

УДК 622.766:622.333

**А.Д. ПОЛУЛЯХ**, д-р техн. наук

(Украина, Днепр, ОП "Укрниинуглеобогащение" ГП "Углеинновация"),

**Д.А. ПОЛУЛЯХ**, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### **МАГНИТНЫЕ СЕПАРАТОРЫ И ОЦЕНКА ИХ РАБОТЫ НА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ**

В настоящее время основным обогащительным процессом на углеобогащительных фабриках становится тяжелосреднее обогащение с применением магнетитовой суспензии. Таким способом обогащается не только крупный и мелкий машинные классы рядового угля, но и, в некоторых случаях, угольный шлам крупностью 0-2(3) мм [1].

В связи с вышеизложенным, на углеобогащительных фабриках резко возрастает вероятность увеличения потерь магнетита с продуктами обогащения. И если отмывка магнетита на вибрационных грохотах может быть успешно решена за счет увеличения расхода и давления воды, подаваемой на промывку, то основным источником повышенных потерь магнетита становятся магнитные сепараторы, применяемые для регенерации некондиционной магнетитовой суспензии.

Для регенерации некондиционной магнетитовой суспензии на углеобогащительных фабриках в странах СНГ применяются электромагнитные сепараторы типа ЭБМ и сепараторы с постоянными магнитами типа ПБМ и СБМ.

Особенностью регенерационных сепараторов является необходимость обеспечения высокой объемной производительности при максимально высоком извлечении магнетита. В период создания, освоения и последующего серийного производства регенерационных сепараторов в промышленном производстве отсутствовали постоянные магниты, которые могли бы создать магнитные силы, сопоставимые с магнитными силами электромагнитных систем. В связи с этим регенерационные сепараторы были вынуждено созданы на базе электромагнитных систем, так как те потери магнетита, которые допустимы при обогащении железных руд на сепараторах с постоянными магнитами, являлись недопустимыми при обогащении углей в тяжелых средах.

Сепараторы ЭБМ-90/250 и ЭБМ-80/170П имеют секторные магнитные системы. Они состоят из чередующихся вдоль образующей барабана дисковых полюсов, установленных с зазором относительно друг друга. Шаг полюсов составляет 375 мм, из которых 220 мм – ширина полюса, а 155 мм – ширина зазора между полюсами.

На поток тяжелой среды, которая проходит по зазору между барабаном и лотком ванны, действует магнитное поле барабана. По сложившейся практике в качестве характеристики магнитных сепараторов используется напряженность магнитного поля на поверхности барабана. Однако извлечение частиц магнети-

та из потока тяжелой среды происходит не под действием этой напряженности, а под действием магнитных сил, которые определяются как произведение напряженности магнитного поля на градиент напряженности в пространстве между барабаном и лотком ванны.

В этих сепараторах высокие магнитные силы действуют только против отдельных участков барабана – против краевых участков полюсов электромагнитной системы. Против центров полюсов магнитные силы в 15÷5 раз меньше. Магнитные силы против межполюсных зазоров достигают средних значений между силами против центров и краев полюсов.

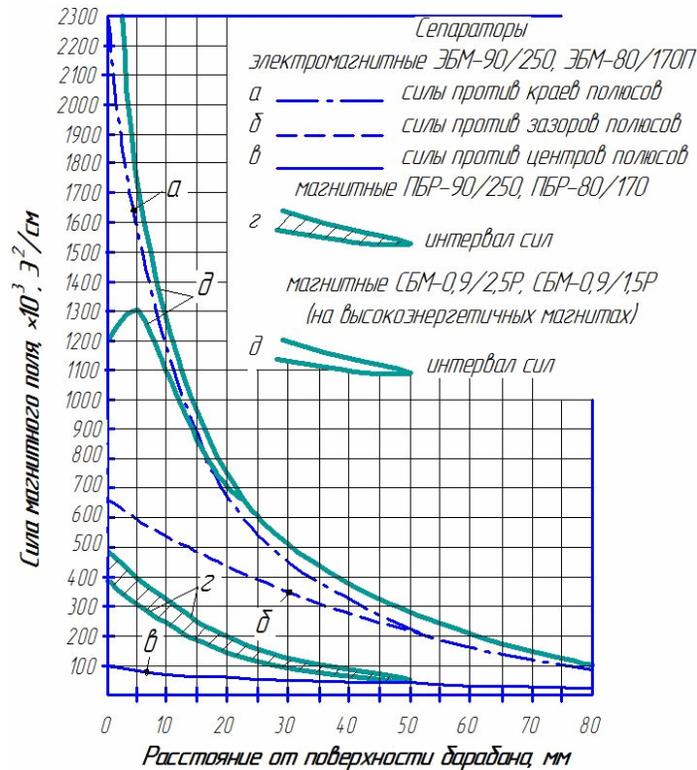
В связи с этим, электромагнитные системы сепараторов типа ЭБМ нельзя признать достаточно рациональными с точки зрения распределения магнитных сил, действующих в потоке тяжелой среды: большие магнитные силы пронизывают только, примерно, треть потока тяжелой среды. Тем не менее, создание электромагнитных сепараторов было вполне оправдано отсутствием достаточно мощных постоянных магнитов. "НТЦ МАГНИС ЛТД" в 1997 г. создал сепараторы ПБР-90/250 и ПБР-80/170 на постоянных магнитах. Магнитные системы были изготовлены из обычных феррит-бариевых магнитов, т.к. более сильные магниты в то время не производились. Магнитная индукция на поверхности барабанов составила всего 0,16 Тл. Магнитные силы сепараторов ПБР занимали промежуточные значения между силами против центров и против зазоров полюсов электромагнитных систем и были значительно меньше сил против краев полюсов этих систем.

Сепараторы с такими системами на постоянных магнитах не могли заменить сепараторы типа ЭБМ. На графиках (рисунок) показаны магнитные силы, которые у электромагнитных сепараторов действуют на расстоянии 70 мм от барабана и обеспечивают высокую производительность по пульпе. У сепараторов с феррит-бариевыми магнитами такие силы действуют только на расстоянии не более 30-35 мм от барабана. В связи с этим у сепараторов с ферритовыми магнитами зазор между барабаном и лотком ванны был уменьшен в 2 раза по сравнению с сепараторами ЭБМ. Это привело к снижению в 2 раза производительности сепараторов на феррит-бариевых магнитах.

Увеличенный угол охвата магнитной системы 220° сепаратора ЭБМ позволил погрузить барабан в пульпу, примерно, до оси барабана и за счет этого без увеличения диаметра барабана сепаратор обеспечивает высокую производительность и качество регенерации магнетита.

Изложенное выше показывает причину долголетия производства сепараторов типа ЭБМ. Созданные в начале 70-х годов прошлого века сепараторы ЭБМ-90/250 и ЭБМ-80/170 уже более 45 лет остаются в серийном производстве на заводах в Украине и России.

## Магнітна і електрична сепарація



Магнітні сили барабанів магнітних сепараторів

Однако освоение промышленного производства высокоэнергетичных редкоземельных магнитов принципиально изменило положение в пользу сепараторов на постоянных магнитах. Такими сепараторами стали магнітні сепаратори СБМ-0,9/2,5Р и СБМ-0,9/1,5Р для регенерації важкої середовища на вуглебагачильних фабриках, розробані "НТЦ МАГНІС ЛТД". Характеристика магнітних сил нових сепараторів приведена на рисунку (інтервал середніх сил "д"). Во всьому об'ємі потоку важкої середовища магнітні сили нових сепараторів на постійних магнітах знаходяться на рівні найбільш високих значень магнітних сил, які мають місце тільки проти країв полюсів сепараторів типу ЕМ. В зонах потоків важкої середовища, які у електромагнітних барабанів розташовані проти центрів полюсів і міжполюсних зазорів, магнітні сили сепараторів на постійних магнітах значно вище магнітних сил електромагнітних сепараторів. Це дозволяє сепаратори СБМ-0,9/2,5Р и СБМ-0,9/1,5Р застосовувати з більш високим ефектом, ніж сепаратори типу ЕМ.

Також перевагою сепараторів на постійних магнітах типу СБМ по відношенню до сепараторів типу ЕМ є низьке енергопотреблення. Заміна електромагнітних сепараторів на сепаратори з постійними магнітами економічно вигідна. За рік експлуатації електромагнітна система сепаратора споживає електроенергію, вартість якої досягає 20-25% вартості сепаратора. По порівнянню з сепаратором ЕМ 90/250 сепаратор СБМ 0,9/2,5Р зменшує витрати електроенергії відповідно на 28 кВт/ч або

более чем на 168000 кВт/ч в год. Новые магнитные сепараторы окупают себя за счет экономии электроэнергии, более низких затрат на обслуживание, а так же за счет снижения затрат на приобретение магнетита.

В последние годы произошел резкий рост цен на электроэнергию и магнетитовые концентраты. По этой причине борьба за снижение расхода электроэнергии и потерь магнетита – ключевой момент в вопросе выбора регенерационных сепараторов для углеобогажительных фабрик.

Другой особенностью сепараторов типа СБМ, которая принципиально отличает их от сепараторов других разработчиков, является глубокое погружение магнитного барабана в поданную в сепаратор тяжелую среду. Такое погружение увеличивает длину зоны извлечения магнетита.

Сепараторы типа СБМ соответствуют всем необходимым требованиям для регенерации магнетита на угольных фабриках, а именно обеспечивает высокую объемную производительность при максимальном высоком извлечении магнетита из тяжелой среды. Магнитная система сепараторов состоит из высокоэнергетичных постоянных магнитов изготовленных из редкоземельных материалов (неодим-железо-бор). Срок службы магнитов без потери индукции не менее 10-ти лет. У барабанов сепараторов СБМ устранен недостаток подшипникового узла с приводной стороны сепараторов ЭБМ.

Эффективная работа любых сепараторов, применяемых для регенерации некондиционных магнетитовых суспензий существенно зависит (при прочих равных условиях: магнитная система, качество магнетита) от параметров исходного питания: объемной нагрузки, содержания твердого, нагрузке по магнетиту и шламу и их соотношению.

При увеличении объемной нагрузки выше номинальной увеличиваются потери магнетита, снижается плотность магнитного концентрата и увеличивается в нем содержание шлама.

Содержание твердого в питании сепараторов должно быть не более 15%.

При увеличении содержания шлама в питании более 150 г/л плотность магнитного концентрата снижается (становится менее 2000 кг/м<sup>3</sup>).

Если содержание магнетита в твердом продукте питания 70-90%, то содержание магнетита в питании должно быть не более 180 г/л, если 35-59%, то не более 130 г/л.

Если содержание шлама в питании до 150 г/л, то содержание магнетита в отходах регенерации сепаратора не более 0,5 г/л, от 150 до 180 г/л – 1,0 г/л, от 180 до 200 г/л – 1,5 г/л, от 200 до 250 г/л – 2 г/л.

Рекомендуется также отдельно выделять хвосты регенерации и слив: в этом случае снижается содержание твердого в промывочной воде и улучшается регулирование гидродинамики течения пульпы через сепаратор.

Для принятия решения о необходимости изменения режима регенерации некондиционной магнетитовой суспензии необходимо осуществить оценку работы магнитных сепараторов. Эта оценка выполнена на примере работы магнитных сепараторов на ЦОФ "Гуковская" [2].

## **Магнітна і електрична сепарація**

*Схема регенерації некондиційної магнетитової суспензії на ЦОФ "Гуковська"*

На ЦОФ "Гуковська" некондиційною суспензією являються підсвітні продукти грохотів ГИСЛ-42 (крупний концентрат), грохотів ГИСЛ-42 (крупна порода), грохота ГИСЛ-62 (мелкий концентрат) і грохота ГИСЛ-42 (мелкая порода), которые самотеком поступають в сборник НКС-30 .

Из сборников НКС-30 некондиційна суспензія насосами ШН-250 перекачується на магнітні сепаратори СБаМ 80/170, где происходит ее регенерация в 2 стадии. Магнетит направляется в сборники КС-30 , хвосты на грохоты и далее в бак шламовых вод. Слив сепараторов подается на грохоты, на которых происходит отмывка магнетита от продуктов обогащения.

Таким образом, схема регенерації магнетитової суспензії на ЦОФ "Гуковська" пряма, загальна і двухстадіальна.

Магнітна індукція магнітних сепараторів становила 0,16 Тс.

В качестве утяжелителя на ЦОФ "Гуковська" применяется магнетит Лебединского, Михайловского и Южного ГОКов.

Результаты магнітного аналізу продуктів магнітних сепараторів приведені в табл. 1.

*Таблиця 1*

Наименование продуктов	№ пробы	Содержание, г/л		
		магнетита	шлама	твердого
I секция				
Питание сепараторов 1 стадии	31	29,3	12,7	42,0
Магнитный концентрат 1 стадии	32	1797	131	1928
Сливная вода 1 стадии	33	0,7	42,2	42,9
Хвосты 1 стадии	34	2,4	75,6	78,0
Магнитный концентрат 2 стадии	35	1633	186	1819
Сливная вода 2 стадии	36	0,8	51,1	51,9
Хвосты 2 стадии	37	1,2	113,3	114,5
II секция				
Питание сепараторов 1 стадии	38	68,7	28,3	97,0
Магнитный концентрат 1 стадии	39	1814	148	1962
Сливная вода 1 стадии	40	1,1	60,2	61,3
Хвосты 1 стадии	45	6,2	99,0	105,2
Магнитный концентрат 2 стадии	46	1699	212	1911
Сливная вода 2 стадии	47	1,8	70,8	72,6
Хвосты 2 стадии	48	1,5	155,8	157,3
Общие пробы				
Илы		3,9	688,0	691,9
Общий слив сепараторов		1	56	57
Общие хвосты сепараторов		2,8	110,9	113,7

### Показатели работы магнитных сепараторов

В соответствии с рекомендациями [3], нормативной считается работа сепараторов если:

- содержание твердого в хвостах регенерации не превышает 150 г/л, в т.ч. магнетита не более 2 г/л;
- содержание твердого в сливе регенерации не должно превышать 90 г/л (для размокаемых углей 120 г/л), в т.ч. магнетита не более 1 г/л;
- плотность магнетитового концентрата должна быть не менее 2100 кг/м<sup>3</sup>, при содержании магнитных фракций 90-95% и содержании шлама не более 5% по весу. Извлечение магнетита должно быть не менее 99%.

В табл. 2 на основе данных табл. 1 осуществлен расчет содержания шлама в магнетитовом концентрате.

Таблица 2

Магнитный концентрат	Количество, г/л		Содержание шлама, %
	твердого	шлама	
I секция 1 стадия	1928	131	6,8
I секция 2 стадия	1819	186	10,2
II секция 1 стадия	1962	148	7,5
II секция 2 стадия	1911	212	11,1

Сравнительный анализ данных табл. 1 и 2 и требований [3] показывает:

а) по содержанию шлама в хвостах регенерации (78,0; 114,5 г/л по первой секции; 105,2 и 157,3 г/л по второй секции; 113,7 г/л в среднем по двум секциям) работу сепараторов можно признать удовлетворительной;

б) по содержанию магнетита в хвостах регенерации (2,4 и 1,2 г/л по первой секции; 6,2 и 1,5 г/л по второй секции; 2,8 г/л в среднем по двум секциям) работу сепараторов надо признать неудовлетворительной;

в) по содержанию твердого в сливных продуктах всех стадий магнитной сепарации работу сепараторов следует считать удовлетворительной: содержание твердого не превышает 90 г/л. Содержание магнетита в сливе по второй секции на обеих стадиях превышает 1 г/л, следовательно, данные сепараторы перегружены по исходной пульпе или не справляются по отводу хвостов;

г) по плотности магнетитового концентрата магнитные сепараторы работают неудовлетворительно: плотность 2100 кг/м<sup>3</sup> не достигнута ни на одной стадии, что свидетельствует или о плохом качестве магнетита, или о недостаточности магнитной индукции магнитного поля;

д) содержание шлама в магнетитовом концентрате превышает допустимые нормы: на первой стадии в 1,36-1,5 раза, на второй стадии – более чем в 2 раза, что свидетельствует о флокуляции частиц в магнитном поле как под его действием, так и под действием флокулянтов, применяющихся на фабрике для осветления оборотной воды.

Таким образом, работу схемы регенерации магнетитовой суспензии на

## **Магнітна і електрична сепарація**

ЦОФ "Гуковская" следует признать неудовлетворительной, особенно по содержанию магнетита в продуктах регенерации.

### *Выводы*

1. Снижение потерь магнетита на углеобогащительных фабриках может быть достигнуто за счет применения сепараторов с постоянными магнитами (магнитная система изготовлена из редкоземельных материалов: неодим-железо-бор) типа СБМ, которые по сравнению с электромагнитными сепараторами типа ЭБМ имеют более высокую магнитную индукцию (0,3 Тс) и более низкое энергопотребление (в среднем на 28 кВт/ч).

2. Эффективная работа магнитных сепараторов обеспечивается (при прочих равных условиях) рациональными параметрами исходного питания.

3. Оценка работы магнитных сепараторов производится на основе опробования и магнитного анализа продуктов их регенерации и сравнения полученных данных с требованиями [3].

### **Список литературы**

1. Полулях А.Д. Обогащение угля в магнетитовой суспензии: монография / А.Д. Полулях, А.С. Бучатский, С.А. Выродов, Д.А. Полулях. – Днепропетровск: НГУ, 2016. – 512 с.
2. Разработать рекомендации по снижению потерь магнетита на ЦОФ "Гуковская": Отчет о НИР / Рук. А.Д. Полулях. – Белгород: ООО "Сателлит", 2014. – 139 с.
3. Рекомендации по обогащению угля в магнетитовой суспензии (основные параметры). – М.: ИОТГ, 1976. – 171 с.

© Полулях А.Д., Полулях Д.А., 2017

*Надійшла до редколегії 05.05.2017 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*