

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЬ

Парсентьев О.С., аспирант; Безкоровайный В.С., доц., к.т.н.;

Яковенко В.В., проф., д.т.н., проф.

(ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени В. Даля», г. Луганск, ЛНР)

В настоящее время, подвесные железотделители являются важной составляющей технологического оборудования различных производств промышленности (пищевой, стекольной, керамической, металлургической, горной, угольной и др.), используются при извлечении сильномагнитных (магнетит, маггемит, титаномагнетит, пирротин, мартрит) и слабомагнитных (гематит, лимонит, сидерит, ильменит, манганит, пиролюзит, вольфрамит, доломит) ферромагнитных тел (ФТ) и сростков из сыпучих, жидких и газообразных сред, регенерации формовочной земли, подъеме и дальнейшей транспортировке плоских и круглых грузов из ферромагнитных материалов, сортировке и переработке шин, стеклобоя и других отходов и рассматриваются как специфический тип магнитных технических устройств, коммутирующих механическую нагрузку путем преобразования энергии магнитного поля в энергию перемещения магнитных частиц [1, 2].

Различные по конструкции, габаритам и производителям подвесные железотделители можно разбить на три группы по индукции магнитного поля, которую они создают в рабочей зоне извлечения ФТ: стандартные (индукция менее 0,2 Тл), средние (менее 0,8 Тл), высокоинтенсивные, где индукция магнитного поля достигает 2,0 Тл.

Среди подвесных железотделителей наиболее часто встречаются железотделители с П- и Ш-образными электромагнитными системами [3, 4] в которых диапазон глубины извлечения ФТ находится в пределах 0,15–0,65 м, при скорости движения конвейера до 1,6–2,5 м/с. При скорости движения конвейера 2,5–4,0 м/с применяются саморазгружающиеся железотделители, в которых диапазон глубины извлечения ФТ находится в пределах 0,15–0,6 м. В данных железотделителях высокоградиентное магнитное поле интенсивностью до 0,2–0,8 Тл в зоне извлечения создается преимущественно за счет конструктивных особенностей магнитной системы и поддерживается за счет питания катушек от источника постоянного тока.

Железотделители с Ш-образными электромагнитными системами являются энергоемкими, так как для возбуждения магнитной системы интенсивностью 0,07 Тл на глубине извлечения 0,55 м затрачивается до 30 кВт мощности [3]. Массогабаритные показатели самого железотделителя возрастают до 8,5 тонн.

Подвесные электромагнитные железотделители не содержат устройства для извлечения ФТ. Поэтому разгрузка осуществляется по мере накопления ФТ путем вывода последнего из зоны разгрузки ленточного конвейера и отключения питания железотделителя.

Поэтому, все большее применение в качестве железотделителей находят магнитные плиты [5], имеющие высокие в сравнении с электромагнитными железотделителями показатели удельной магнитной энергии $(B \cdot H/2) = 300 - 320 \text{ кДж/м}^3$ за счет применения дорогостоящих постоянных магнитов, выполненных на Nd-Fe-B (Неодим-Железо-Бор), Fe-Sr (Железо-Стронций), SmCo (Самарий-Кобальт) и ферритовой основе, обладающие большой извлекающей способностью (до 0,4–0,45 м), как в середине конвейерной ленты, так и по ее краям на протяжении гарантированного срока эксплуатации.

Однако приобретение магнитные плит на основе редкоземельных материалов так и железотделителей с Ш-образными электромагнитными системами для работы на глубине извлечения 0,45–0,65 м связано с высокой закупочной ценой и затратами на магнитную сепарацию.

Причем для угольных конвейеров, где высота контролируемой среды достигает 0,45-0,55 м метод, постоянно включенного железоотделителя, становится малоэффективным.

Применение металлодетектора, в качестве информационной системы железоотделителя позволяющей включаться последнему при появлении ФТ в потоке сыпучей смеси, в том числе введение прерывистого режима работы позволяет сократить массогабаритные показатели на 5-8%.

Поэтому кардинальным решением проблемы связанной с уменьшением металлоемкости и затрат на магнитную сепарацию является изменение его конструкции.

В настоящей работе предлагается новый принцип построения железоотделителя, заключающийся в следующем:

- железоотделитель выполнен секционированным по ширине конвейера;
- катушки железоотделителя не содержат ферромагнитные сердечники;
- катушки питаются импульсным током;
- имеются датчики позволяющие выявить наличие ФТ в угольном потоке и дают сигнал на подачу импульса тока в обмотки катушек, причем непосредственной в ту секцию, где обнаружено ферромагнитное включение;
- в паузах между импульсами катушки железоотделителя служат электромагнитными датчиками.

Упрощенная схема конструкции двухсекционного железоотделителя показана на рис. 1. Над лентой конвейера 1 установлено две секции катушек 2, в объеме которых расположены блоки постоянных магнитов (ПМ) 3. В катушки железоотделителя постоянно подается ток 0,01 А частотой 6 кГц, и они работают как датчики наличия ферромагнитных деталей в потоке угля. При вхождении детали 5 в зону датчиков последние формируют сигнал той секции, под которой находится деталь. Сигнал с датчика подается на импульсный емкостной накопитель, который подает импульс тока величиной 7 кА в обмотку катушки той секции, под которой находится деталь. Длительность импульса составляет 0,4-0,8 с. Под действием пондеромоторной силы ($F = 2,79 \cdot 10^{11} - 1,16 \cdot 10^{12} A^3/m^2$), созданной импульсом тока, ФТ вырывается из потока угля и попадает в зону действия постоянных магнитов, которые удерживаются на ленте разгрузочного транспортера 6 силами ближнего действия. Транспортер выносит ФТ из рабочей зоны железоотделителя.

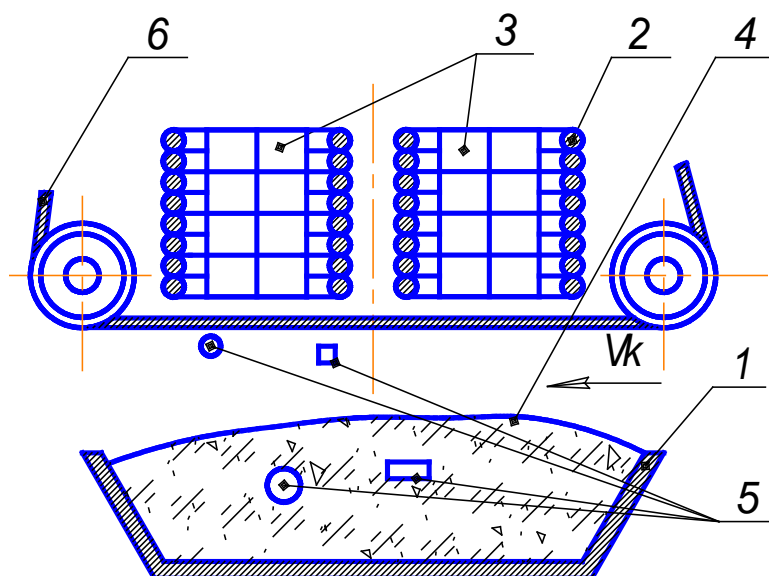


Рисунок 1 – Схема комбинированного железоотделителя для угольного потока: 1 – лента конвейера; 2 – катушка секции железоотделителя; 3 – блоки ПМ; 4 – уголь; 5 – ферромагнитная деталь; 6 – транспортер

Нормальную работу железоотделителя обеспечивает точный расчет всех его основных элементов: катушек, блока ПМ, формирователя импульса тока.

Блок-схема управления железододелителя показана на рис. 2. В обмотку катушки 1 с генератора 5 подается синусоидальный ток 0,01 А частотой 6 кГц. Выходной сигнал с катушки поступает на устройство обработки выходного сигнала датчика 2. Схема анализа сигнала 3 определяет секцию, в которой сигнал имеет максимальное значение, и после этого информация о наличии в потоке угля ФТ подается в блок управления 4. Назначение блока управления сформировать управляющие сигналы на генерирование импульса тока генератором 7 и на схему управления транспортером 6. После удаления ФТ из зоны действия железододелителя транспортер выключается.

Размеры катушек секций выбираются таким образом, чтобы при заданном расстоянии до извлекаемой детали у напряженность поля была максимальной. Этому условию соответствует сторона катушки, равная $a = 1,15y$. Поскольку по всей толщине слоя угля следует сохранить постоянную пондеромоторную силу, то величина напряженности магнитного поля должна быть равной $H(y) = \sqrt{2 \cdot f \cdot y}$, где $f = HgradH$ – величина удельной пондеромоторной силы.

Путем подбора витков катушки в рабочем объеме железододелителя синтезируется необходимое магнитное поле. Значение напряженности магнитного поля в рабочем объеме железододелителя принимает значения $(0,8 - 1,0) \cdot 10^5$ А/м.

Блок постоянных магнитов каждой секции набирается из ферритбариевых магнитов прямоугольной формы. При расчете пондеромоторной силы, создаваемой блоками магнитов, полагается, что намагниченность в каждом блоке постоянна и магнитное поле блоков аппроксимируется полем двух плоскостей, на которых равномерно распределен простой слой магнитных зарядов.

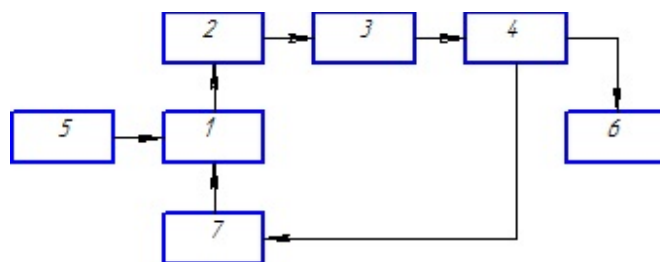


Рисунок 2 - Блок-схема автоматического управления железододелителем:
 1 – катушка секции; 2 – устройство обработки выходного сигнала датчика;
 3 - анализатор сигнала; 4 - схема управления; 5 – генератор датчика;
 6 – блок включения транспортера; 7 – формирователь импульса тока

Скалярный магнитный потенциал в i -ой точке рабочей области железододелителя, создаваемый прямоугольной площадкой с простым слоем магнитных зарядов, равен [5]:

$$\varphi_i = \frac{I}{4\pi s_i} \int M_{\Pi} \frac{I}{(\bar{r}_i - \bar{r}_j)} dS_j,$$

где j, i – точки источника и наблюдения; \bar{r}_j, \bar{r}_i – радиус-векторы точек источника и наблюдения, M_{Π} – плотность простого слоя магнитных зарядов.

Согласно [5] напряженность магнитного поля, создаваемого простым слоем заряда, равна:

$$\begin{aligned} \bar{H} = -grad\varphi = -\bar{I}_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \bar{I}_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\bar{I}_x \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{-\Delta x}^{\Delta x} \int_{-\Delta y}^{\Delta y} \frac{M_{\Pi} dx_j dx_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + z_i^2}} - \\ - \bar{I}_y \frac{\partial}{\partial y_i} \int_{-\Delta x}^{\Delta x} \int_{-\Delta y}^{\Delta y} \frac{M_{\Pi} dx_j dx_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + z_i^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

Интегралы в формуле (1) берутся в аналитическом виде [5]. Далее определяется величина удельной пондеромоторной силы:

$$f = H \operatorname{grad} \bar{H} = \bar{I}_x \frac{\pm M_{II}^2}{4\pi} \psi_x + \bar{I}_y \frac{\pm M_{II}^2}{4\pi} \psi_y + \bar{I}_z \frac{\pm M_{II}^2}{4\pi} \psi_z,$$

где ψ_x, ψ_y, ψ_z – функции координат. Их аналитические выражения приведены в [2].

Как показывают численные расчеты при $M_{II} = 2,8 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ и $\alpha = 0,52 \text{ м}$, среднее значение модуля пондеромоторной силы на расстоянии $y = 0,05 \text{ м}$ от нижней плоскости железоотделителя равно $F_{cp} = 4,7 \cdot 10^{10} \text{ А}^2/\text{м}^3$. При проницаемости формы детали $\chi = 3$ минимальное значение пондеромоторной силы должно быть равно:

$$F_{\min} = \frac{\rho q}{\mu_0 \chi} = 2 \cdot 10^{10} \frac{\text{А}^2}{\text{м}^3},$$

где $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность железа; $q = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

Так как $F_{cp} \geq F_{\min}$, то ферромагнитное тело будет удерживаться на поверхности ленты разгрузочного транспортера.

Таким образом, импульсный железоотделитель при правильном выборе параметров работоспособен, что подтвердили натурные испытания макета железоотделителя.

Выводы.

1. Существующие конструкции электромагнитных железоотделителей имеют ферромагнитный сердечник, что не позволяет радикально уменьшить металлоемкость электрического аппарата.

2. Возможность значительно уменьшить (на 40-50%) металлоемкость железоотделителей заключается в переходе на импульсный режим с использованием блоков постоянных магнитов для удерживания ФТ у поверхности ленты транспортера, удаляющего деталь из рабочей зоны железоотделителя.

3. Импульсный режим работы железоотделителя может быть реализован только в автоматическом режиме работы, для чего обмотка железоотделителя используется одновременно как датчик обнаружения ФТ в потоке угля на конвейере.

Перечень ссылок

1. Загирняк, М. В. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: Монография / М. В. Загирняк, Ю. А. Бранспиз, И. А. Шведчикова ; под общей ред. М. В. Загирняка. – Киев : Техніка, 2011. – 224 с.

2. Таев, И. С. Электрические аппараты. Общая теория / И. С. Таев. – Москва : Энергия, 1977. – 272 с.

3. Крановое оборудование ВиКрон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vikron.ru>. – Загл. с экрана.

4. Магнитные сепараторы [Электронный ресурс] // НПО «ЭРГА» : сайт. – Калуга, 2017. – Режим доступа : <http://www.ergaru/products/magneticseparators/smpr/?yclid=1798805864253490058>. – Загл. с экрана.

5. Букреев, В. В. Железоотделитель с комбинированной магнитной системой / В. В. Букреев // Научно-прикладной журнал Техническая электродинамика. – Киев: Институт Электродинамики НАН Украины, 2004. – Ч. 6. – С. 107-110.