

## **«Экспериментальный барьерный магнитный сепаратор для обогащения зернистых слабомагнитных руд»**

Изложен принцип действия барьерного магнитного сепаратора, предназначенного для обогащения зернистых слабомагнитных руд. Приведены результаты лабораторных исследований обогатимости минеральных песков, а также промышленных испытаний экспериментального барьерного сепаратора на Вольногорском государственном горно-металлургическом комбинате (ВГГМК). Показана высокая эффективность и надежность его работы.

### **Введение**

Высокоинтенсивная магнитная сепарация слабомагнитных руд на валковых и роторных сепараторах включает притяжение магнитных зерен к выступам валков или ферромагнитных пластин и непрерывное удаление притянутых частиц из зоны сильного магнитного поля для их последующей разгрузки в магнитный продукт. Для обеспечения этого удаления сепараторы снабжены сложными и дорогими валками и роторами, приводами и подшипниками. Коэффициент использования магнитной системы таких сепараторов является низким, так как значительная часть пространства между полюсами используется только для транспортирования магнитного продукта от зоны его притяжения к зоне разгрузки. Значительная часть мощности, потребляемой сепаратором, расходуется не на извлечение магнитного продукта, а на вращение валков и роторов. Например, мощность привода валков составляет 60 – 70 % всей потребляемой мощности [1]. Цена этих вращающихся устройств, приводов и подшипников достигает 50 % и более общей цены сепаратора. В случае роликового сепаратора обогащаемый материал движется в узком зазоре между поверхностью полюсного наконечника и валка, который вращается с большой скоростью. Это приводит к быстрому абразивному износу выступов валков зернистым материалом. В результате изменяется профиль выступов, что приводит к снижению извлечения магнитных частиц.

## Конструкция и принцип действия барьерного сепаратора

Указанные недостатки отсутствуют в сепараторе, в котором реализуется метод барьерной магнитной сепарации. Многочисленные лабораторные исследования подтвердили высокую эффективность нового метода [2,3]. Сепаратор состоит из магнитной системы и ряда наклонных каналов, расположенных в зазоре между полюсами. Стенки, дно и потолочина каждого канала имеют гладкие поверхности. На пути движения по каналу зерен обогащаемого материала нет ни каких механических препятствий. Благодаря специальной структуре стенок создается градиент магнитного поля, направленный от дна вверх перпендикулярно направлению потока сепарируемого материала, движущегося внутри канала. Область, где произведение магнитной индукции на ее градиент является наибольшим, расположена выше дна и простирается на всю длину канала. Это область магнитного барьера.

Материал, подлежащий обогащению, подается в канал выше области магнитного барьера вдоль его простираения. Немагнитные зерна проходят сквозь магнитный барьер на дно канала и по нему соскальзывают вниз в приемник немагнитного продукта. Магнитные зерна не могут проникнуть сквозь магнитный барьер и не притягиваются к стенкам канала. Поэтому они соскальзывают вниз над магнитным барьером в приемник для магнитного продукта. Таким образом, благодаря магнитному барьеру поток обогащаемого материала разделяется на потоки магнитных и немагнитных частиц.

На рис. 1 в качестве примера приведено распределение магнитной индукции  $B$  (кривая 1) в вертикальной плоскости продольной симметрии канала. Наибольшее значение индукции (0,83 Тл) достигается у потолочины канала. Рост индукции в направлении от дна к потолочине канала приводит к появлению градиента индукции ( $grB$ ). Произведение индукции и градиента индукции  $BgrB$  (кривая 2) является экстремальной функцией. Область располо-

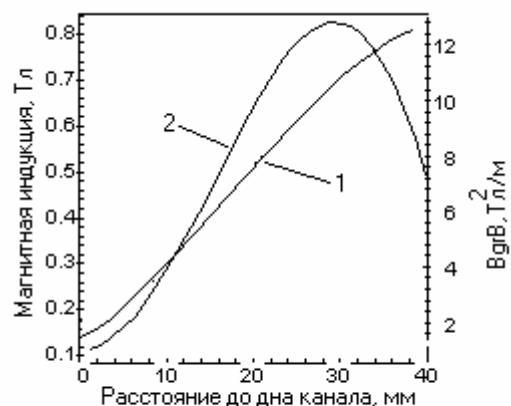


Рисунок 1. Распределения магнитной индукции ( $B$ ) и ее произведения на градиент ( $BgrB$ ) по высоте канала

жения экстремума этой функции является областью вышеупомянутого магнитного барьера. В нашем примере  $B_{grB} = 12,6 \text{ Тл/м}$ . Следовательно, если магнитное зерно имеет удельную магнитную восприимчивость  $\chi = 200 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , то даже при столь малой индукции магнитного поля (0,83 Тл) оно будет удерживаться в воздухе удельной магнитной силой равной  $20 \text{ м/с}^2$ , то есть двум силам тяжести.

Магнитные зерна всегда имеют некоторый диапазон магнитной восприимчивости. Поэтому, под действием магнитной силы, они рассредотачиваются по высоте канала над магнитным барьером. Зерна, магнитная восприимчивость которых больше, движутся вдоль магнитного барьера в верхних слоях по-току обогащаемого материала. При этом они не опираются на нижележащие зерна. Все зерна витают в воздухе независимо друг от друга, так как они поддерживаются магнитными силами. Зерна, сталкиваясь между собой, обмениваются энергией, как это имеет место в турбулентном потоке жидкости. Эта аналогия усиливается и тем, что поток зерен не имеет ламинарной вязкости, но имеет турбулентную вязкость как результат столкновения зерен между собой.

Немагнитные зерна начинают двигаться вниз под действием силы тяжести сразу же после входа обогащаемого материала в канал. Это движение происходит внутри взвешенного в воздухе потока магнитных зерен.

## Лабораторные исследования

Все ранее проводившиеся лабораторные исследования барьерной сепарации минеральных песков и марганцевых руд показали высокую эффективность этого процесса. Однако было установлено, что зерна с повышенной магнитной восприимчивостью постепенно притягиваются к стенкам канала и постепенно накапливаются в нем. Для изучения возможности устранения этого явления были поставлены опыты, в которых обогащаемый материал подвергался предварительной сепарации в скальпирующем режиме, т.е. при индукции 0,2 Тл. Весовой выход получаемого при этом магнитного продукта составлял 0,7 %.

Лабораторные исследования с использованием скальпирующего режима были выполнены на проводниковой фракции минеральных песков Вольногорского горно-обогатительного комбината. Проводниковая фракция была представлена смесью магнитного ильменита и немагнитного рутила.

В промышленных условиях эта проводниковая фракция обогащается на валковом сепараторе.

Лабораторный сепаратор, на котором проводились исследования, имел один канал наклоненный под углом 300 к вертикали. Во всех опытах из проб в скальпирующем режиме были удалены зерна с повышенной магнитной восприимчивостью. Подготовленный таким образом материал подвергался затем двум приемам барьерной магнитной сепарации. Немагнитный продукт первого приема перечищался во втором приеме сепарации.

Результаты исследований приведены в Таблице 1.

**Таблица 1. Результаты сухой сепарации проводниковой фракции минеральных песков (рутил и ильменит)**

Прием сепарации	Индукция	Продукт сепарации	Результаты сепарации, %				
			$\gamma$	рутил	ильменит	$\varepsilon_{ru}$	$\varepsilon_{il}$
	Т						
		Питание	100,0	23,6	66,4	100,0	100,0
Первый	0,75	Магнитный 1	51,8	1,89	94,2	4,1	73,5
Второй	1,25	Магнитный 2	18,1	0,85	94,0	0,7	25,6
		Суммарный магнитный	69,8	1,62	94,2	4,8	99,1
		Немагнитный	30,1	74,5	1,9	95,2	0,9

$\square$  - массовый выход продуктов сепарации, рутит, ильменит – содержание рутила и ильменита в продуктах сепарации,  $\square_{ru}$  and  $\square_{il}$  – извлечение рутила и ильменита в продукты сепарации.

Из приведенных данных следует, что на лабораторном барьерном сепараторе получены низкие потери дорогостоящего немагнитного рутила в магнитном продукте. Его содержание в ильменитовом концентрате составляет только 1,62 % по сравнению с 3  $\square$  4 % в ильменитовом концентрате валковых сепараторов, работающих на обогатительной фабрике ВГМК. Извлечение ильменита в магнитный продукт больше на 6 %, а его содержание в магнитном продукте больше на 1 %, чем в магнитном продукте валковых сепараторов.

Полученные положительные результаты лабораторных исследований позволили приступить к разработке и изготовлению экспериментального

барьерного магнитного сепаратора.

В процессе исследований накопление магнитного продукта в каналах не происходило.

## **Промышленные испытания экспериментального барьерного магнитного сепаратора**

Процесс барьерной сепарации осуществляется в наклонных матрицах 1 (Рис. 2), каждая из которых состоит из ряда вышеописанных каналов. Матрицы расположены между полюсными наконечниками 2 и горизонтальными замыкающими магнитопроводами 3 (Рис. 3 и 4) магнитной системы. Каждая имеет ширину 0,5 м. В матрице расположено 25 каналов. Ширина каждого канала 10 мм, а длина 220 мм.

Над матрицами расположены скальпирующие ролики 4, предназначенные для удаления зерен с повышенной магнитной восприимчивостью. Ролики диаметром 0,1 м имеют на своей поверхности выступы и впадины.

Магнитное поле в матрицах создается электромагнитными катушками 5. Максимальное значение индукции в матрицах составляет 1,2 Тл.

К скальпирующему ролику магнитное поле подводится по ферромагнитной пластине 6, создавая в зоне сепарации индукцию 0,3 Тл.

Подлежащий обогащению материал из питателя 7 подается в зазор между скальпирующим роликом и пластиной 6. Поток 8 частиц с повышенной магнитной восприимчивостью направляется в магнитный продукт. Остальной материал направляется в каналы матриц для барьерной сепарации. Любой из получаемых продуктов, магнитный 9 или немагнитный 10, могут направляться для последующей пересортировки на следующий прием барьерной сепарации. В нашем примере на пересортировку по желобку 11 (Рис. 3) направляется немагнитный продукт первого приема сепарации.

Картина потоков магнитных частиц при их выходе из каналов представлена на рис. 4. Из каждого канала истекает два потока. Каждый поток под действием горизонтальной составляющей магнитной силы прижимается к стенке делительной перегородки 12, разделяющей каналы.

Испытания экспериментального барьерного сепаратора осуществлялись на обогатительной фабрике ВГГМК. Обогащению подвергалась проводниковая фракция гравитационного концентрата минеральных песков. Обогащение этой фракции на ВГГМК осуществляется с помощью индукционных валковых сепараторов 2ЭВС различных модификаций.

Средние технологические показатели работы этих сепараторов приведены в таблице 2.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при работе сепараторов 2ЭВС в промышленных условиях происходит существенное взаимное засорение продуктов обогащения. Содержание дорогостоящего немагнитного рутила в магнитном продукте достигает 4 %, а содержание ильменита в рутиловом продукте – 5 %. Производительность дана по впервые поступающему питанию.

*Таблица 2. Средние технологические показатели работы индукционных валковых сепараторов 2ЭВС*

Производительность, Т/(ч·м)	Индукция Тл	Продукт сепарации	Результаты сепарации, %				
			$\gamma$	рутил	ильменит	$\varepsilon_{\text{ру}}$	$\varepsilon_{\text{ил}}$
2	1.2	Магнитный	65,78	3,91	91,3	9,2	97,3
		Немагнитный	34,22	76,63	4,91	90,8	2,7
		Питание	100,0	28,8	61,73	100,0	100,0

Испытания экспериментального барьерного сепаратора осуществлялись одно-временно с испытаниями серийного сепаратора 2ЭВС-36/100, который был специально для этой цели отрегулирован. Технологические результаты испытаний приведены в таблице 3.

*Таблица 3. Технологические результаты сравнительных испытаний экспериментального барьерного сепаратора индукционного валкового*

*сепаратора 2ЭВС-36/100*

Производительность, т/(ч·м)	Индукция Тл	Продукт сепарации	Результаты сепарации, %				
			$\gamma$	рутил	ильменит	$\epsilon_{ru}$	$\epsilon_{il}$
<b><i>Экспериментальный барьерный сепаратор</i></b>							
1,9	0,8	питание	100,0	20,94	66,23	100,0	100,0
		магнитный	69,7	0,82	93,34	2,7	98,2
		немагнитный	30,3	67,21	3,87	97,3	1,8
3,0	0,8	питание	100,0	24,94	55,01	100,0	100,0
		магнитный	60,0	3,0	89,76	7,2	97,9
		немагнитный	40,0	57,85	2,89	92,8	2,1
<b><i>Один специально отрегулированный сепаратор 2ЭВС-36/100</i></b>							
2,1	1,2	питание	100,0	23,33	61,34	100,0	100,0
		магнитный	67,26	1,53	91,9	4,6	96,9
		немагнитный	32,74	64,42	6,09	95,4	3,1

Приведенные данные свидетельствуют, что технологические показатели барьерного сепаратора лучше, чем показатели одного специально отрегулированного серийного сепаратора 2ЭВС-36/100, если они имеют примерно одинаковую удельную производительность с сепараторами, работающими на комбинате. Содержание рутила в магнитном продукте барьерного сепаратора составляет 0,82 %, то есть в два раза меньше, чем в магнитном продукте валкового сепаратора. Барьерный сепаратор имеет также более высокое содержание ильменита в магнитном продукте при более высоком извлечении ильменита.

При увеличении удельной производительности барьерного сепаратора в 1,5 раза, то есть до 3 т/(ч·м), возрастает содержание рутила в магнитном продукте до 3 %, но по остальным показателям он все равно превосходит не только средние показатели работы 2ЭВС по комбинату, но и показатели эталонного образца сепаратора.

За весь период испытаний накопление магнитного продукта в каналах сепаратора не наблюдалось.

Экономический эффект от использования сепаратора составляет 65335 гривен в год. Экономия достигается за счет снижения потребления электроэнергии, затрат на обслуживание и на приобретение запчастей.

Расчет выполнен по нормативным затратам хотя фактические затраты на предприятиях выше нормативных. Таким образом, денежная экономия в течение 3,5 лет будет равна цене одного валкового сепаратора.

## **Заключение**

Сравнительные испытания показали, что барьерный сепаратор позволяет эффективно обогащать минеральные пески, надежен и прост в обслуживании. При этом в сравнении с валковым сепаратором экономится до 60 % электроэнергии, отсутствуют затраты на обслуживание и ремонт приводов и подшипников.

## **Источники информации**

- Turkenich A. M. A continuous barrier magnetic separator for the treatment of weakly magnetic ores // Magnetic and Electrical Separation. - 2001. - Vol. 10 (4). - pp. 209 – 211.
- Туркенич А. М. Сухая барьерная сепарация рутила и ильменита на лабораторном сепараторе "МАГ-ЭЛЕКТРО" // Збагачення корисних копалин. На-ук.-техн. зб. – 2000.- № 9 (50).- С.37-41.
- Туркенич А. М. Барьерная магнитная сепарация марганцевой руды на лабораторном сепараторе "Гидро-Маг" // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2001.- № 10 (51).- С.39 - 43.

**АВТОР: ТУРКЕНИЧ А. М., д-р техн. наук**