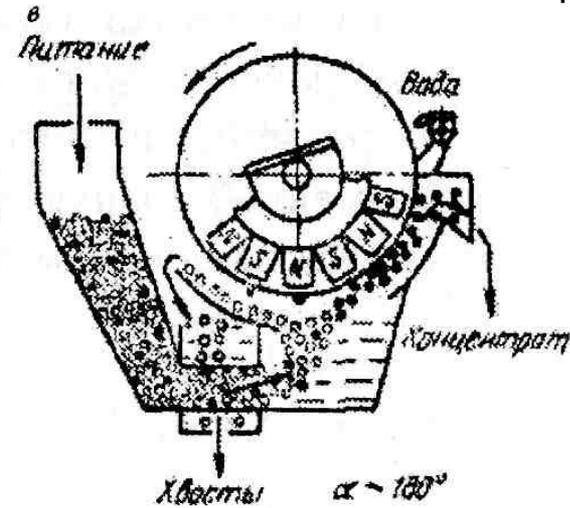
способ отклонения



способ удерживания



Способ извлечения более магнитных частиц



α – угол раскрытия веера

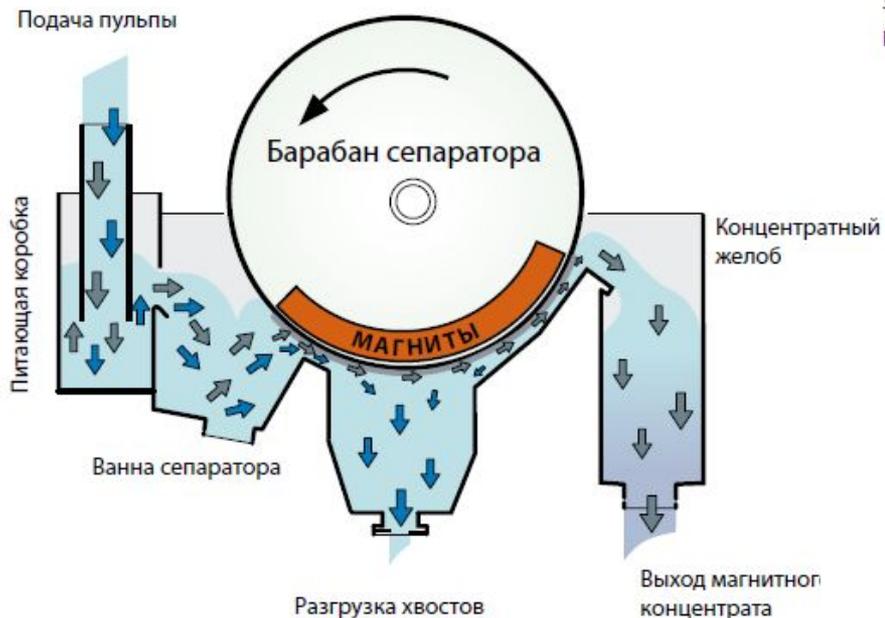
Высокая производительность, эффективность разделения недостаточно высокая

Высокое извлечение магнитных частиц

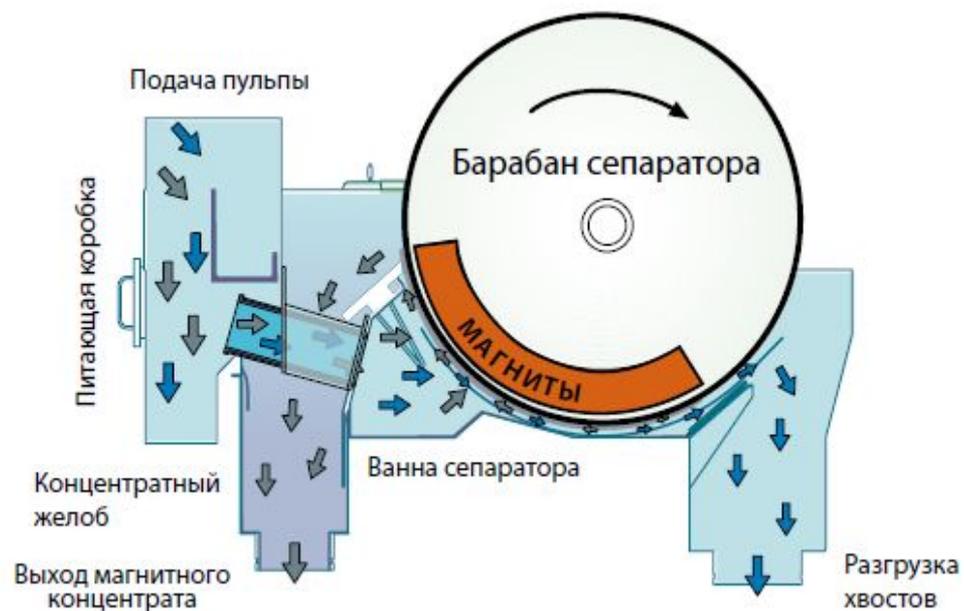
Работает на качество концентрата, извлечение более низкое

Рис. 3.50. Схема устройства сепараторов с прямоточной (а), противоточной (б) и полупротивоточной (в) ваннами

С прямоточной ванной



С противоточной ванной

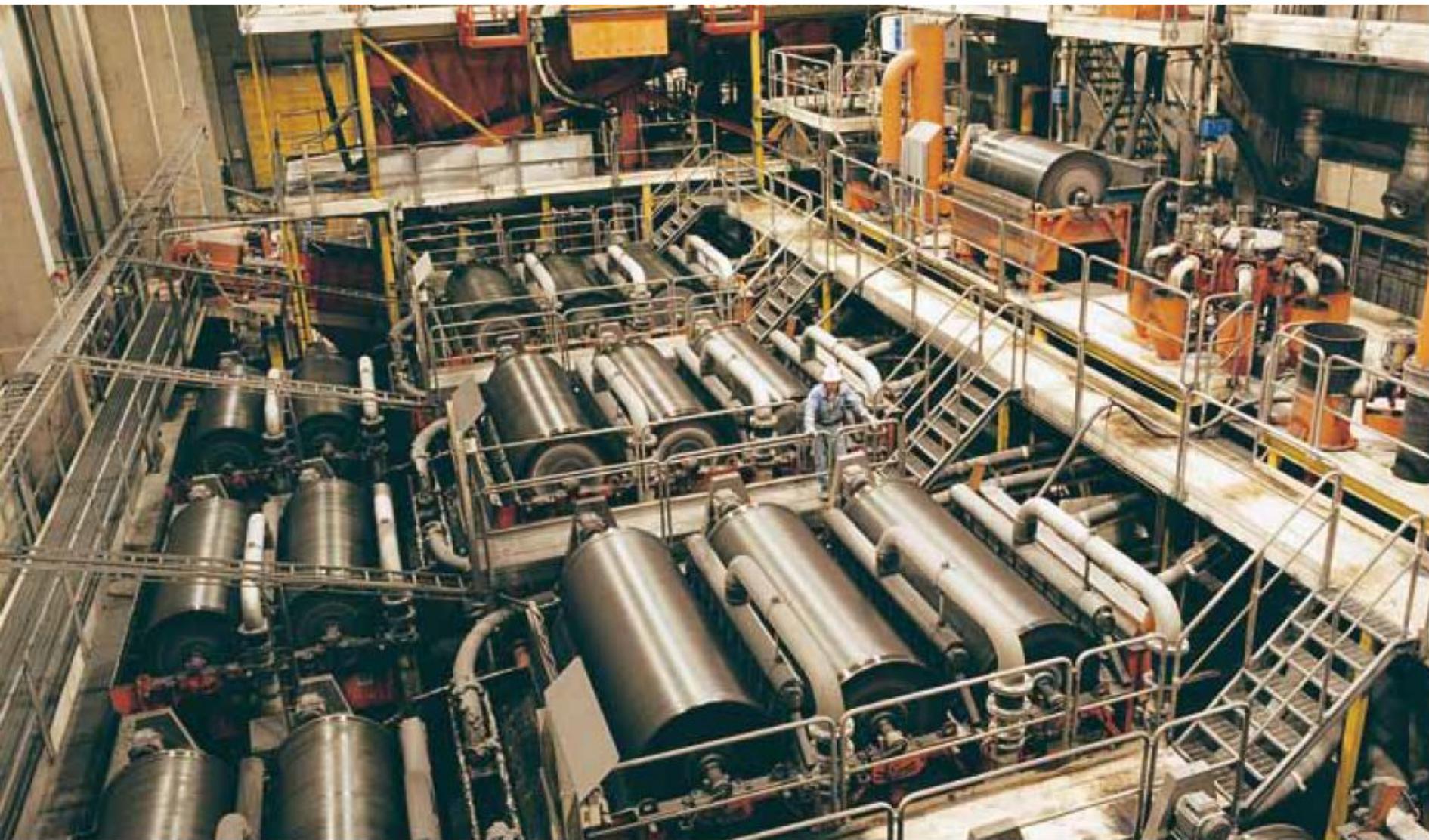


- ПБМ-П, буква П, стоящая после тире показывает, что сепаратор работает в **противоточном режиме**

ПБМ-93/100, т.е. барабанный мокрый магнитный сепаратор с открытой магнитной системой **прямоточный** (буква П отсутствует) с диаметром барабана 930 мм и длиной барабана 1000 мм

- ПБМ-ПП. Две буквы «ПП» после тире обозначают, сепаратор имеет конструкцию ванны, при котором исходное питание – пульпа подается снизу ванны, а барабан с магнитной системой вращается в направлении противоположном движению немагнитного продукта. Угол между разгрузкой магнитного и немагнитного продукта составляет

120°. Применяют при содержании класса меньше 74 мкм более 70 % и может увеличиваться до 95 %.





Внутренний вид питающей коробки

Внутренний вид питающей коробки



Регулируемый переливной порог концентрата.

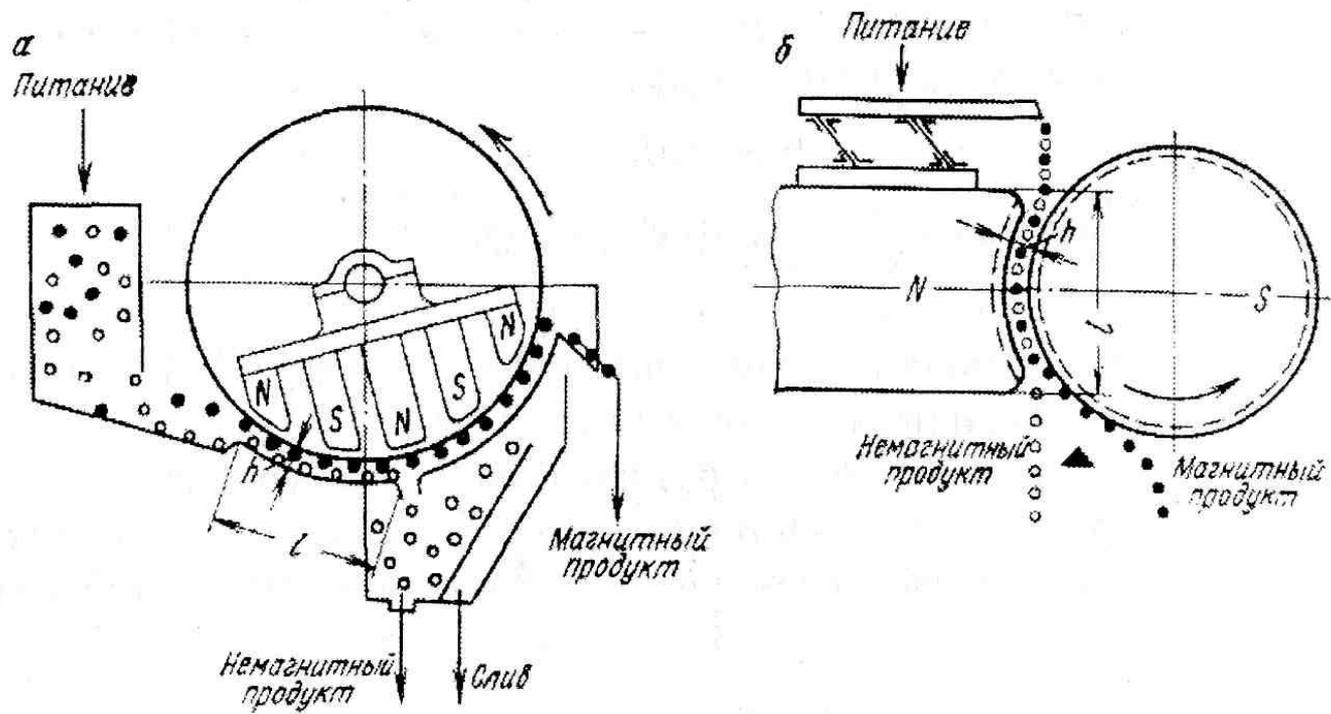


Рис. 3.48. Схемы рабочих зон сепараторов с открытой магнитной системой (а) и замкнутой системой (б)

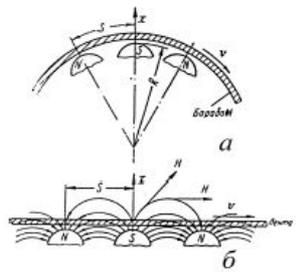


Схема расположения полюсов открытой многополюсной магнитной системы по цилиндрической поверхности (а) и в плоскости (б)

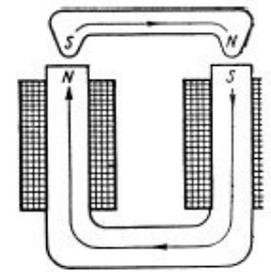
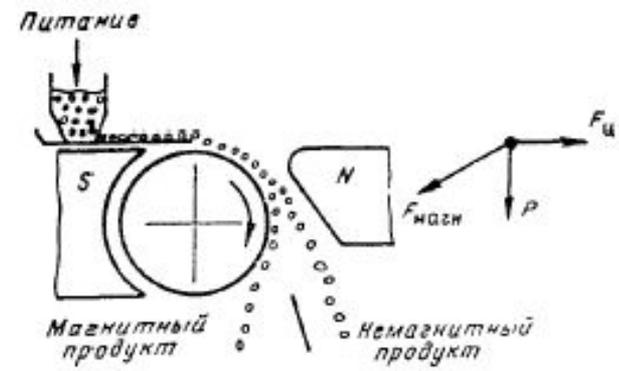
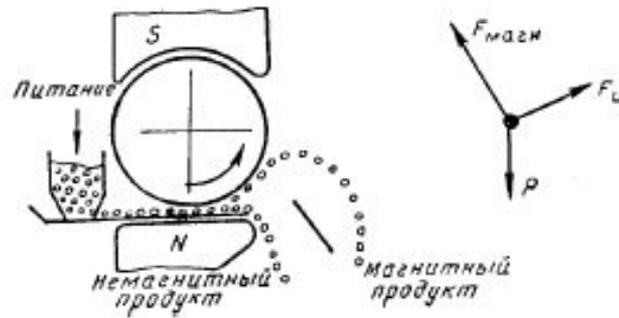


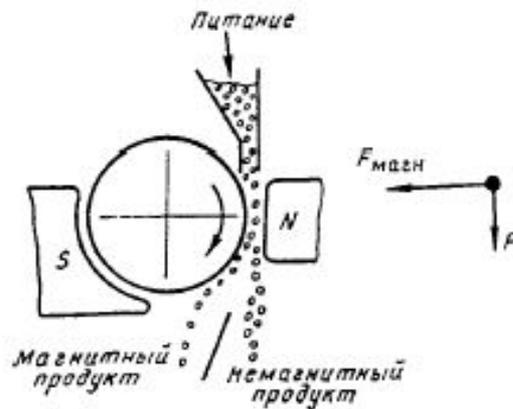
Схема электромагнита с замкнутым сердечником



а



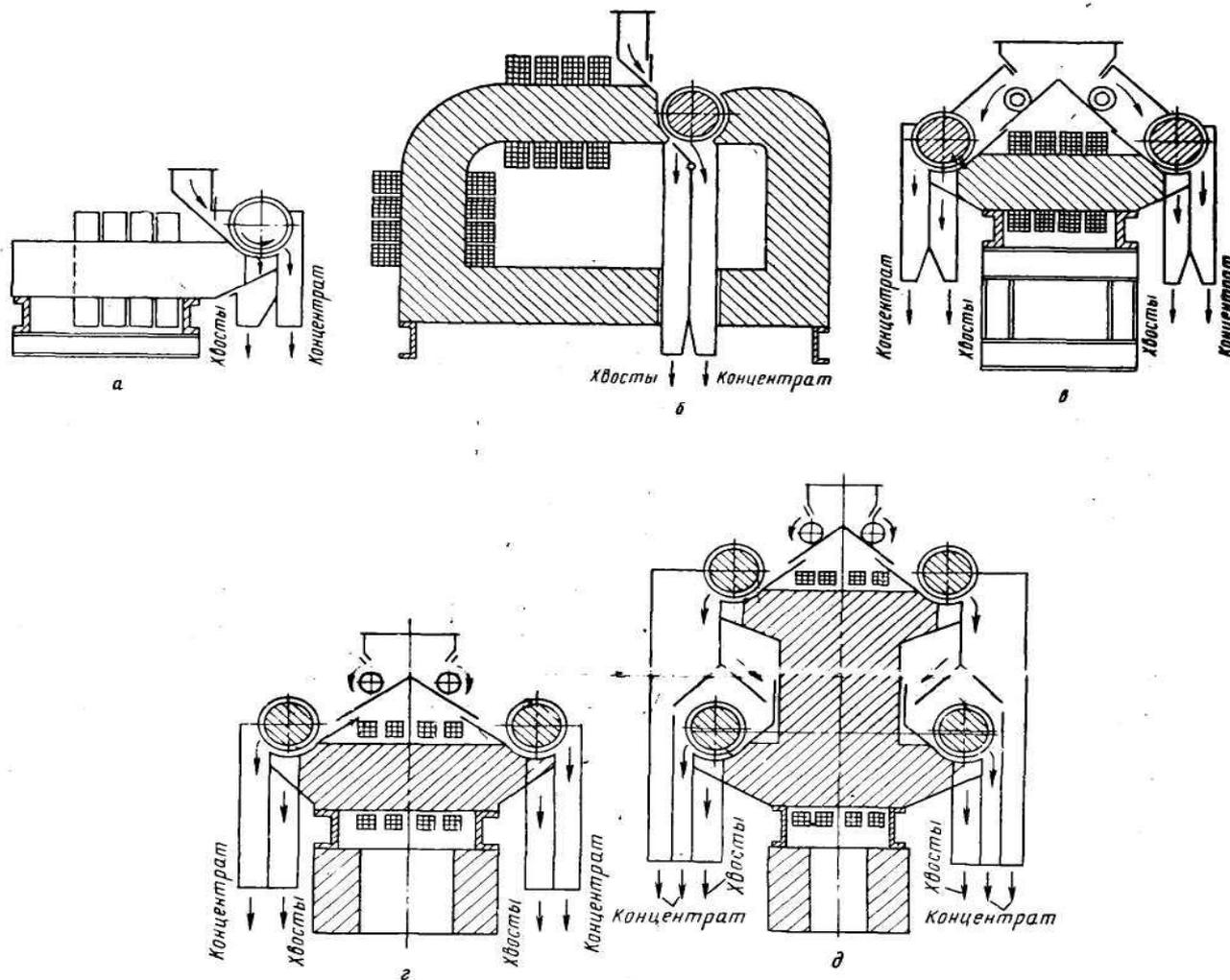
б



в

Способы подачи питания в рабочую зону сепаратора:
 а – в – соответственно верхняя; нижняя; вертикальная

Сепараторы для мокрого обогащения слабомагнитных руд



- а - 2ВК5-40;
- б - 127-СЭ;
- в - 2ВК-5В;
- г - ЭРМ-3;
- д - ЭРМ-4

Высокоградиентная и феррогидростатическая сепарация

- Сепаратор ФГС-1 предназначен для разделения немагнитных материалов по плотности в ферромагнитной жидкости, также при исследовании обогатимости золотосодержащего сырья других сложных немагнитных минеральных комплексов.
- Ферростатической сепарацией обогащается лом цветных металлов: бытовая радиоаппаратура, содержащая свинец, медь, алюминий, золото, серебро - немагнитные металлы.

Полиградиентная среда – шары, буровая дробь (6-8 мм), мелкие железные материалы, обладающие магнитными свойствами

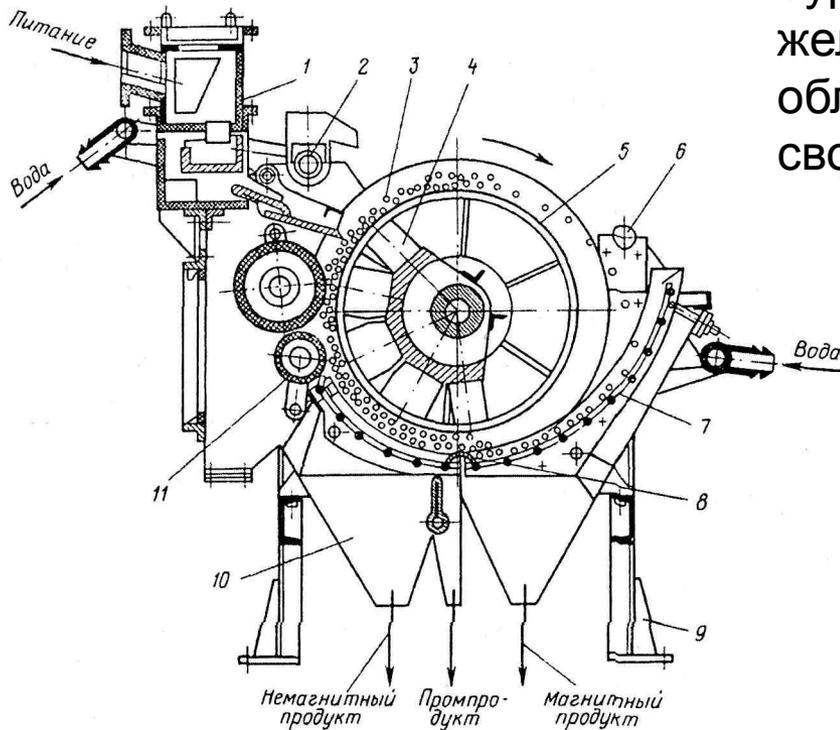


Рис. 8.9. Высокоградиентный магнитный сепаратор (240-СЭ):
1 — питатель; 2, 6 — брызгала; 3 — стальные шарики; 4 — магнитная система; 5 — барабан; 7 — дугообразное сито; 8 — порог; 9 — рама; 10 — ванна; 11 — прижимные валики

Исходная пульпа из питателя подается на слой шаров, который удерживается на барабане полем магнитной системы. Магнитные минералы, удерживаемые магнитной силой в каналах между шарами, поднимаются в верхнюю часть барабана, где окончательно вымываются немагнитные частицы брызгалом 2. Шары с магнитными минералами подаются на сито, где водой магнитные частицы отмываются от шаров.

Технологические критерии разделения магнитным

МЕТОДОМ

- Контрастность по удельной магнитной восприимчивости (не менее 3-5)
- При мокром обогащении содержание твердого 30-40 %.
- Глубина рабочей зоны, как правило, не должна превышать $2d_{\max}$, т.е. 2 максимальных диаметров частиц.
Материал под ролик или валок должен подаваться однослойно.

Электрические

- Процесс электрического обогащения возможен, если $F_{эл} \geq \Sigma F_{мех}$. Например, при движении частиц по криволинейной траектории $F_{эл} \geq (\frac{v^2}{R} - g \cos \alpha)$, н/кг, где v^2 – окружная скорость вращения осадительного электрода м/с, R – радиус осадительного электрода, м², $g \cos \alpha$ - нормальная составляющая силы тяжести частицы, т·м/с².

ОСНОВЫ

Электрическая сила - заряд частицы q и напряженность электрического поля

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

коэффициент неоднородности поля

$$C = \frac{|\text{grad } E|}{E}$$

Сила F_1 имеет место в однородном и неоднородном поле и определяется размером частицы и напряженностью электрического поля, куда помещена частица.

$$\vec{F}_1 = 4\pi \epsilon_0 \epsilon r^2 \vec{E}^2$$

Электрическая сила, обусловленная неоднородностью электрического поля, действующая на частицу с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1

$$\vec{F}_2 = \epsilon_0 \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 2} r^3 \vec{E} \text{ grad } \vec{E}$$

Для проводников

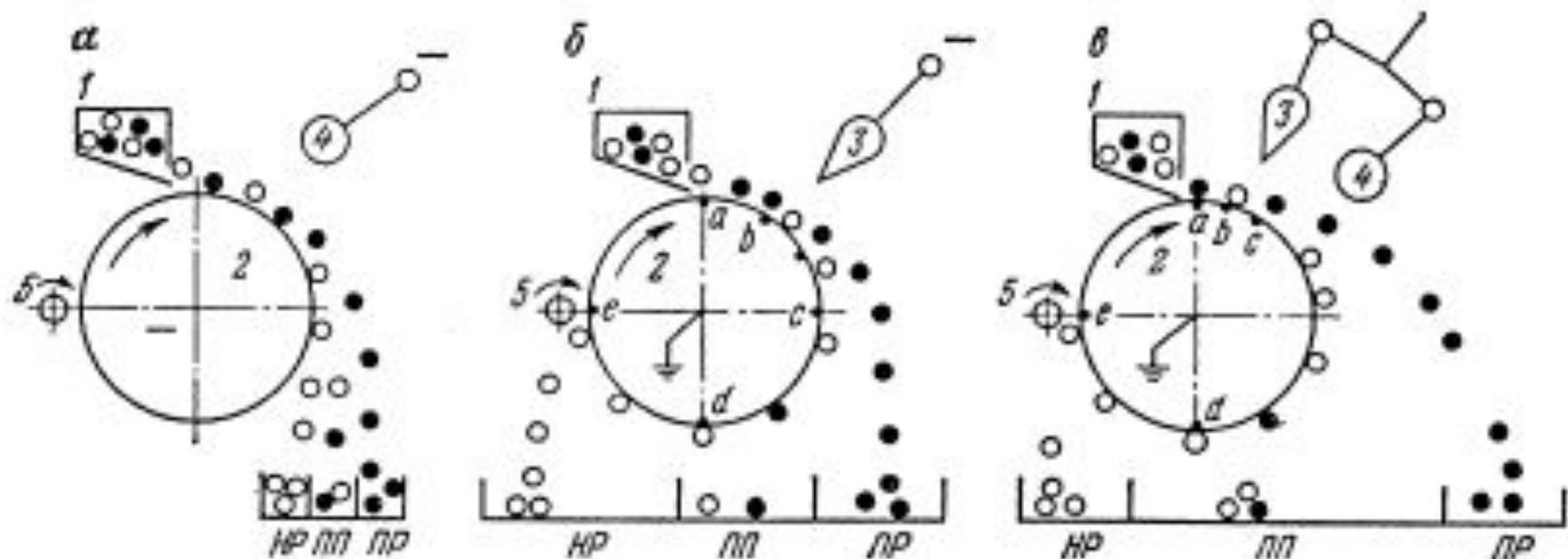
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{4\pi}{2C}$$

Электропроводимость

- Электропроводимость - упорядоченное перемещение электронов при наличии разности потенциалов, приложенной к данному телу. Известно, что электропроводимость может быть электронной, ионной и смешанной. При электрическом методе обогащения используется только электронная проводимость.
- Электропроводимость является функцией многих физико-химических свойств минерала: химического состава, строения

Группы минералов по удельной электропроводности

Классификация минералов по удельной электропроводности	Минералы
<p>Проводники ($\sigma > 10^6$ см/м)</p> <p>$10^4 - 10^2$ [см/м] или $10^4 - 10^5$ [Ом⁻¹ см⁻¹].</p>	<p>Антрацит, арсенопирит, галенит, гематит, графит, золото, ильменит, ковеллин, колумбит, магнетит, манганит, молибденит, пирит, пиролюзит, пирротин, платина, рутил, серебро, танталит, тетраэдрит, титаномагнетит, халькозин, халькопирит.</p> <p>Чистые металлы – медь, серебро, алюминий</p>
<p>Полупроводники ($10^{-8} < \sigma < 10^6$ см/м)</p> <p>10 до 10^{-8} [см/м] или $10^2 - 10^{-10}$ [Ом⁻¹ см⁻¹].</p>	<p>Антимонит, боксит, бурый железняк, висмутовый блеск, вольфрамит, гранат (ожелезненный), гюбнерит, каолинит, касситерит, киноварь, корунд, криптофит, лимонит, сидерит, смитсонит, стибнит, сфалерит, тунгстит, хромит, циркон (ожелезненный).</p>
<p>Диэлектрики ($\sigma > 10^{-8}$ см/м)</p> <p>10^{-12} [см/м] или 10^{-14} [Ом⁻¹ см⁻¹].</p>	<p>Алмаз, альбит, анортит, апатит, бадделит, барит, бастнезит, берилл, биотит, волластенит, гранат, диопсид, кальцит, карналлит, кварц, кианит, магнезит, монацит, нефелин, оливин, полевой шпат, роговая обманка, силлиманит, сподумен, ставролит, турмалин, флюорит, целестин, циркон (слабоожелезненный), шеелит, шпинель, эпидот.</p>



Схемы барабанных сепараторов для разделения минералов по электропроводности: а – электростатический сепаратор; б – коронный сепаратор; в – коронно-электростатический сепаратор; 1 – бункер; 2 – заряженный или заземленный барабан; 3 – остроконечный электрод; 4 – цилиндрический электрод; 5 – устройство для очистки барабана; НР, ПП и ПР – приемник для соответственно непроводников, промежутокта, проводников

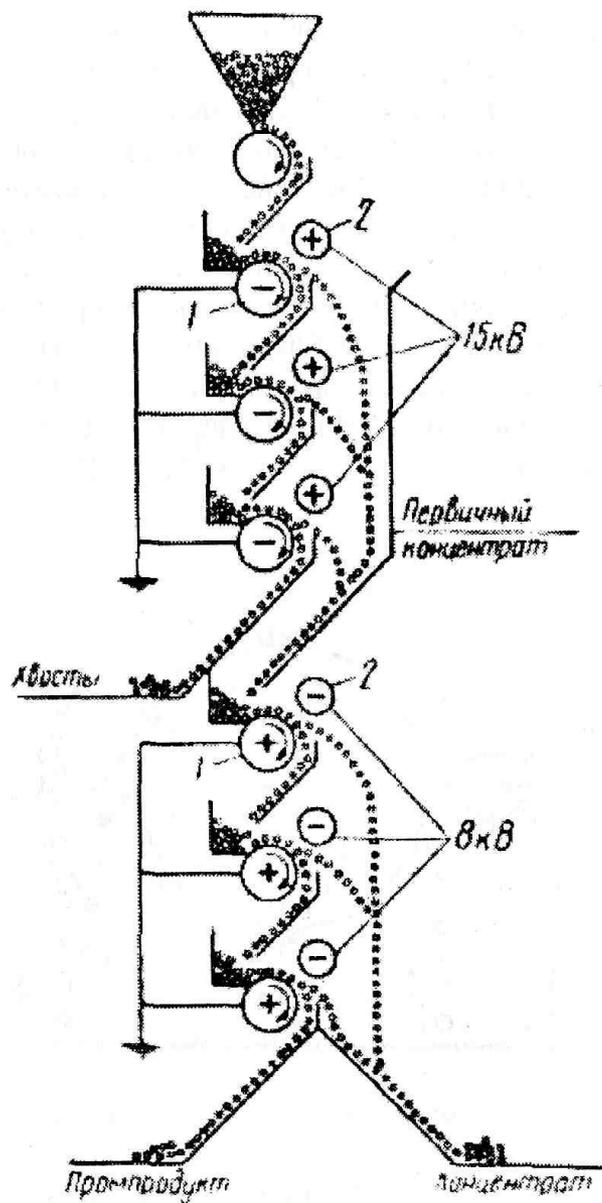


Рис. 3.59. Каскадный электростатический сепаратор

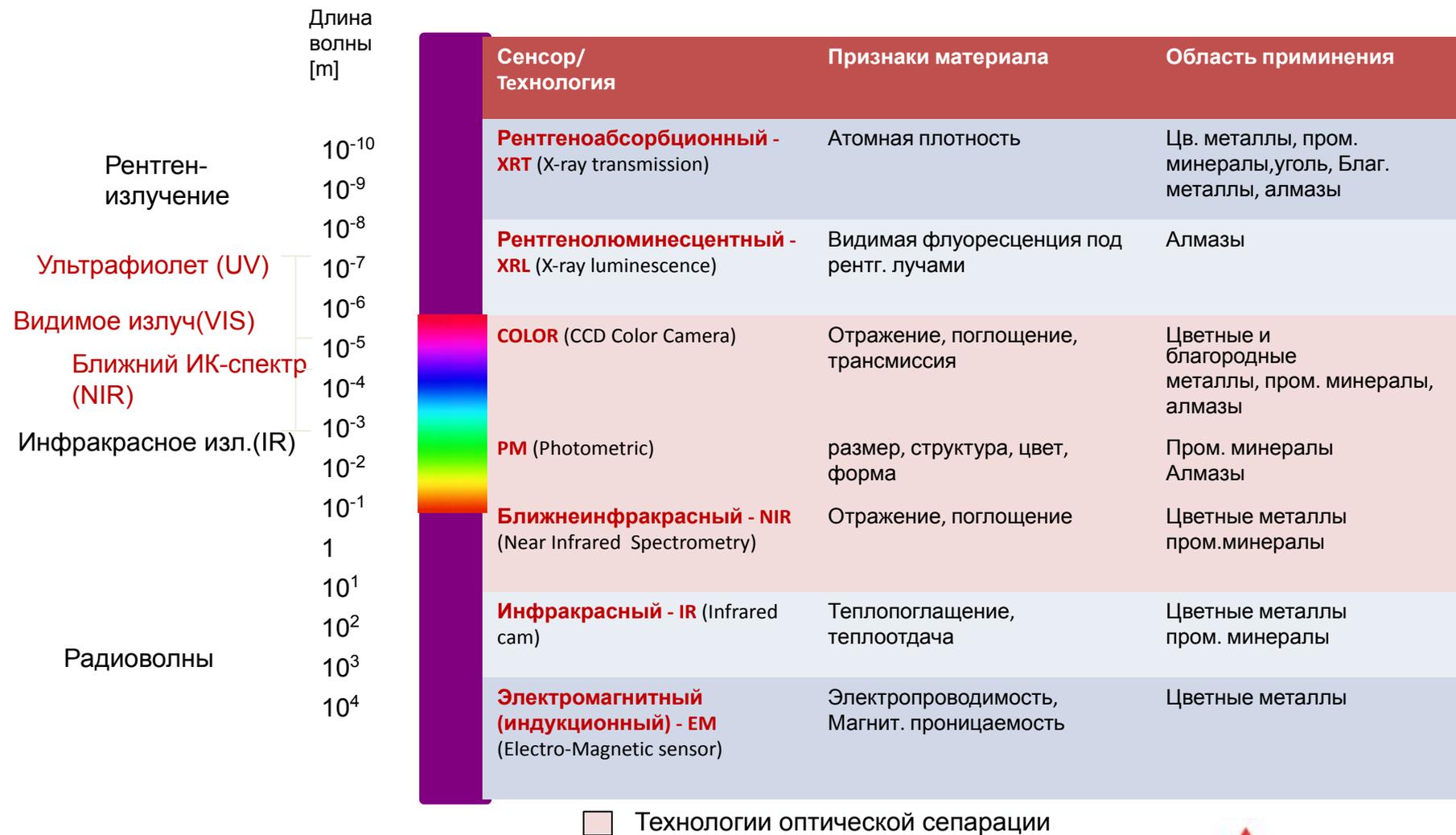
Другие методы сообщения зарядов

- Трибоэффект – возникновение зарядов различных знаков и величин при трении частиц разных минералов друг о друга или транспортирующий лоток. Трибоэффект возникает в зависимости от работы выхода электронов.
- Пироэффект - возникновение зарядов за счет возникновения механических напряжений в кристаллическом теле при нагревании минералов
- Контактный потенциал – приобретение частицей заряда за счет контакта с электродом; разные частицы получают разный заряд в виду различной емкости частиц.
- Пьезоэффект - возникновение зарядов в кристаллах некоторых минералов при сжатии и растяжении за счет изменения положения диполей по различным кристаллографическим направлениям.
- Индукция (электризация через влияние) - возникновение заряда за счет различной скорости поляризации диполей при помещении частиц минералов в электрическое поле.
- Униполярная проводимость - различная проводимость по разным направлениям кристалла.

Таблице II.1 Классификация электрических сепараторов

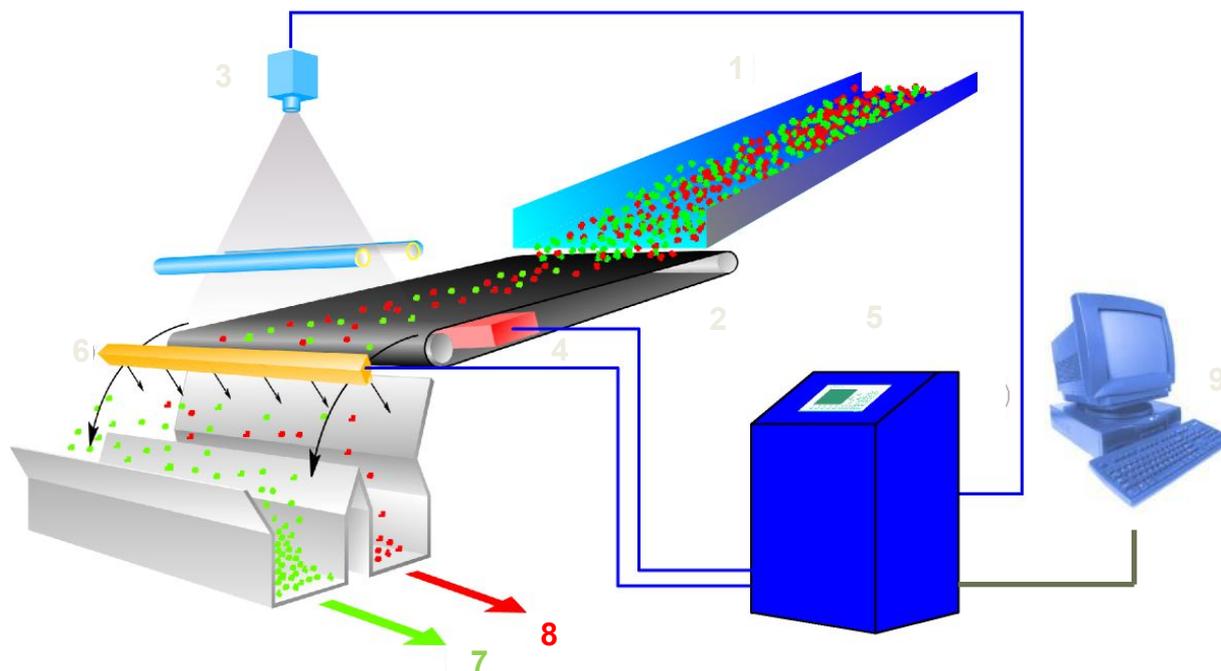
Тип сепаратора по способу сепарации	Для разделения по электропроводности	Трибоэлектростатические	Пирозлектрические	Диэлектрические
По характеристике поля в рабочем пространстве	Электростатические, электрические, коронные, коронно-электрические	Электростатические		
По характеру движения материала через рабочее пространство и по конструктивным признакам				
Материал движется по криволинейному транспортирующему электроду	Барабанные, лотковые с криволинейным профилем лотка			
Материал движется по плоскому транспортирующему электроду	Лотковые с прямым профилем лотка, виброплоскостные, пластинчатые, кольцевые, ленточные и др.			
Материал находится в состоянии свободного падения	Камерные, трубчатые			
Материал движется во взвешенном состоянии	С дутьем, дисковые, кипящего слоя			

Применяемые технологии радиометрической сепарации TOMRA



Общий принцип работы оборудования TOMRA

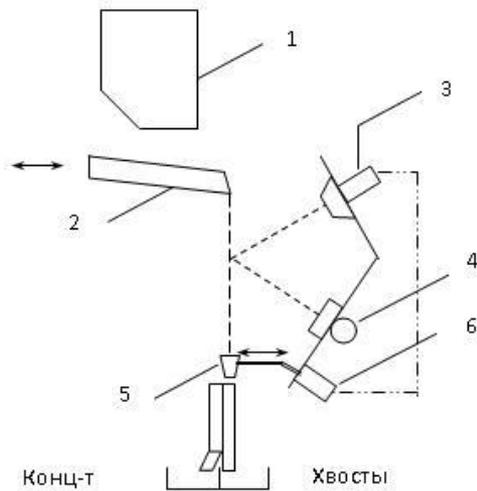
- 1 Подача материала
- 2 Скорость конвейера 3 м/с
- 3 Зона облучения
- 4 Зона регистрации
- 5 Обработка данных
- 6 Пневмофорсунки
- 7 **Концентрат**
- 8 **Хвосты**
- 9 Система интерфейса для централизованного контроля



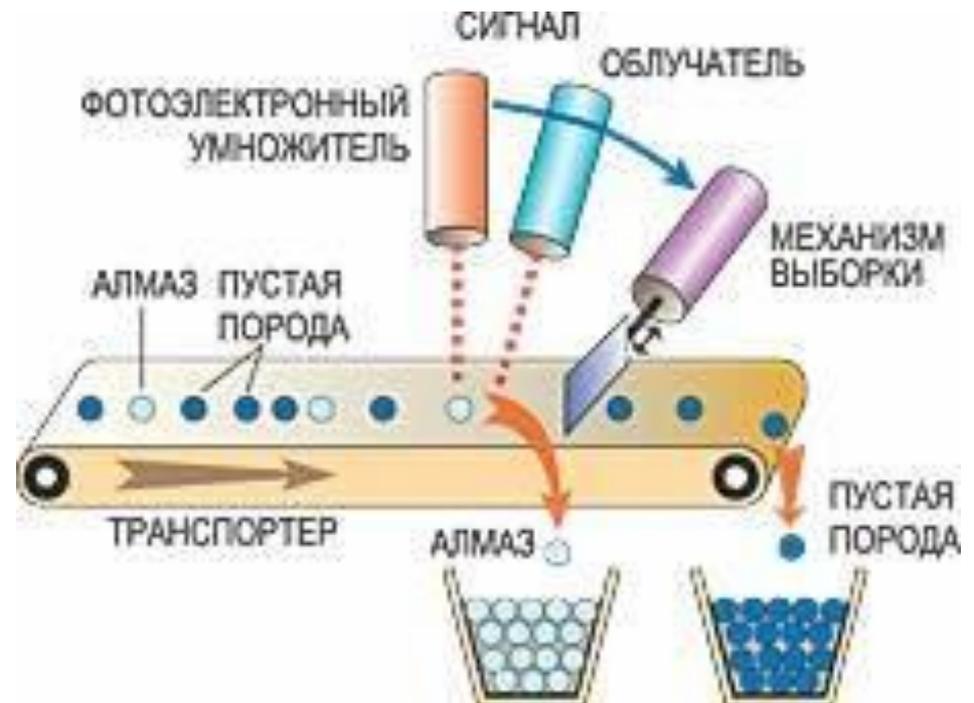
Рентгенолюменесцентная сепарация

- Применяют при обогащении п. и., содержащие минералы, люминесцирующие в рентгеновских (алмазосодержащие, шеелитовые, флюоритовые, циркононовые, апатитовые, сподуменовые и др. руды) или в ультрафиолетовых лучах (флюоритовые, шеелитовые и др. руды).

Принципиальная схема РЛС



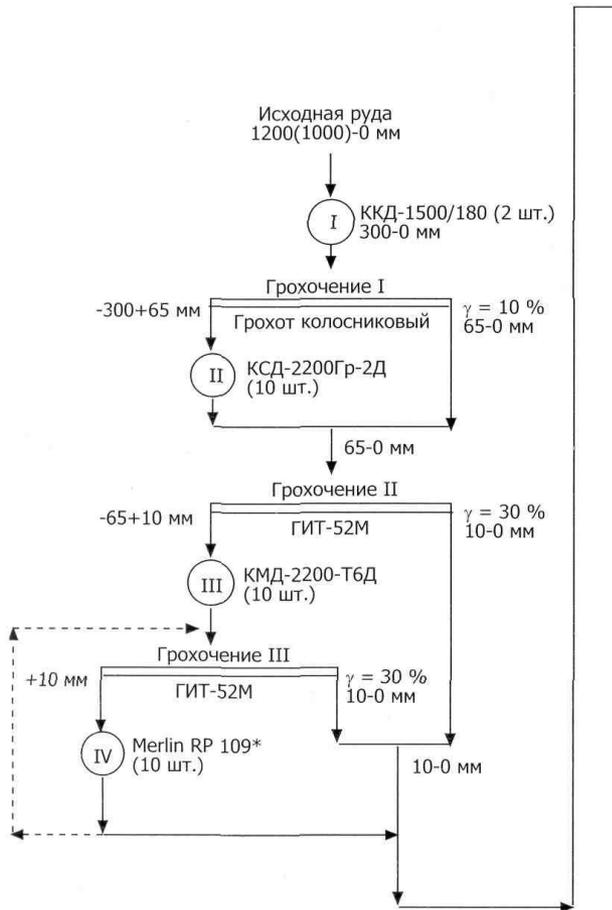
- 1- бункер;
- 2- лотковый питатель;
- 3- фотоумножитель;
- 4- рентгеновская трубка;
- 5- воронка отсекателя;
- 6- электро магнит (исп. мех.)



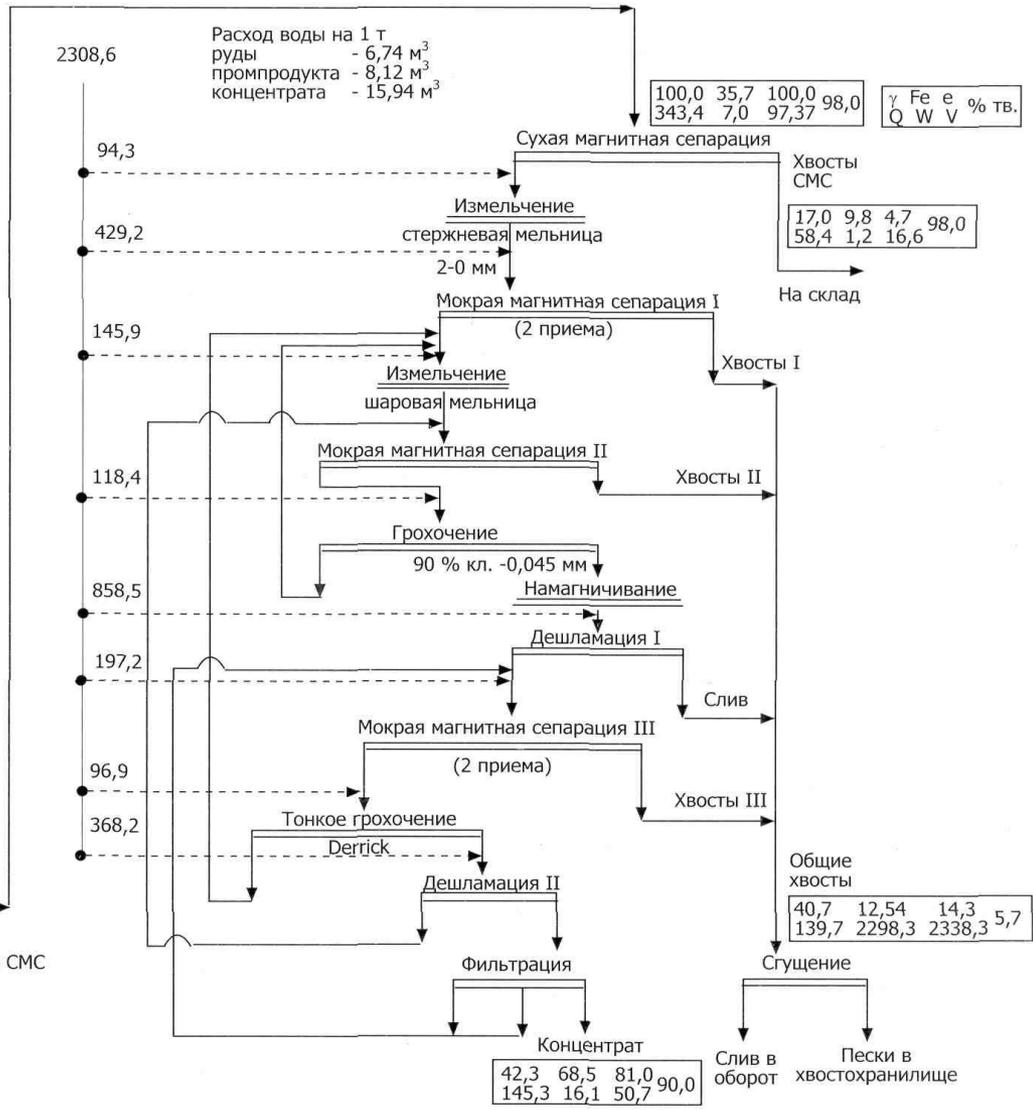
РЛС

- РЛС сепараторы состоят из питателя, наклонного лотка, блока детектирования (включающего рентгеновскую трубку, фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и радиометр) и отсекающего (выполненного в виде поворотной лопасти с соленоидным приводом).

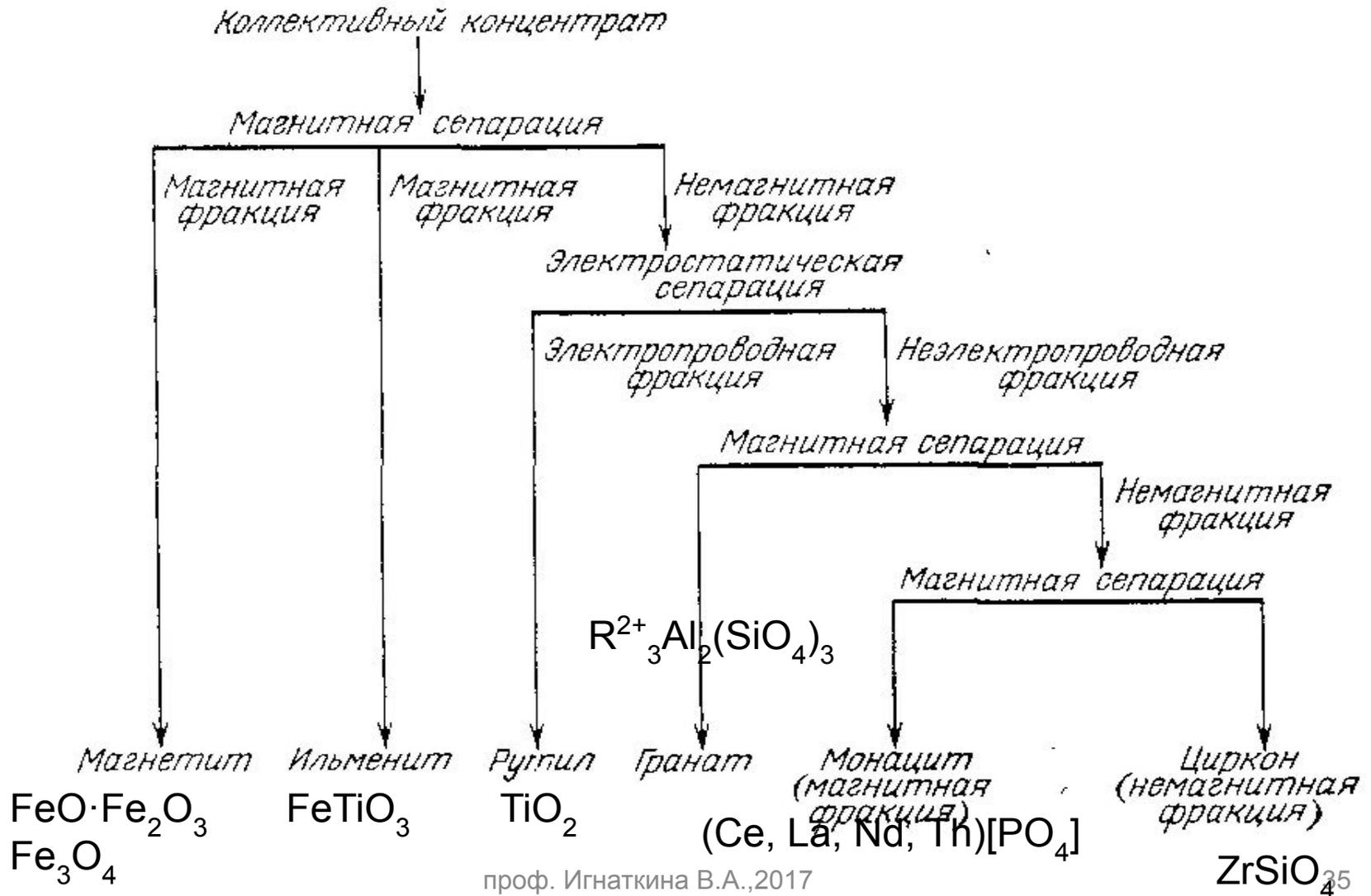
Соколо-Сарбаевская ОФ



* Дробилки Merlin установлены в корпусе СМД. Возможно использование дробилок Merlin в замкнутом цикле в корпусе СМС



Принципиальная схема доводки черновых титаноциркониевые гравитационных концентратов (ильменит-цирконовые пески)



Принципиальная схема доводки черновых титаноциркониевых гравитационных концентратов

