

СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

МОДУЛЬ 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ

Лекция 1, 2

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ОБОГАЩЕНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
СЕПАРАЦИИ**

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

**г. Белгород,
2012 г.**

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Электрические методы сепарации основаны на различии в электрических свойствах минералов (электропроводности, диэлектрической проницаемости и др.). Применяются они для обогащения, для классификации материала по крупности и для обеспыливания.

Сепарация исходного материала при электрических методах по минеральному составу или по крупности происходит за счет различного поведения частиц разного состава или крупности в электрическом поле. Поведение частиц определяется различным соотношением действующих на них электрических и механических сил.

Электрические силы определяются зарядом частиц и характеристикой электрического поля, механические силы зависят от динамики движения частиц через электрическое поле. Поскольку существует два вида зарядов электрических частиц, разделение частиц по минеральному составу может происходить и при одинаковых электрических силах, но при условии, что частицы имеют заряд разного знака, что обусловит разное направление этих сил.

Электрические методы обогащения применяют для сыпучих материалов крупностью не более 5 мм.

1. По характеру электрического поля различают:

- обогащение в электростатическом поле;**
- обогащение в поле коронного разряда;**
- обогащение в комбинированном коронно-электростатическом поле.**

2. По способу получения частицами заряда различают шесть процессов.

а) Сепарация, использующая различие в электропроводности.

Частицы получают контактный заряд (за счет соприкосновения с заряженной поверхностью) или наведенный заряд (по закону электростатической индукции). Все минералы по электропроводности разделены на группы: проводники, полупроводники и непроводники. Обогащение осуществляется успешно, если компоненты минеральной смеси значительно различаются по электропроводности.

б) Для разделения минералов, имеющих близкие по значению проводимости, применяют трибоэлектростатическую или трибоэлектрическую сепарацию. Основан на использовании контактной электризации. Если электрически нейтральную частицу одного минерала привести в соприкосновение с электрически нейтральной частицей другого минерала или с поверхностью какого-либо материала и затем прервать контакт, разъединив их, на обеих соприкасающихся поверхностях возникнут различные по знаку электрические заряды.

При многократном повторении этого элементарного акта и при условии, что этот контакт осуществляется каждый раз новыми участками поверхности, удается создать плотность поверхностного заряда, достаточную для сепарации в электростатическом поле высокой напряженности.

в) Пироэлектрическая сепарация основана на свойстве небольшой группы кристаллических минералов (турмалин, борацит и др.), обладающих различными коэффициентами теплового расширения по различным осям кристаллов, поляризоваться при нагревании и охлаждении. Неодинаковые напряжения, возникающие в таких кристаллах, вызывают образование локальных разноименных зарядов на противоположных концах кристалла.

г) Пьезоэлектрическая сепарация, в которой используется эффект заряжения частицы за счет механического напряжения.

д) Диэлектрическая сепарация основана на различии в диэлектрической проницаемости разделяемых минералов. В неоднородном электрическом поле в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ , промежуточной между диэлектрическими проницаемостями разделяемых минералов ϵ_1 и ϵ_2 , частицы с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 > \epsilon$ втягиваются в области наибольшей напряженности, а частицы с проницаемостью $\epsilon_2 < \epsilon$, наоборот, выталкиваются в направлении более слабых участков поля. Этим способом можно разделять минералы с диэлектрическими проницаемостями, различающимися на 0,5-1 единицу.

е) Сепарация, использующая ионизацию среды, где зарядение частиц происходит за счет адсорбции ионов.

Для процессов (а-д) используют электростатическое поле, а в последнем процессе (е) – сильное неоднородное поле коронного разряда, образующееся между парой электродов, один из которых заземлен (осадительный электрод), а на другой (коронирующий электрод) подается высокое напряжение (несколько десятков тысяч вольт). Осадительный электрод – плоскость или барабан (диаметром 300-400 мм), коронирующий электрод – тонкая проволока (или несколько проволок диаметром 1-1,5 мм) или иглообразный.

Промышленное применение получили трибоэлектрическое обогащение и процессы, использующие различие в электропроводности и ионизации среды. Использование сильного поля коронного разряда и более эффективный способ зарядки за счет адсорбции ионов во всей рабочей зоне обеспечивает большую производительность и высокие технологические результаты.

Для большей стабильности процесса широко применяют коронно-электростатическое поле. Материал подается в поле коронного разряда, затем – в электростатическое поле, при этом сохраняется преимущество поля коронного разряда (бóльшая его сила, более эффективный способ зарядки частиц), но за счет электростатического поля расширяется зона действия электрических сил, что и обуславливает лучшие технологические результаты, чем при использовании только одного из полей.

При электрическом обогащении на частицы действуют три основные электрические силы: кулоновская, зеркального отображения и пондеромоторная сила.

1. Электрическая кулоновская сила $F_э$, обусловленная притяжением частицы к противоположному по знаку электроду и отталкиванием ее от одноименного электрода,

$$F_э = qE$$

Для электрического поля:

$$F_э = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2 E^2$$

для воздушной среды

$$F_э = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E^2.$$

В поле коронного разряда электрическая кулоновская сила равна

$$F_э = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 [1 + 2(\varepsilon_m - \varepsilon)/(\varepsilon_m + 2\varepsilon)] r^2 E_k^2,$$

для воздушной среды

$$F_э = 4\pi\varepsilon_0 [1 + 2(\varepsilon_m - \varepsilon)/(\varepsilon_m + 2\varepsilon)] r^2 E_k^2.$$

2. Сила зеркального отражения \underline{F}_z , возникающая при нахождении частицы вблизи проводящего электрода или на электроде за счет электростатической индукции,

$$\underline{F}_z = q^2 / (4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2),$$

для воздушной среды

$$\underline{F}_z = q^2 / (4\pi\epsilon_0 r^2).$$

Сила направлена к электроду и стремится удержать частицу на нем или вблизи него.

3. Пондеромоторная сила \underline{F}_m обусловлена разницей между диэлектрической проницаемостью твердой частицы ϵ_m и диэлектрической проницаемостью среды ϵ , в которой осуществляется обогащение. Эта сила стремится вытолкнуть частицу в более слабые участки поля, если $\epsilon_m < \epsilon$, и, наоборот, втянуть при $\epsilon_m > \epsilon$:

$$\underline{F}_m = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3 [(\epsilon_m - \epsilon) / (\epsilon_m + 2\epsilon)] c E^2.$$

Электрическое обогащение осуществляется в воздушной среде, где $\varepsilon = 1$:

$$F_{\text{п}} = 4\pi\varepsilon_0 r^3 [(\varepsilon_{\text{м}} - \varepsilon) / (\varepsilon_{\text{м}} + 2\varepsilon)] E \text{ grad } E$$

и

$$F_{\text{п}} = 4\pi\varepsilon_0 r^3 [(\varepsilon_{\text{м}} - \varepsilon) / (\varepsilon_{\text{м}} + 2\varepsilon)] c E^2.$$

Для проводников, у которых $\varepsilon_{\text{м}} = \infty$, пондеромоторная сила в воздухе

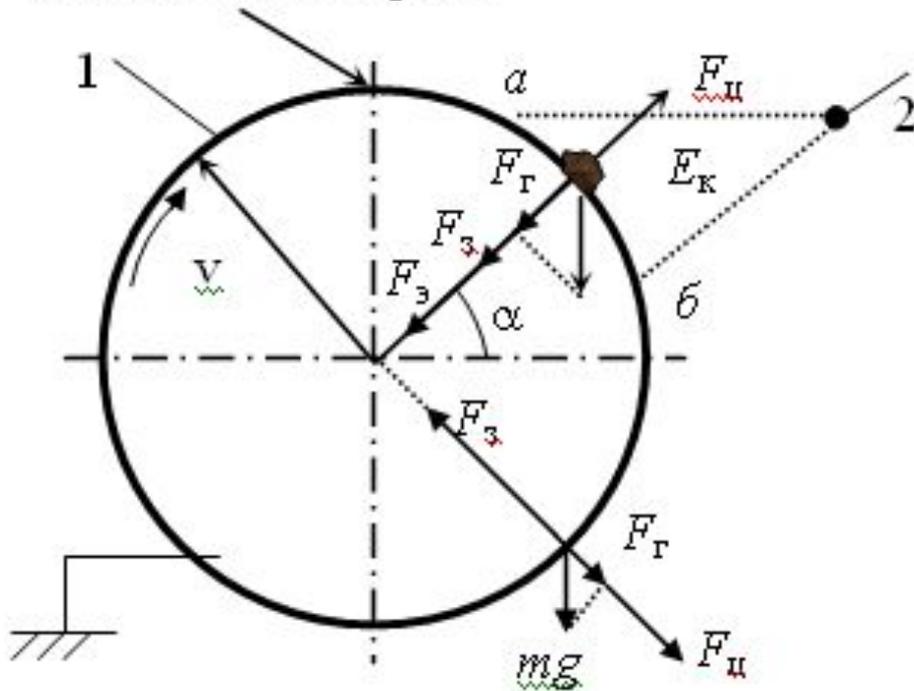
$$(F_{\text{п}})_{\text{пр}} = 4\pi\varepsilon_0 r^3 c E^2.$$

Электрическая кулоновская сила $F_{\text{э}}$ проявляется при наличии заряда у частицы и электрического однородного или неоднородного поля.

Сила зеркального отображения $F_{\text{з}}$ возникает в электрическом поле при наличии заряда у частиц, но ее действие заметно лишь вблизи электрода и особенно сильно проявляется при соприкосновении с ним. Пондеромоторная сила $F_{\text{п}}$ действует на незаряженные частицы, но проявляется она только в неоднородном поле. Значение ее зависит от характера среды: в воздухе $F_{\text{п}}$ весьма мала, однако в жидкости с высокой диэлектрической проницаемостью $F_{\text{п}}$ достигает больших значений.

Векторная диаграмма сил, действующих на частицы в барабанных коронных сепараторах (1 – осадительный электрод; 2 – коронирующий электрод; аб – зона ионизации).

Исходный материал



Траектория движения частиц при электрическом обогащении определяется соотношением между электрическими и механическими силами, действующими на них. Основными механическими силами являются гравитационная сила, центробежная сила и сила сопротивления среды (воды). Силы молекулярного сцепления частиц между собой и с электродами, сила трения между частицами и электродом не учитываются.

Действующие механические силы зависят от траектории движения частиц. В рассматриваемом сепараторе материал подается непосредственно на вращающийся осадительный электрод и движется криволинейно. На осадительном электроде в зоне ионизации частицу удерживает электрическая кулоновская сила $F_{\text{э}}$ и сила зеркального отображения $F_{\text{з}}$. Отрывает частицу от электрода центробежная сила $F_{\text{ц}}$.

Нормальная составляющая гравитационной силы F_g может либо удерживать частицу на осадительном электроде (в верхней его четверти), либо отрывать (в нижней четверти электрода) в зависимости от угла поворота барабана α .

Пондеромоторной силой F_p и силой сопротивления среды можно пренебречь из-за их относительно малых значений. Результирующая сила F в зоне ионизации, определяющая траекторию движения частиц, является векторной суммой основных взаимодействующих сил:

$$F = F_{\text{э}} + F_{\text{з}} - F_{\text{ц}} + F_{\text{г}}.$$

Частица удерживается на осадительном электроде при $F > 0$; если $F < 0$, частица будет отрываться от него. Чем выше электропроводность частиц, тем больше будет скорость разрядки частиц, меньше равновесный заряд u , следовательно, меньше силы $F_{\text{э}}$ и $F_{\text{з}}$, удерживающие частицу на электроде.

После выхода частицы из зоны ионизации (после точки б), т.е. из электрического поля, электрическая кулоновская сила $F_{\text{э}}$ перестанет действовать. На электроде частицу будет удерживать только сила зеркального отражения $F_{\text{з}}$, а механические силы (центробежная и нормальная составляющая гравитационной силы) будут отрывать их от электрода. Результирующая сила при этом определится равенством

$$F = F_{\text{з}} - F_{\text{ц}} - F_{\text{г}}.$$

ПОДГОТОВКА МАТЕРИАЛА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ОБОГАЩЕНИЮ.

Предварительная подготовка материала перед сепарацией предусматривает:

1. Улучшение условий разделения заряженных частиц (подсушка, классификация и обеспыливание).

а) Подсушка. При повышенной влажности возрастают силы сцепления частиц между собой, поэтому подсушка материала необходима до состояния сыпучести, но здесь нужно учитывать, что для некоторых минеральных пар остаточная влага благоприятно влияет на процесс (повышается эффективность зарядки).

б) Классификация по крупности. При неклассифицированном материале центробежные силы, значения которых в первом приближении пропорциональны кубу диаметра частиц, могут нивелировать действие электрических сил, пропорциональных квадрату диаметра частиц.

в) Обеспыливание улучшает показатели обогащения, т.к. пылевидные частицы, обволакивая более крупные, снижают селективность разделения.

2. Изменение естественных электрических свойств минералов для повышения эффективности зарядки.

Направлена на искусственное увеличение разницы в объемной или поверхностной проводимости компонентов (реагентная и термическая подготовка частиц минералов).

а) Реагентная. *Обработка минералов поверхностно-активными веществами для изменения их поверхностной влажности.*

б) Термическая подготовка. *В отличие от реагентной, она воздействует как на объемную, так и на поверхностную составляющую электропроводности.*

При термической подготовке различие в электропроводности достигается за счет неодинакового изменения проводимости минералов при нагревании. Для полупроводников и диэлектриков электропроводность с повышением температуры увеличивается, а для проводников – уменьшается.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ

Сепараторы подразделяются:

1. По характеристике поля в рабочем пространстве по электропроводности делятся на:

- электростатические (трибо- и пирозлектрические),
- электрические коронные,
- коронно-электростатические,
- диэлектрические.

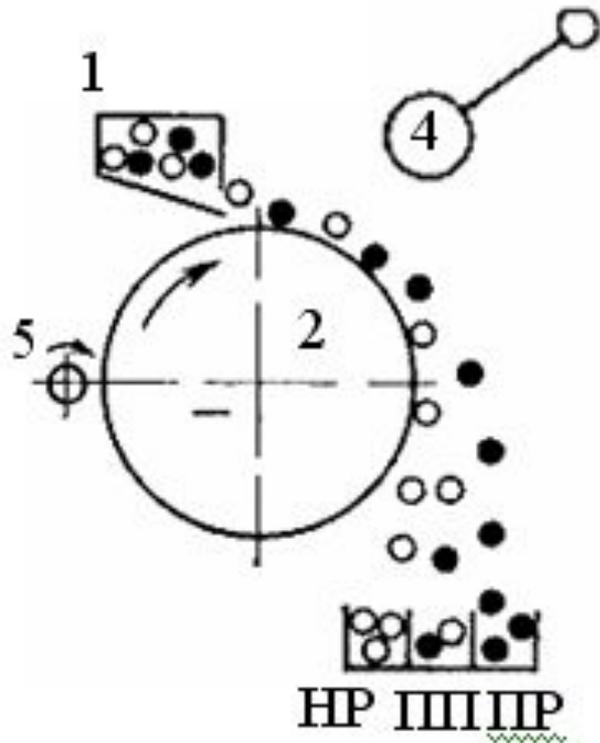
2. По характеру движения материала через рабочее пространство и конструктивным признакам на:

- барабанные,
- лотковые (с криволинейным и прямым профилем лотка),
- вибро-плоскостные,
- пластинчатые,
- кольцевые,
- ленточные, -
- камерные,
- трубчатые,
- дисковые,
- кипящего слоя.

СЕПАРАТОРЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ.

Схемы барабанных сепараторов для разделения минералов по электропроводности с транспортирующим электродом барабанного типа:

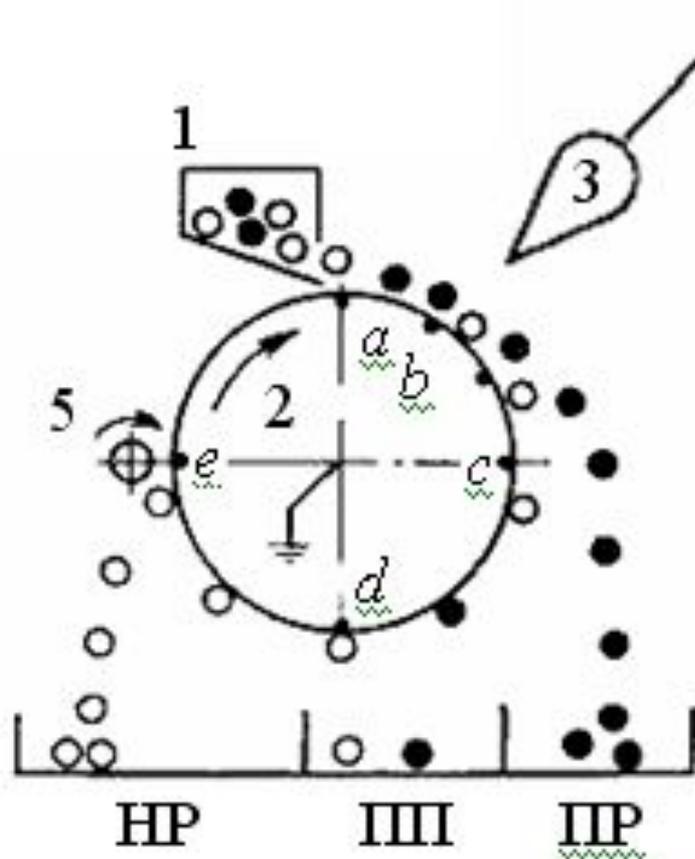
а – электростатический, б – коронный, в – коронно-электростатический
1 – бункер; 2 – заряженный или заземленный барабан; 3 – остроконечный электрод; 4 – цилиндрический электрод; 5 – устройство для очистки барабана; НР – приемник для непроводников; ПП – то же, для промпродукта; ПР – то же, для проводников;
○ – проводники, ● – непроводники.



Барабанный электростатический сепаратор.
Исходный материал из бункера подается на заземленный барабан с установленным около него электродом. Электропроводные частицы заряжаются и отталкиваются от электрода, а неэлектропроводные падают без отклонения по траектории, определяемой механическими силами, действующими на частицы. При помощи передвижных делительных перегородок электропроводные частицы попадают в приемник ПР, неэлектропроводные – в приемник НР, а сrostки и полупроводники – в приемник ПП.

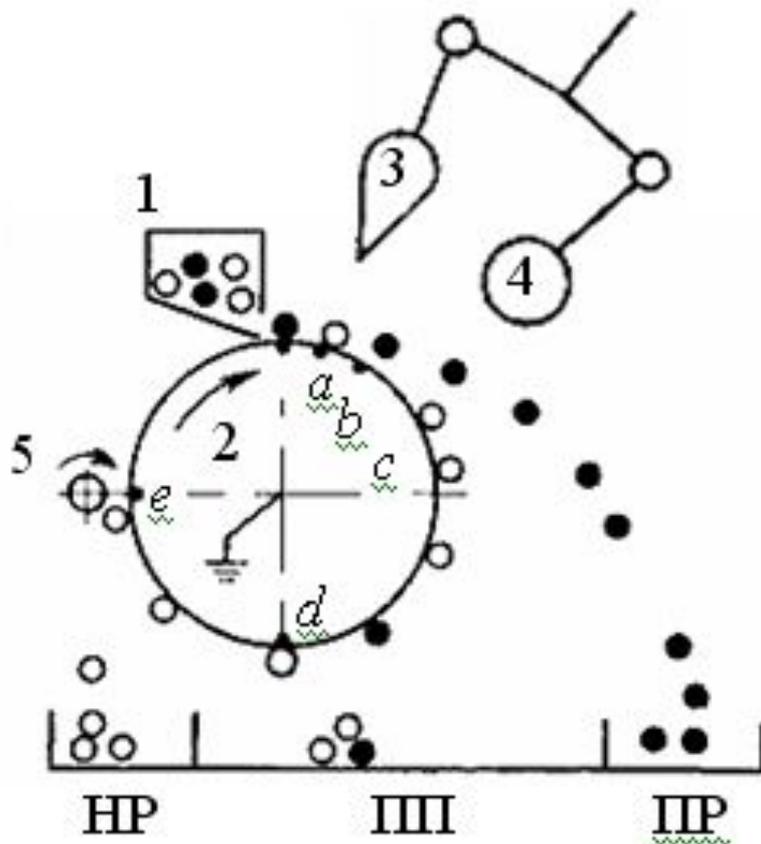
В электрическом барабанном сепараторе (коронном) разница в зарядах создается в результате их ионизации, с одновременной разрядкой при соприкосновении с заземленным электродом. Сепаратор состоит из вращающегося металлического заземленного барабана и остроконечного электрода или системы из нескольких электродов, на которые подается высокое напряжение, отрицательного знака.

Электризатор и сепарирующая часть совмещены в одном узле машины. Минералы заряжаются в верхней зоне *ab* межэлектродного промежутка, где приобретают одноименные электрические заряды в результате бомбардировки газовыми ионами.



Разноименно заряженные частицы разделяются в нижних зонах. В зоне *bc* создается разница в величинах и знаках зарядов. Непроводящие частицы благодаря остаточному заряду удерживаются на поверхности барабана вплоть до точки *e* и попадают в бункер *НР*. Проводящие частицы быстро разряжаются и, приобретая заряд, одноименный с зарядом барабана, отталкиваются от него на участке *cd*; полупроводники и сростки минералов концентрируются в среднем приемнике *ПП*.

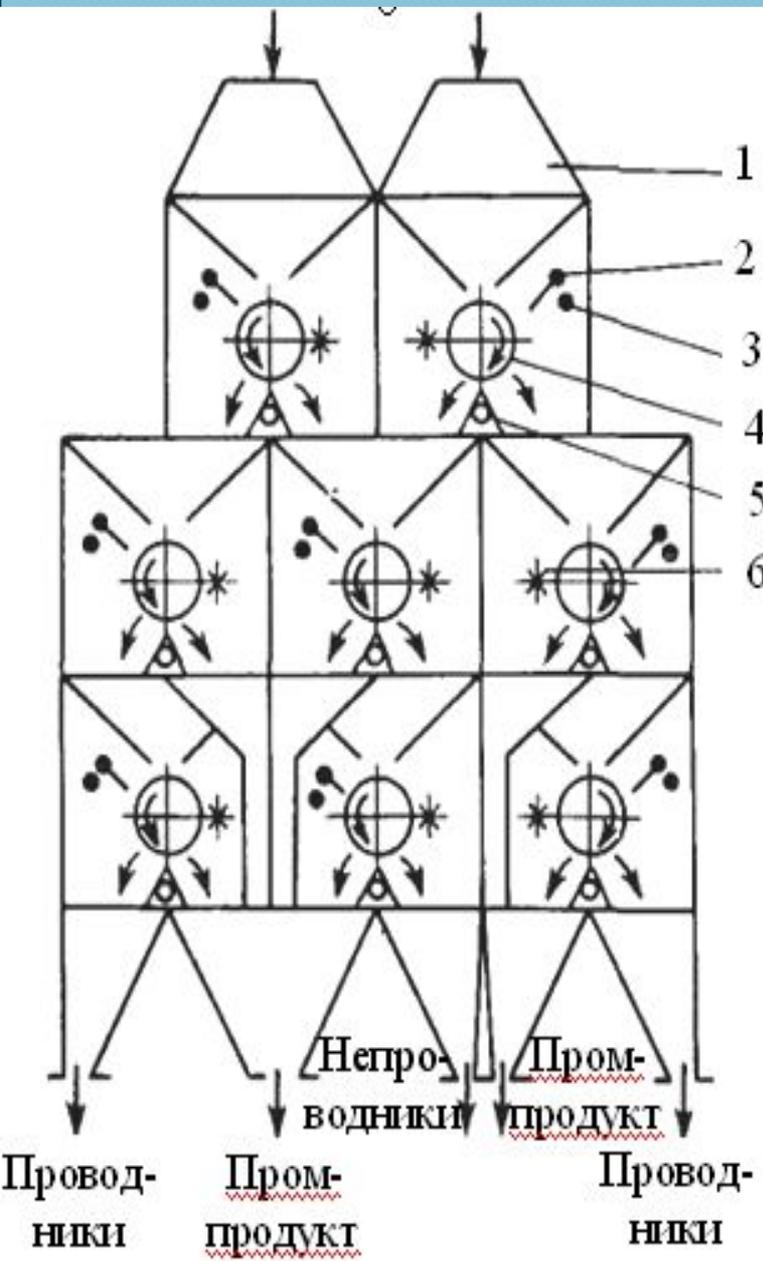
Коронно-электростатический сепаратор для разделения минералов по электропроводности имеет дополнительный цилиндрический электрод, на который подается такое же напряжение, как и на коронирующий электрод. Радиус кривизны цилиндрического электрода значительно больше, чем коронирующего, но меньше радиуса заземленного барабана. Из-за этого между барабаном и электродом создается неравномерное электростатическое поле постоянной полярности, поэтому в рабочей зоне два поля (электрическое поле коронного разряда и электростатическое. Образование зарядов на



частицах минералов путем ионизации происходит в зоне *abc*. Создание в рабочей зоне дополнительного неравномерного поля увеличивает относительную роль пондеромоторных сил, способствующих раннему отклонению проводящих частиц от барабана. Частицы диэлектриков при прочих равных условиях удерживаются на большем участке периметра барабана, в результате чего увеличивается разница в траекториях проводящих и непроводящих частиц.

Многосекционный сепаратор СЭС-2000:

- 1 – питатель;
- 2 – коронирующий электрод;
- 3 – отклоняющий электрод;
- 4 – барабанный заземленный электрод;
- 5 – отсекатель;
- 6 – очищающая щетка.



Каждый блок электродов включает приемную воронку, барабанный заземленный и трубчатый отклоняющий электроды, щетку, отсекатель, транспортирующие желоба. На 2-4 блока электродов применяется 1 блок – питатель.

Предназначен для обогащения разнообразных руд и доводки черновых концентратов редких, цветных, черных металлов и др. Их применяют на на ряде предприятий алмазной, золотодобывающей, стекольной, абразивной, керамической и других отраслей промышленности.

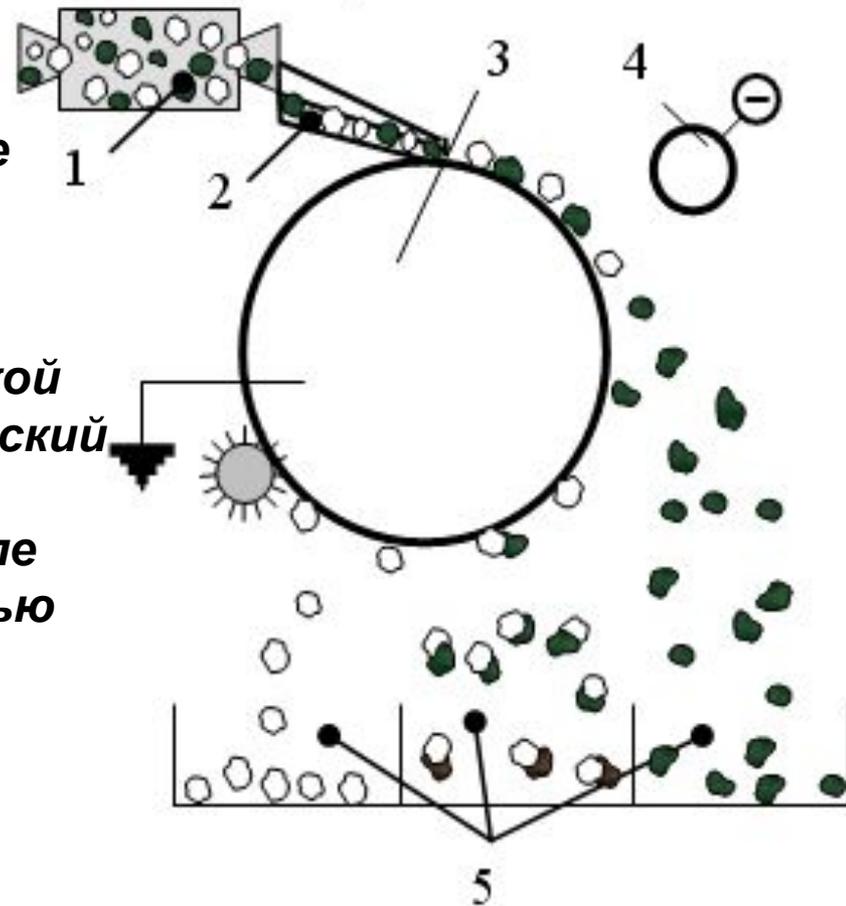
Трибоэлектростатический сепаратора используют для разделения непроводниковыми минералов в воздушной среде. Поле постоянной полярности может быть однородным и неоднородным. Используют сепараторы барабанные, камерные, лотковые и трубчатые.

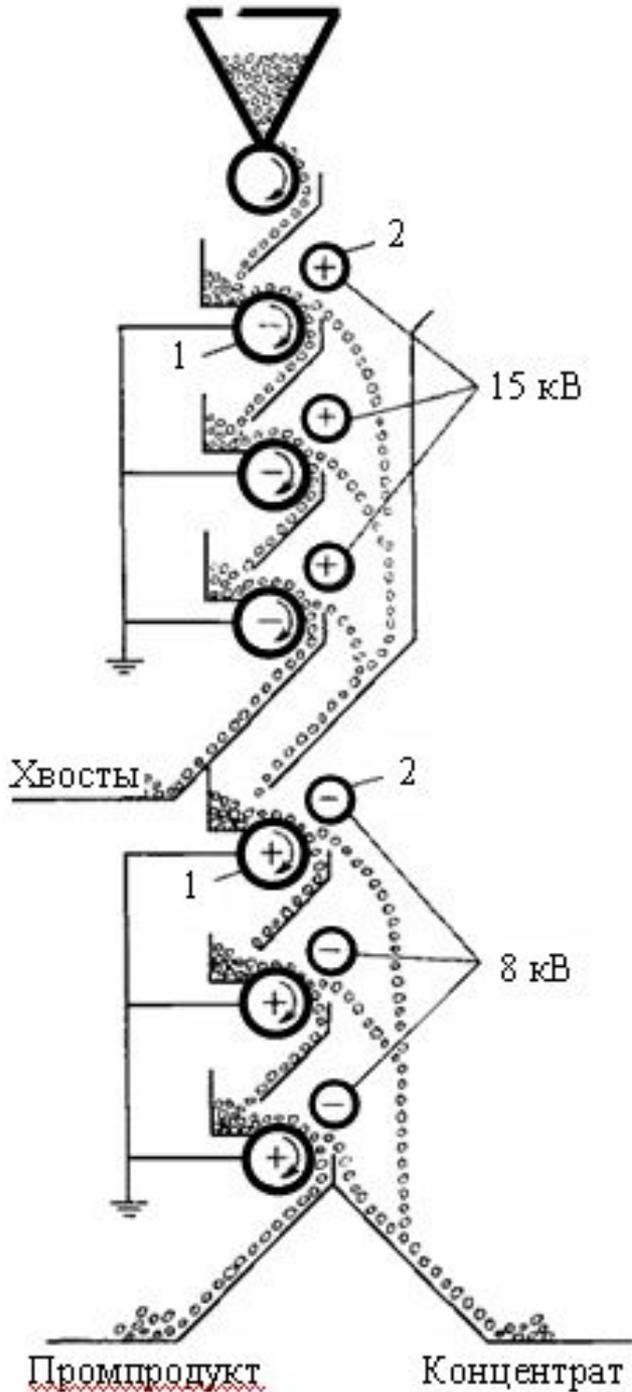
Трибоэлектростатический сепаратора барабанного типа.

1 – электризатор; 2 – питатель; 3 – электрод металлический заземленный; 4 – электростатический электрод; 5 – сборники продуктов.

Имеет зарядное устройство, которое отделено от сепарирующей области.

Минералы электризуются в результате контакта друг с другом и с материалом питателя. В сепараторе материал подогривается до 200 °С, поэтому для минералов, склонных к пирозлектрической электризации, возможен пирозлектрический эффект. Разделение происходит в электростатическом неоднородном поле постоянной полярности напряженностью 2-4 кВ/см. Полярность напряжения подбирается с учетом знака заряда, приобретаемого минералами при электризации.





Многокаскадный промышленный барабанный сепаратор «Джонсона».

Барабанные электроды изготавливают из меди, латуни или нержавеющей стали, причем выбор электродов при сепарации руды различного вещественного состава определяется характером контактных явлений, происходящих между барабаном и частицами. На электроды подается высокое напряжение (15-18 кВ). Производительность сепаратора 1-2 т/(ч·м), крупность обрабатываемого материала от 0,1 до 1,7 мм. Эти сепараторы применяют для разделения полевых шпатов и кварца, при обогащении фосфоритов, вермикулитов и других материалов.

1 – барабанные электроды;

2 – противостоящие латунные электроды

ПРАКТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ



Схема доводки черновых гравитационных концентратов при обогащении титаноциркониевых песков

Гравитационный коллективный концентрат содержит 90 % тяжелых минералов и около 10 % кварца. Основные минералы тяжелой фракции – циркон, рутит, ильменит, ставролит, дистен, хромит и др.

Электрическая сепарация является доминирующим процессом в схеме доводки коллективного концентрата.

Существующая схема имеет пять отдельных технологических узлов электросепарации: узел разделения концентрата на проводниковую и непроводниковую фракции и узлы доводки рутилового, цирконового, дистенового и ставролитового продуктов с получением соответствующих концентратов.

Известно применение электросепарации для доводки черновых концентратов алмазных, гематитовых, железных руд, полевых шпатов, каменных солей и др.