

УДК 622.7: 622.3

**Т.А. Олейник, В.И. Мулякко, В.И. Ляшенко,  
А.М. Кириченко, М.О. Олейник**

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО УЛАВЛИВАНИЯ МАГНИТНОЙ ПЫЛИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Приведены основные научные и практические результаты новых технологий и технических средств для селективного улавливания магнитной пыли при обогащении полезных ископаемых. Представлены разработка и результаты новых аппаратов с непрерывной регенерации осадительной поверхности. Даны результаты лабораторных исследований аппаратов улавливания и сепарации магнитной пыли. Показаны результаты определения условий регенерации магнитных полюсов на основании лабораторных исследований и расчета степени улавливания пыли магнитным циклонным аппаратом.*

*Ключевые слова: новые технологии, технические средства, улавливание пыли, обогащение полезных ископаемых, эффективность.*

---

### **Актуальность проблемы**

**З**агрязнение атмосферы вредными технологическими выбросами явилось следствием бурного развития промышленности. На нашей планете добывается и сжигается в год около 4,7 млрд т каменного угля, около 3,8 млрд т нефти (2012), добыча газа в 2009 г. составила 3,1 трлн куб. м. и перерабатывается около 3,5 млрд т рудных и нерудных материалов, вследствие чего в атмосферу выбрасывается около 250–300 млн т аэрозолей, до 250 млн т сернистого ангидрида и большое количество других вредных веществ. Если считать, что в земной атмосфере постоянно находится до 10% аэрозолей, т.е. 90% улавливается, то можно легко представить себе объемы хвостохранилищ, в которые, наряду с отходами процесса обогащения, попадает и уловленная пыль, уменьшить их можно путем извлечения магнитной составляющей этой пыли. Поэтому разработка и внедрение новых технологий и технических средств для селек-

тивного улавливания магнитной пыли при обогащении полезных ископаемых с целью ее рекуперации, – важная научно-техническая и практическая задача, требующая оперативного решения.

Для решения сформулированных задач авторами использована комплексная методика исследования, включающая анализ ранее выполненных исследований и контрольных наблюдений, анализ и статистическая обработка результатов, выполнение расчетов и технико-экономических обоснований, промышленные и экспериментальные исследования на полигонах по стандартным методикам.

### **Обсуждение и оценка результатов исследований**

Объемы выделения пыли (усредненные значения) основными источниками ГОКов Кривбасса в процессе переработки железной руды и выбросы ее в атмосферу из аспирационных систем, содержание железа в которой может достигать до 40% и более, как в исход-

Таблица 1

**Количество пыли, выделяемое основными источниками ГОКов Кривбасса**

Название предприятия	Производство	Источники пылевыведения	Общее выделение пыли, т/год	Выбросы пыли в атмосферу, т/год
ОАО «СевГОК»	Фабрика окомкования № 1	Корпус окомкования и обжига	65 604	4280
	Фабрика окомкования № 2	Корпус окомкования, обжига и грохочения	84 232	6038
ОАО «ЦГОК»	Фабрика окомкования	Корпус обжига	65 576	2683
ОАО «НКГОК»	Агломерационный цех № 1	Зона спекания и грохочения	97 959	13 102
	Агломерационный цех № 2	То же	162 048	4018
ОАО «ЮГОК»	Агломерационный цех № 1	Зона спекания и аспирация укрытий	46 274	13 803
	Агломерационный цех № 2	То же	45 891	13 734

ном перерабатываемом продукте приведены в табл. 1. Для повышения эффективности работы существующих аппаратов необходимо использовать физические свойства пыли. Например, для ферромагнитной пыли известны ионно-электромагнитные циклоны, пылеуловители и пылеотделители [1, 2], а также устройства, которые повышают эффективность инерционных и зернистых фильтров [3]. Известны и проходные зернистые фильтры [4]. В корпусе этих аппаратов размещен фильтрующий элемент, состоящий из магнитной системы и слоя ферромагнитных шаров или тел другой формы. Данный магнитный фильтр может эффективно работать и на пыли, содержащей всего 20–40% ферромагнитной компоненты. Регенерация фильтрующего слоя в них осуществляется дискретно, путем извлечения его из магнитного поля, встряхивания, продувкой воздухом или промывкой водой. Правда в таких фильтрах степень очистки газа, даже от частиц размером 1,5–2,5 мкм, достигает 99,0–99,7%. Однако эти фильтры не позволяют качественно разделить

уловленную пыль на магнитную и немагнитную. Кроме того, в них невозможно осуществить непрерывную регенерацию фильтрующего слоя.

Известные конструкции магнитных сепараторов (барабанных, валковых, роторных и т.д. [5]) они работают только на крупном материале и совсем неприменимы для аэрозольных систем. Существуют магнитные фильтры с возможностью сепарации пыли на два продукта, в основу которых положен способ разделения магнитных и немагнитных частиц одновременным воздействием на материал воздушного потока и магнитного поля [6]. Им также присущи некоторые недостатки. Осаждение магнитных частиц в местах наибольшего градиента магнитного поля, приводящее к ослаблению его интенсивности, а значит и эффективности работы и малая производительность. Кроме того, также необходима периодическая регенерация полюсов магнитной системы, которая производится перечисленными выше методами или периодической подачей сжатого воздуха под резиновую

футеровку магнитных полюсов аппарата [7]. Поэтому, необходимо искать такие формы пылеуловителей, в которых частицы проходили бы в предельной близости от магнитных полюсов, причем со сравнительно небольшой скоростью.

Ближе всего к предлагаемому решению поставленной задачи подошли циклонные аппараты, снабженные магнитными системами [8], правда, они полностью лишены возможности разделения пыли на магнитный и немагнитный продукты. Т.е. можно утверждать, что в настоящее время нет аппаратов для непрерывного разделения пылевидных материалов на компоненты, отличающиеся магнитными свойствами. Для разработки таких аппаратов необходимо учесть, что магнитные силы короткодействующие, поэтому необходимо выбрать такую конструкцию аппарата, в которой силы, например, инерционные переносили частицы как можно ближе к полюсам магнитов. Пролетая вблизи магнитного полюса, частица намагничивается и притягивается к месту, где градиент магнитного поля максимален. Немагнитная же частица будет двигаться в потоке дальше, а осевшие по инерции на поверхность магнитной системы удаляться аэродинамическими, центробежными и другими силами.

### Математическое моделирование

Для определения минимальной скорости воздушного потока срывающего уже осевшую на полюс частицу, сравним аэродинамическую силу сопротивления в потоке, определяемую формулой [9]:

$$F_c = 0,125\pi\psi d_q^2 \varrho_v^2 \rho_r, \quad (1)$$

и магнитную силу, определяемую формулой, описанной в работе [5]

$$\vec{F} = \mu_0 \aleph_q V_q (\vec{H} \text{grad}) \vec{H}, \quad (2)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $\aleph_q$  – магнитная восприимчивость материала частицы;  $V_q$ ,  $\psi$  – объем и коэффициент лобового сопротивления, имеющий сложную зависимость от критерия Рейнольдса:

$$Re_q = v_q d_q \rho_r \mu_r^{-1}, \quad (3)$$

где  $d_q$ ,  $v_q$  – диаметр частицы, м;  $\rho_r$ ,  $\mu_r$  – относительная скорость движения частицы и обтекаемого потока, м/с; плотность (кг/м<sup>3</sup>) и динамическая вязкость (Па·с) газа.

Тогда получим выражение для относительной скорости потока и частицы:

$$v_q = 2J_0 \sqrt{2\langle F_{M1} \rangle \mu_0^3 \aleph_q d_q (\pi r_r \psi)^{-0,5}}. \quad (4)$$

где  $J_0$  – остаточная намагниченность частицы пыли, которую можно измерить методом, описанным в [10]. Результаты измерений магнитных моментов пыли, позволяющие оценить их улавливание и сепарацию по магнитным свойствам, приведены в работе [11]. Для примера, измеренные характеристики пыли дробильной фабрики ОАО «СевГЭК» приведены в табл. 2.

Введя постоянную

$$B_0 = 8\langle F_{M1} \rangle \mu_0^3 \aleph_q J_0^2 (\pi r_r) \quad (5)$$

и логарифмируя выражение (4), получим

$$lqv_q = 0,5(lqB_0 - lqv). \quad (6)$$

### Результаты численного моделирования

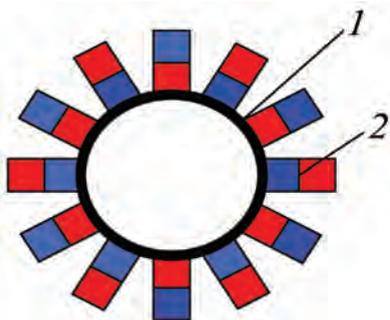
Расчет скорости выполняется методом последовательных приближений. В качестве примера выполнены расчеты для частицы размером 50 мкм, с магнитной восприимчивостью  $\aleph = 0,27$ , для цилиндрической магнитной системы, описанной в работе [10] и установлено, что эта скорость равна 10,14 м/с. Учитывая распределение скоростей потока у стенок, можно утверждать, что скорость в аппарате может быть значительной (более 10 м/с).

Таблица 2

**Распределение по размерам числа частиц, их масс, магнитных моментов и остаточной намагниченности частиц пыли дробильной фабрики ОАО «СевГОК»**

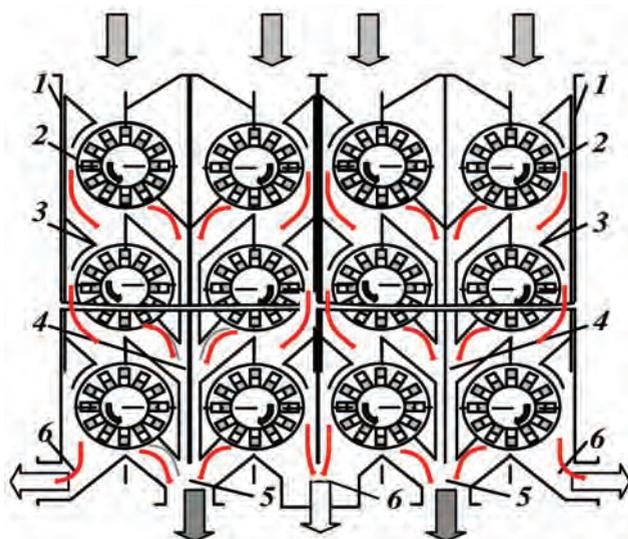
Размеры пыли, мкм	Вся пыль; число / масса, нкг	Распределение		Немагнитная пыль; число / масса, нкг	Среднее значение	
		по счету, %	по массе, %		пАм	кА/м
1,4–4,2 (2,8)	42/0,0033	12,14	0,01	36/0,0027	0,67	24,09
4,2–7,0 (5,6)	41/0,0207	14,14	0,04	39/0,0190	2,06	13,61
7,0–12,6 (9,8)	75/0,1141	25,25	0,21	48/0,0734	5,57	13,43
12,6–15,6 (14,1)	30/0,1601	10,10	0,29	21/0,1138	17,46	12,32
15,6–31,2 (23,4)	66/1,2624	22,22	2,31	51/0,9772	48,34	9,25
31,2–46,8 (39,0)	21/1,7780	7,07	3,25	12/1,1301	62,30	8,21
46,8–62,0 (54,6)	9/2,7454	3,03	5,02	–	337,4	4,03
>62,0 (115,4)	12/48,653	4,05	88,87	–	6039	5,42
Всего	297/54,737	100	100	207/2,3162	$\langle P_m \rangle = 273$	$\langle J \rangle_0 = 13$

Аппаратом, в котором проявляются инерционные СИЛЫ, может служить прямооточная камера, в которой установлены перпендикулярно воздушному потоку неподвижные цилиндрические поверхности небольшого диаметра. Внутри этих цилиндров размещается вращающаяся с небольшой скоростью магнитная система, создающая высокоградиентное поле (рис. 1).

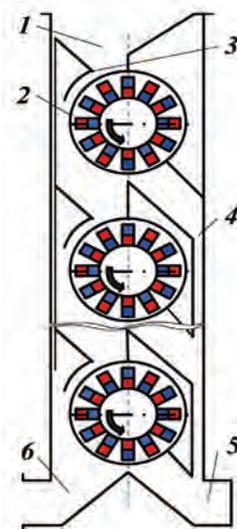


**Рис. 1. Магнитная система:** 1 – магнитопровод (ядро); 2 – постоянные магниты

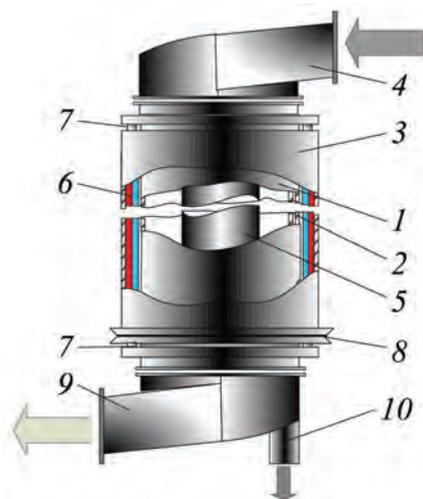
С целью осуществления непрерывной регенерации осадительной поверхности аппарата, была выбрана вертикальная конструкция, с горизонтально расположенными магнитными системами, четыре канала которой изображены на рис. 2. Как видно из рисунка, цилиндрическая магнитная система унифицирована. Полное отделение магнитной составляющей пыли осуществляется путем установки достаточного количества этих систем. Устройство работает следующим образом. Запыленный воздух поступает в канал 1, где поочередно обтекает цилиндрические препятствия 2. Под действием сил инерции частицы выходят из линий тока и приближаются к этим препятствиям. Магнитные частицы притягиваются к полюсу магнита и удерживаются им на немагнитной цилиндрической поверхности. Вращение магнитной системы заводит частицы в каналы 4, где воздух не движется. В каналах частицы



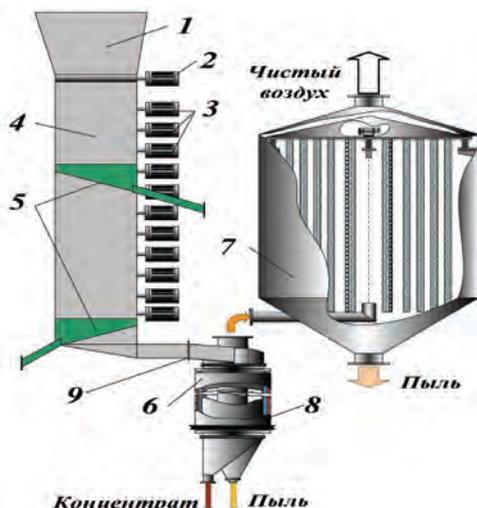
**Рис. 2. Камерный сепаратор для отделения магнитной пыли:** 1 – корпус; 2 – цилиндрические сепараторы внутри которых размещены магнитные системы; 3 – механическое устройство для регулирования скорости потока; 4 – каналы для направления извлеченной магнитной фракции в соответствующие бункера; 5, 6 – патрубки для вывода воздушного на пылеочистку



**Рис. 3. Схема лабораторной установки:** 1 – входной канал; 2 – неподвижные цилиндрические поверхности; 3 – регулятор скорости потока; 4 – канал магнитного продукта; 5 – приемный бункер; 6 – коллектор



**Рис. 4. Пылеотделитель циклонного типа:** 1 – корпус аппарата; 2 – лопушка магнитной фракции; 3 – магнитопровод (ярмо); 4, 9 – входная и выходная улитка; 5 – обтекатель; 6 – постоянные магниты; 7 – опорный подшипник; 8 – шкив-подшипник; 10 – трубопровод магнитного продукта



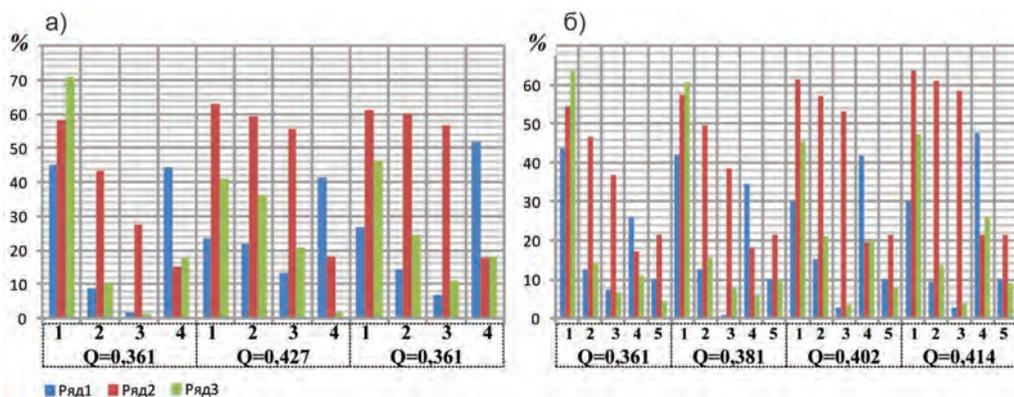
**Рис. 5. Стенд для испытания пылеотделителей:** 1 – бункер питателя; 2 – электропривод барабанного питателя; 3 – привод магнитных систем; 4 – корпус камерного сепаратора; 5 – система выпуска магнитного продукта; 6 – циклон с магнитным полем в рабочей зоне; 7 – пылеуловитель (камера с волоконными шторами); 8 – магнитная система циклона; 9 – фланец для подсоединения испытываемых аппаратов

коагулируют и под действием силы тяжести поступают в бункер 5. Воздух, содержащий остальной материал, выводится через патрубок для последующей очистки.

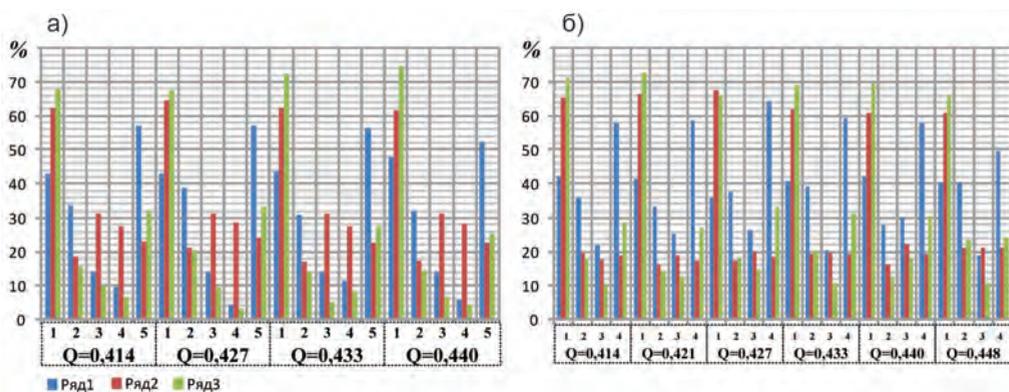
Лабораторная установка, изготовленная из немагнитного материала, с диаметром барабанов 9 см и площадью активного сечения 0,016 м<sup>2</sup>, содержащая 10 последовательно установленных магнитных систем с автономным приводом, показана на рис. 3.

## Разработка новых аппаратов непрерывной регенерации осадительной поверхности

Нами разработан и испытан в лабораторных условиях магнитный отделитель сильномагнитных частиц циклонного типа. На рис. 4 изображена его принципиальная схема. Как видно из рисунка, он отличается от магнитного аппарата, описанного в работах [4–6], магнитной системой, магниты 2 которой установлены с внутренней сторо-



**Рис. 6. Результаты обогащения на магнитном сепараторе типа МКС при различной производительности  $Q$ , м<sup>3</sup>/с: ряд 1 – выход, %; ряд 2 – массовая доля железа, %; ряд 3 – извлечение железа, %; а) без предварительного обеспыливания: 1 – концентрат; 2, 3 – соответственно, промпродукты 1 и 2; 4 – хвосты; б) с предварительным обеспыливанием: 1 – концентрат; 2, 3 – соответственно, промпродукты 1 и 2; 4 – хвосты с пылью; 5 – пыль циклона**



**Рис. 7. Результаты обогащения пыли на магнитном циклоне при различной производительности по  $Q$ , м<sup>3</sup>/с: ряд 1 – выход, %; ряд 2 – массовая доля железа, %; ряд 3 – извлечение железа, %; а) предварительное обеспыливание: 1 – концентрат; 2 – хвосты; 3, 4 – пыль циклона и электрофильтра; 5 – хвосты с пылью; б) без удаления пыли: 1 – концентрат; 2 – хвосты; 3 – пыль электрофильтра; 4 – хвосты с пылью**

ны цилиндрического яра 1. А также отсутствием конической части, вместо которой установлена еще одна улитка, выходная. Такая конструкция позволяет делать аппараты любой высоты. Данный аппарат работает по тому же принципу, что и циклон, описанный в работах [11–13]. Отличие в их работе заключается в том, что в этом аппарате улавливается не вся пыль, а только магнитная. Выходящий же из него немагнитный пылегазовый поток, перед тем как поступить в пылеуловитель, может еще раз пройти через магнитный или электрический сепараторы.

Оба магнитных сепаратора имеют свои достоинства и недостатки. Так, например, камерный сепаратор может быть изготовлен на любую производительность и на любое качество разделения, и это связано с увеличением, как размера аппарата, так и введением большого количества магнитных систем; циклонный – значительно проще, но размеры его ограничены, для увеличения производительности необходимо параллельно устанавливать несколько аппаратов.

### **Лабораторные исследования аппаратов улавливания и сепарации магнитной пыли**

Испытания проводили на стенде (рис. 5). Измельченные на установке 103А-УС магнетитовые кварциты подземной добычи, подвергали ситовому

анализу с отверстиями 160, 100, 71, 50 мкм, результаты которого приведены в табл. 3. Были исследованы два магнитных камерных пылеуловителя-сепаратора с четырьмя и десятью рабочими органами-барабанами и магнитный циклонный аппарат. опыты проводили по схемам поэтапного обогащения, т.е. магнитный продукт каждой операции, собирался и снова пропусклся через аппарат. Изучали влияние на показатели сепарации расхода воздуха, который изменяли от 0,361 до 0,433 МЗ/С, и частиц менее 5 мкм, которые содержались в измельченной до пылеобразного состояния руде. Поэтому часть опытов проводили на материале, из которого были удалены эти частицы, пропуская их через циклон диаметром 30 см.

Результаты опытов приведены на рис. 6 (для сепаратора с четырьмя магнитными системами и рабочими барабанами). Эксперименты показали, что при расходе воздуха 0,414–0,427 м/с, получаются лучшие показатели обогащения обеспыленного продукта. При этом получается концентрат с массовой долей железа 63,1–63,8% при выходе 23,3–30,3% и хвосты с массовой долей железа 18,1–21,6% при выходе 41,4–47,8%. В сепараторе с десятью магнитными системами массовая доля железа в концентрате снизилась до 61% при выходе до 55%, массовая

Таблица 3

#### **Гранулометрический состав измельченных магнетитовых кварцитов**

Крупность, мм	Выход, %	Массовая доля железа, %	Распределение железа, %
+0,16	3,7	22,6	2,3
-0,16 +0,1	16,5	36,7	16,7
-0,1 +0,07	1,6	36,4	1,6
-0,07+0,05	20,1	34,6	19,1
-0,05 +0	58,1	37,7	60,3
Итого	100	36,2	100

доля железа в хвостах снизилась до 19,5%, а выход – до 31%. Извлечение железа составило в первом случае до 64%, а во втором – до 70%.

На рис. 7 приведены результаты сепарации на циклонном аппарате. Показатели сепарации имеют максимум в интервале расхода воздуха 0,414–0,427 м<sup>3</sup>/с. При этом получается концентрат с массовой долей железа 62–65% при выходе 43–47% и хвосты с массовой долей железа 16–19% при выходе 33–35%. Извлечение железа составило в первом случае до 70%. Предварительное удаление мелкой фракции (менее 5 мкм) не влияет на показатели сепарации в циклонном аппарате. Следовательно, разработанный аппарат может разделять пыли любой крупности и тонко вкрапленную железную руду мелкого помола.

Лабораторными исследованиями, разработанных аппаратов в качестве магнитных сепараторов двух типов, доказана принципиальная возможность сухого, обогащения бедных тонкоизмельченных магнетитовых кварцитов. Однако для отработки всех режимов (измельчения, обогащения и обеспыливания), а также получения надежных исходных данных для расчета производительности оборудования и технико-экономической оценки разработанной технологии, необходимо было провести длительные испытания предложенной технологии обогащения и магнитных сепараторов на непрерывной полупромышленной установке. Для этой цели были изготовлены три вида сепараторов. Камерный сепаратор площадью сечения 0,5 м<sup>2</sup> и длиной 1,2 м, в котором установлены по 10 магнитных систем барабанного типа с каждой стороны. Циклонного типа (два экземпляра) диаметром по 0,4 м и высотой по 1,5 м каждый, магнитные системы которых вращались с частотой 0,33 Гц. И один магнитный циклон диаметром 0,7 м и высотой 3,5 м, маг-

нитная система которого вращалась с частотой 0,1 Гц.

Измельчение пылеобразной руды, нагревание транспортирующего воздуха осуществлялось на оборудовании опытного участка института Механобрчермет, где проводили исследования. Наладку и испытания оборудования проводили в течение нескольких месяцев. Это позволило получить достаточную информацию для определения и расчета оптимальных режимов работы всего оборудования, конструкций аппаратов и их размеров, схемы размещения и т.д. Кроме того, получен концентрат с массовой долей железа 64–65%, при его выходе 42–45% и извлечении железа 73–75%. Остальное железо входит как немагнитные соединения. Используя в магнитных системах сепараторов постоянные магниты типа Nd–Fe–В или Dy–Fe–В (ТУ 14312708.170-94), в состав материала которых входят элементы ряда лантанидов (неодим или диспрозий), индукция магнитного поля у поверхности которых составляет 0,6–0,75 Тл, что почти на порядок больше, чем у ферробариевых, можно с успехом сепарировать на этих установках и слабомагнитные пыли, т.е. сростки магнетита гематита [14–17].

## Выводы

1. Разработан аппарат с цилиндрическими магнитными системами, расположенными горизонтально навстречу пылегазовому потоку, и установлено, что для частицы размером 50 мкм, с магнитной восприимчивостью  $\kappa = 0,27$ , скорость потока равна 10,14 м/с. Учитывая распределение скоростей потока у стенок, можно утверждать, что скорость в аппарате может быть значительной (более 10 м/с).

2. Установлено, что при расходе воздуха 0,414–0,427 м/с, получают лучшие показатели обогащения обеспыленного продукта. При этом получается концентрат с массовой долей железа

63,1–63,8% при выходе 23,3–30,3% и хвосты с массовой долей железа 18,1–21,6% при выходе 41,4–47,8%. В сепараторе с десятью магнитными системами массовая доля железа в концентрате снизилась до 61% при выходе до 55%, массовая доля железа в хвостах снизилась до 19,5%, а выход – до 31%. Извлечение железа составило в первом случае до 64%, а во втором – до 70%.

3. Обоснованы показатели сепарации, которые имеют максимум в интервале расхода воздуха 0,414–

0,427 м<sup>3</sup>/с. При этом получается концентрат с массовой долей железа 62–65% при выходе 43–47% и хвосты с массовой долей железа 16–19% при выходе 33–35%. Извлечение железа составило в первом случае до 70%. Предварительное удаление мелкой фракции (менее 5 мкм) не влияет на показатели сепарации в циклонном аппарате. Разработанный аппарат может разделять пыли любой крупности, т.е. и тонко вкрапленную железную руду мелкого помола.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов Т.В. Авторское свидетельство 284765 СССР. Ионномагнитный циклон. – Оpubл. 3.06.72, Бюл. № 34.

2. Измоденов Ю.А., Буянов Б.И., Гладков Ф.А. и др. Авторское свидетельство 279587 СССР. Пылеотделитель. – Оpubл. 8.09.79, Бюл. № 27.

3. Гридасов В.В., Стуканов В.И. Повышение степени очистки воздуха от пыли в сухих инерционных пылеуловителях / Труды Всесоюзной конференции «Охрана труда на металлургических предприятиях». – Свердловск, 1981. – С. 113–114.

4. Товстоухатко В.М. Магнитный пылеуловитель. – Киев: Высшая школа, 1985. – 112 с.

5. Справочник по обогащению руд. Основные процессы / Под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1983. – 381 с.

6. Патент 4235710 США. Способ и устройство для сепарации частиц с помощью магнитного барьера. Оpubл. 1980, том 1000, № 4.

7. Капустин Е.А. и др. Авторское свидетельство 1018688 СССР. Магнитный пылеуловитель. Оpubл. 1983, № 19.

8. Козлов В.А. и др. Авторское свидетельство 1175557 СССР. Электромагнитный циклон. Оpubл. 1985, № 32.

9. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352 с.

10. Мулявко В.И. Расчет поля постоянно-го магнита, имеющего форму четырехугольной призмы // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник. – 2004. – № 83. – С. 179–184.

11. Бызов В.Ф., Янов А.П. и др. Авторское свидетельство 1315026 СССР. Устрой-

ство для сепарации измельченных слабомагнитных руд. Оpubл. 1987, № 21.

12. Мулявко В.И., Жовтуха Г.А. Магнитный циклон с непрерывной регенерацией и разделением уловленной пыли на магнитную и немагнитную / Труды Всесоюзной научно-технической конференции «Актуальные вопросы охраны окружающей среды от антропогенного воздействия». – Севастополь, 1990.

13. Бызов В.Ф., Жовтуха Г.А., Мулявко В.И. и др. Расчет эффективности циклона, в котором, помимо сил инерции, действуют другие силы. Криворожский технический университет. – Кривой рог, 1989. – 9 с. – деп. В Укр НИИНТИ. № 1294-Ук. 89.

14. Гури́н А.О. Мулявко В.И., Ляшенко В.И. Нові технології та технічні засоби для пилуловлення на гірничих підприємствах // Экология и промышленность. – 2013. – № 2. – С. 50–56.

15. Гури́н А.А., Мулявко В.И., Ляшенко В.И. Инновационные технологии пылеулавливания на горно-обогатительных предприятиях // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 9. – С. 54–59.

16. Гури́н А.А., Мулявко В.И., Ляшенко В.И. // Тезисы докладов XII международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (Занджан, Иран, 16–22 сентября 2013 г.). Т. 1. – М.: РУДН, 2013. – С. 210.

17. Мулявко В.И., Олейник Т.А., Ляшенко В.И. и др. Новые технологии и технические средства для сепарации слабомагнитных руд // Обогащение руд. – 2014. – № 2. – С. 43–49. **ГИАБ**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

Мулявко Валерий Иванович<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор,  
e-mail: muwali2012@ yandex.ru,  
Ляшенко Василий Иванович – кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
член-корр. Украинской экологической Академии наук,  
начальник научно-исследовательского отдела, e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru,  
Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт  
промышленной технологии» (ГП «УкрНИПИИПромтехнологии»)  
Министерства энергетики и угольной промышленности Украины,  
г. Желтые Воды, Украина,  
Олейник Татьяна Анатольевна<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор,  
академик Академии горных наук Украины, зав. кафедрой,  
e-mail: taoliyrik@gmail.com,  
Кириченко Анатолий Михайлович<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: legus\_1984@mail.ru,  
Олейник Максим Олегович<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: lpumrmax@gmail.com,  
<sup>1</sup> Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина.

---

UDC 622.7: 622.3

## **NEW TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS FOR COLLECTING MAGNETIC DUST SELECTIVE MINERAL PROCESSING**

Mulyavko V.I.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: muwali2012@ yandex.ru,  
Lyashenko V.I., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Head of Department, e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru,  
Ukrainian scientific-research and design-prospecting Institute of industrial technology,  
52204, Zheltje Vody, Ukraine,  
Oleyrik T.A.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: taoliyrik@gmail.com,  
Kirichenko A.M.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: legus\_1984@mail.ru,  
Oleyrik M.O.<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: lpumrmax@gmail.com,  
<sup>1</sup> Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine.

---

*The main scientific and practical results of new technologies and means to selectively capture dust magnetic mineral processing. A new device with a cylindrical magnet systems arranged horizontally towards the dust-gas stream, and found that a particle size of 50 microns, with magnetic susceptibility  $\mu = 0,27$ , flow rate was 10,14 m/s. It is found that at an air flow 0,414-0,427 m/s, the best results are obtained by enrichment dust-free product. This gives a concentrate with Fe content 63,1–63,8% at an output of 23,3–30,3% and tails with a mass fraction of iron 18,1–21,6% at an output of 41,4–47,8%. The separator magnetic systems with ten mass fraction of iron in concentrate decreased to 61% at an output up to 55%, mass fraction of iron in the tailings decreased to 19,5%, and the yield – up to 31%. Removing the iron was in the first case and 64%, and in the second – 70%. Separation based indicators, which have a maximum air flow in the range 0,414–0,427 m<sup>3</sup>/s. Thus obtained concentrate with a mass fraction of iron 62–65% at the outlet 43–47% and tails with Fe content of 16–19% with a yield of 33–35%. Given the results of laboratory research devices capture and separation of magnetic dust. The results of determining the conditions of the regeneration of the magnetic poles on the basis of laboratory research and calculate the degree of magnetic cyclone dust collection apparatus.*

*Key words: new technologies, technical means, dust collection, mineral, efficiency.*

## **REFERENCES**

1. Tikhonov T.V. Copyright certificate 284765 USSR, 3.06.72.
2. Izmodenov Yu.A., Buyanov B.I., Gladkov F.A. Copyright certificate 279587 USSR, 8.09.79.
3. Gridasov V.V., Stukanov V.I. Trudy Vsesoyuznoy konferentsii «Okhrana truda na metallurgicheskikh predpriyatiyakh» (Proceedings of All-Union Conference on Occupation Safety at Primary Metallurgical Establishments), Sverdlovsk, 1981, pp. 113–114.
4. Tovstokhat'ko V.M. Magnitnyy pyleulovitel' (Magnetic dust collector), Kiev, Vysshaya shkola, 1985, 112 p.

5. *Spravochnik po obogashcheniyu rud. Osnovnye protsessy*. Pod red. O.S. Bogdanova (Ore concentration manual. Basic processes. Bogdanov O.S. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1983, 381 p.
6. Patent 4235710 USA, 1980.
7. Kapustin E.A. *Copyright certificate 1018688 USSR*, 1983.
8. Kozlov V.A. *Copyright certificate 1175557 USSR*, 1985.
9. Fuks N.A. *Mekhanika aerorozley* (Mechanics of aerosols), Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1955, 352 p.
10. Mulyavko V.I. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. Nauchno tekhnicheskij sbornik*, 2004, no 83, pp. 179–184.
11. Byzov V.F., Yanov A.P. *Copyright certificate 1315026 USSR*, 1987.
12. Mulyavko V.I., Zhovtukha G.A. *Trudy Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye voprosy okhrany okruzhayushchey sredy ot antropogennogo vozdeystviya* (Proceedings of All-Union Scientific-Technical Conference on Urgent Issues of Protection of the Environment from Anthropogenic Impact), Sevastopol, 1990.
13. Byzov V.F., Zhovtukha G.A., Mulyavko V.I. *Raschet effektivnosti tsyklona, v kotorom, pomimo sil inertsii, deystvuyut drugie sily* (Calculating efficiency of a cyclone with inertial and other forces), Krivoy rog, Krivorozhskiy tekhnicheskij universitet, 1989, 9 p. деп. В Укр НИИНТИ, no 1294-Ук. 89.
14. Gurin A.O., Mulyavko V.I., Lyashenko V.I. *Ekologiya i promyshlennost'*. 2013, no 2, pp. 50–56.
15. Gurin A.A., Mulyavko V.I., Lyashenko V.I. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2013, no 9, pp. 54–59.
16. Gurin A.A., Mulyavko V.I., Lyashenko V.I. *Tezisy dokladov XII mezhdunarodnoy konferentsii «Resursosoproizvodnyashchie, malootkhodnye i prirodookhrannye tekhnologii osvoeniya nedr»* (Zandzhan, Iran, 16–22 sentyabrya 2013 g.). T. 1 (Proceedings of XII International Conference on Resource-Reproducing, Low-Waste and Ecology-Friendly Technologies of Subsoil Development: Head-Notes (Zanjan, Iran, 16–22 September 2013), vol. 1), Moscow, RUDN, 2013, pp. 210.
17. Mulyavko V.I., Oleynik T.A., Lyashenko V.I. *Obogashchenie rud*. 2014, no 2, pp. 43–49.




---

**ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ  
ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ  
(СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)**

**ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ КОТЛОАДЗОРА  
И ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Дерунов Алексей Николаевич* – генеральный директор, ООО «Аттестация»,  
*Данилов Валерий Николаевич* – технический директор, ООО «Аттестация»,  
*Муравская Ирина Ивановна* – ведущий специалист, ООО «Аттестация»,  
*Ларочкина Наталия Михайловна* – директор, ООО «Эксперт»,

Рассмотрены вопросы безопасности при эксплуатации подъемных сооружений и оборудования, работающего под избыточным давлением. Представлен анализ травматизма и аварийности за период 2010–2014 гг. Рассмотрены основные причины – технические и организационные. Так же представлены категории персонала, получившие травмы в рассматриваемый период с 2010 по 2014 гг. Выявлены основные причины нарушений требований промышленной безопасности персоналом – отсутствие производственного контроля и низкая квалификация персонала. Приведены способы минимизации рисков, связанных с человеческим фактором, и техникой.

*Ключевые слова:* подъемные сооружения и оборудование, безопасность эксплуатации, котлы.

**THE SECURITY ISSUES OF PRESSURE VESSELS AND  
OF EXPLOITATION OF LIFTING STRUCTURES**

*Derunov A.N.*<sup>1</sup>, General Director, *Danilov V.N.*<sup>1</sup>, Technical Director,  
*Muravskaya I.I.*<sup>1</sup>, Leading Expert,  
*Larochkina N.M.*, Director, LLC «Expert», Neryungri, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,  
<sup>1</sup> LLC «Certification», Moscow, Russia.

*The questions of safety when operating lifting equipment and equipment operating under excess pressure. Presents an analysis of injuries and accidents for the PE-riod 2010–2014. Main causes – technical and or-ganizational. It is also presented the categories of personnel who were injured in the period from 2010 to 2014. Identified the main causes of violations of industrial safety requirements of perstaff – lack of production control and personnel. There are ways to minimize the risks associated with human factors, and technology.*

*Key words:* lifting facilities and equipment, safety, and boilers.