

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЛЕНТОЧНЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ

В статье приводятся теоретические и практические аспекты совершенствования конструкций существующих подсистем сепарации с использованием результатов исторических и патентно-информационных исследований, используемых для обнаружения и извлечения ферромагнитных тел в потоке многокомпонентной немагнитной кусковой, зернистой, тонкоизмельченной и сыпучей сред.

Предлагается новый энергосберегающий технологический подход с эффектом синхронного улучшения показателей производительности транспортно-технологической системы и снижения стоимостных и энергетических затрат при ее работе, в частности в подсистеме сепарации материалопотока.

Предложена подсистема сепарации-обнаружения металлофрагментов в немагнитной сыпучей среде, для разработки устройств сигнализации и управления током в извлекающих обмотках.

Для повышения извлекающей способности при очистке немагнитных сыпучих сред предлагается конструкция комбинированного железоотделителя. Проведено математическое моделирование работы электромагнитной системы комбинированного железоотделителя транспортной системы, на основе которого предложена математическая модель магнитного поля в его рабочей области, позволяющая определить извлекающую силу от обмоток и с током. Произведена экспериментальная проверка результатов теоретических исследований импульсного магнитного извлечения ферромагнитных тел из сыпучей среды.

Ключевые слова: комбинированный железоотделитель, ферромодуляционные датчики, пондеромоторная сила, намагничивающая сила, импульс тока, ферромагнитное тело, обмотка, постоянные магниты.

Введение. Федеральным законом [1] предусмотрено содействие энергетической эффективности, разработка и использование технологий, которые имеют высокую энергетическую эффективность в сфере энергосбережения.

Подвесные электромагнитные железоотделители нашли широкое применение в агропромышленном комплексе, пищевой, горнодобывающей, энергетической, металлургической, электронной и других отраслях промышленности, где они применяются для защиты технологического оборудования от попадания в него вместе с обрабатываемым зернистым, кусковым, тонкоизмельченным и сыпучим материалом (углем, гравием, шлаком, песком, шихтой и т.д.) металломагнитных включений [2–14].

Выпускаемые в настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью стационарные железоотделители [5–11] представляют собой электромагниты постоянного тока с П-, С- или Ш-образным сердечником, имеют большую металлоемкость (до 16 т) и трудоёмкость при монтаже, низкий уровень энергосбережения, так как работают в продолжительном режиме и потребляют большое количество электроэнергии из питающей электрической сети до 30 кВтч. Эксплуатация с целью ресурсосбережения и снижения металлоемкости магнитных систем с постоянными магнитами (ПМ) на основе *Nd-Fe-B* и *Sm-Co* нецелесообразна вследствие большого объема магнитов и их высокой закупочной стоимости, или невозможна, так как ПМ

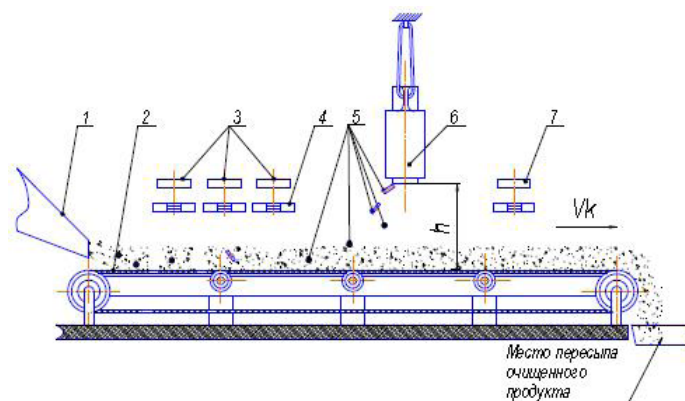


Рис. 1. Схема транспортной системы с обнаружением и извлечением металлофрагментов на ленточном конвейере:

1 — механизм загрузки сыпучей смеси; 2 — конвейер; 3 — ПМ;
4 — ФМД; 5 — ФТ; 6 — КЖ; 7 — датчик контроля неизвлеченных ФТ
Источник: Парсентьев О. С. Энергосберегающая магнитная сепарация // World Science: Problems and Innovations: сб. тр. конф. 2020. С. 38–48

на основе *Fe-Ba* не могут обеспечить необходимую для извлечения ферромагнитных тел (ФТ) извлекающую силу из-за резкого падения интенсивности магнитного поля в рабочей области с увеличением расстояния от поверхности полюсов магнита [6, 10].

Анализ патентной информации [4, 12, 13] показывает, что массу подвесных железоотделителей удастся снизить до 20 %, а подъемные силы электромагнита увеличить на 15–20 % за счет применения специальной формы полюсных наконечников. Однако из-за потерь энергии магнитного поля в паразитных зазорах и высокой температуры обмоток данный класс подвесных железоотделителей является экономически невыгодным, отличается низкой энергоэффективностью, так как требует повышенных требований к тепловому режиму, за счет чего уменьшается плотность тока в обмотках и подъемная электромагнитная сила, что делает невозможным извлечение ФТ с удельной магнитной восприимчивостью вещества $\chi \leq 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ [14].

Учитывая перечисленные недостатки, на предприятиях, где эксплуатируются железоотделители данного класса, приемлемая степень очистки материалопотока от ФТ достигается за счет уменьшения высоты подвеса железоотделителя над материалопотоком, снижения скорости движения ленты конвейера до 1,6–2,0 м/с.

В свою очередь, это приводит к снижению производительности и ресурса конвейера и увеличению непроизводительного расхода электроэнергии. Известные методы извлечения непригодны, так как ФТ в потоке сыпучей смеси появляются редко. Требования к обеспечению качества очистки постоянно растут. Так, указанные отрасли промышленности требуют систем, способных обнаруживать и извлекать ФТ массой до 5 кг на расстоянии 0,05–0,1 м в немагнитных, зернистых, кусковатых и тонкоизмельченных средах.

Согласно ГОСТ 34566-2019, содержание ФТ в комбикорме размером до 2 мм не должно превышать 20 мг/кг, а наличие частиц размером свыше 2 мм и острыми краями не допускается. Кроме этого, низкое качество очистки многокомпонентных сред от металломагнитных включений может приводить в ленточных конвейерах к загрязнению ленты и ее ускоренному износу, к пробуксовке ленты на барабанах, боковому сходу ленты за пределы краев барабанов и роликов опор [15].

Учитывая значительную потребность предприятий народного хозяйства в системах обнаружения и извлечения ФТ в перемещаемых потоках, научные разработки и экспериментальные исследования, направленные на совершенствование таких систем и их подсистем, являются актуальной научно-технической задачей.

Цель исследования заключается в разработке энергосберегающего технологического подхода — системы дискретного обнаружения и извлечения ФТ, массой до 30 кг, производительностью до 70 т/ч, с интенсивностью потока металлочастиц в рабочей зоне сепаратора не более 1000 штук/час, вероятность появления которых на входе в подсистему сепарации, при аналоговом транспортировании, описывается законом редких событий с распределением Пуассона.

Постановка задачи. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Предложить и обосновать структуру энергосберегающей системы сепарации и обнаружения ФТ в сухих зернистых, кусковатых, тонкоизмельченных и сыпучих потоках, для разработки устройств сигнализации и управления током в извлекающих обмотках.

2. Провести математическое моделирование работы электромагнитной системы комбинированного железоотделителя.

3. Обосновать методику расчета подъемной извлекающей ФТ силы из потока сухих многокомпонентных потоков в рабочей области комбинированного железоотделителя КЖ.

4. Осуществить экспериментальную проверку результатов теоретических исследований импульсного магнитного извлечения ФТ из потока немагнитной сыпучей среды.

Основная часть. В работе предлагается энергосберегающая концепция импульсного магнитного извлечения ФТ из потока многокомпонентного материала в системе непрерывного транспорта, при обнаружении ФТ ферромодуляционными датчиками (ФМД) в условиях, когда вероятность их появления на входе в рабочую зону КЖ описывается законом редких событий с распределением Пуассона, позволяющая с высокой степенью вероятности обнаруживать и извлекать ФТ в потоке немагнитных зернистых, кусковатых, тонкоизмельченных и сыпучих материалов (рис. 1) [16].

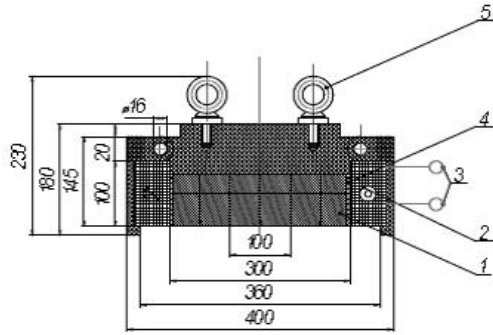


Рис. 2. Конструкция КЖ блочного типа для установки над лентой конвейера шириной 400 мм: 1 — блоки ПМ; 2 — обмотка; 3 — выводы обмотки; 4 — рейки деревянные, фиксирующие обмотки и магнитные плиты; 5 — рым-болты для подъема КЖ

Система сканирования материалопотока состоит из устройства подмагничивания, представляющего собой ПМ и ФМД, расположенные после погрузчика, по ходу движения конвейера. Это дает возможность максимально приблизить датчики к сканируемой поверхности сыпучей смеси. Выходные сигналы датчиков после преобразования в цифровую форму подаются в блок управления КЖ, который создает в рабочей области импульсы намагничивающей силы, заданной амплитуды и длительности для извлечения ФТ. После того как извлеченные ФТ под действием подъемных электромагнитных сил притянулись к поверхности полюсов КЖ, управляющие импульсы снимаются с обмоток и металломагнитные включения удерживаются на поверхности полюсов полем пондеромоторных сил, развиваемых ПМ до момента разгрузки. Конструкция комбинированного железоотделителя (рис. 2) состоит из блоков ПМ на основе $Fe-Ba$ или $Fe-Sr$, размещенных в обмотке прямоугольного сечения. Количество блоков КЖ определяется шириной ленты конвейера, имеет высокую энергоэффективность, гораздо меньшую металлоемкость, энергопотребление и быстрое действие, так как не имеет ферромагнитного сердечника.

Математическая модель. Расчет извлекающей силы, создаваемой одним индуктором КЖ, производится путем синтеза поля в рабочей области слоя материалопотока, находящегося под КЖ. Задача синтеза формулируется так: в рабочей зоне необходимо создать напряженность и градиент модуля напряженности магнитного поля такие, чтобы величина удельной пондеромоторной силы была достаточна для извлечения ФТ из потока многокомпонентной сыпучей смеси, т. е. выполнялось условие: $|HgradH| \geq 16 \cdot 10^{11} \text{ A}^2/\text{м}^3$. Такая величина удельной подъемной силы в рабочей области КЖ может быть получена импульсом тока $i = 2000 - 8000 \text{ A}$. Выполнить это условие можно путем нахождения намагничивающей силы обмотки, которая создает требуемое значение напряженности магнитного поля. Длительность импульса намагничивающей силы выбиралась исходя из условия времени перемещения ФТ из потока смеси в область действия магнитного поля КЖ и составляет 0,4 с. При расчетах делается допущение о том, что масса большинства ФТ не превышает примерно 1,5–2,0 кг, поэтому пренебрегаем их искажающим влиянием на поле, созданное обмоткой КЖ; индуктивность обмотки КЖ линейна; плотность тока распределяется одинаково по всем слоям обмотки.

Пиковое значение намагничивающей силы индуктора (A) определяется по формуле [17]:

$$F_{\text{нам}} = U \cdot w \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad (1)$$

где U — напряжение, подводимое к индуктору, В;
 L — индуктивность обмотки, Гн;
 C — емкость импульсного конденсатора, Ф;
 λ — коэффициент затухания, значение которого зависит от параметров R, L, C — цепи;
 w — число витков в обмотке.

Для выполнения этого условия произведены расчеты электромагнитных и геометрических параметров индуктора КЖ с числом витков 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180 и 200 при постоянной температуре обмоток 75°C , неизменной емкости импульсных конденсаторов 0,06 Ф и напряжении источника питания 500 В. К намотке на ребро принимались провода марки ПБ, число параллельных проводов в обмотке равно $n_p = 8$ [18]. Сечение витка обмотки будет изменяться от $132,8 \cdot 10^{-6}$ до $220 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Высота рассчитываемых обмоток будет изменяться l от 0,094 до 0,130 м, индуктивности обмоток L будут изменяться от $1,71 \cdot 10^{-3}$ до $16,82 \cdot 10^{-3}$ Гн, сопротивление обмоток будет изменяться от 0,120 до 0,128 Ом. Намагничивающие силы, развиваемые полем индуктора и рассчитанные по формуле (1), примут аperiодический характер. Проведенный анализ амплитуд намагничивающих сил от изменения высоты обмоток при постоянном напряжении источника питания $U = \text{const} = 500 \text{ В}$ позволяет сделать заключение о том, что увеличении числа витков обмотки до 60 витков и высоты обмотки l до 0,1 м ее намагничивающая сила достигнет максимума. Дальнейшее увеличение высоты обмотки не приведет к возрастанию намагничивающей силы, а только к увеличению числа витков и закупочной стоимости. Геометрические размеры индуктора зависят от выбранной глубины извлечения. Изменением амплитуды импульса намагничивающей силы индуктора можно регулировать скорость извлечения ФТ из потока немагнитного сыпучего вещества.

Напряженность поля, создаваемая индуктором в рабочей области КЖ, определяется из закона Био – Савара – Лапласа. Напряженность магнитного поля, создаваемого элементом тока $\tau_j \vec{1}_j$, определялась по [16]:

$$d\vec{H}_i = \frac{\tau_j \vec{1}_j \times \vec{r}_{ij}}{r_{ij}^3} \cdot dS_j, \quad (2)$$

где \vec{r}_{ij} — вектор из точки наблюдения i в точку j поверхности с током;

τ — поверхностная плотность тока слоя обмотки, А/м.

Суммарная величина пондеромоторной силы (H), создаваемая индуктором такого КЖ, определялась как [16]:

$$F_{\text{пос}} = \vec{1}_z \sum_{k=1}^w \frac{\mu_0 \cdot \lambda \cdot m}{\rho} \times \left(H_x \frac{\partial H_x}{\partial z} + H_y \frac{\partial H_y}{\partial z} + H_z \frac{\partial H_z}{\partial z} \right) \quad (3)$$

где H_x, H_y, H_z — напряженности магнитного поля в рабочей области, по осям $Ox; Oy; Oz$, А/м;

λ — объемная магнитная восприимчивость ФТ, о.е.;

ρ — плотность ФТ, кг/м³;

m — масса ФТ, кг.

Сила сопротивления движению ФТ в вертикальном направлении (Н), определялась по [16]:

$$F_C = \frac{\pi}{12} \cdot \rho_b \cdot d_{cf}^2 \cdot V_k^2 + m \left(\frac{\gamma \cdot d \cdot V_k}{L} + g + g\mu \right), \quad (4)$$

где ρ_b — плотность среды (воздуха), кг/м³. $\rho_b = 1,23$ кг/м³ [16];

V_k — скорость движения конвейера, м/с;

d_{cf} — диаметр ФТ, м;

d — толщина немагнитной сыпучей смеси на конвейере, м;

g — ускорение свободного падения, м/с² [19];

L — длина области действия железотделителя, м. $L=0,5$ м по [16];

μ — коэффициент трения, определяемый по [19], о.е. $\mu=0,5$.

γ — коэффициент внутреннего трения, определяемый по [20], о.е. $\gamma=70,6$.

В качества исследуемого металломагнитного включения принималась стальная сфера диаметром $d_{cf}=0,073$ м, выполненная из Ст 45 ($\chi=3$; $\rho=7450$ кг/м³; $m=1,52$ кг), которая удалена от поверхности полюсов на глубину до $h=0,3$ м. Сила сопротивления движению металлофрагмента в вертикальном направлении, рассчитанная по формуле (4), при скорости движения ленты конвейера $V_k=1,6$ м/с и толщине слоя угля класса АО на ленте $d=0,20$ м составляет $F_C=90,8$ Н. Статические $F_{MC}=f(h)$ и динамические характеристики $F_{MA}=f(t)$ КЖ, рассчитанные по формулам (1)–(3), представлены на рис. 3 и 4.

Анализ данных статических и динамических характеристик, представленных на рис. 3 и 4, позволяет сделать заключение о том, что в момент действия импульса пондеромоторной силы, созданного током в обмотке, гарантированное извлечение ФТ сферической формы будет на глубине до 0,10 м, так как силы извлечения превосходят силы сопротивления в указанном диапазоне глубин $F_M > F_C$ в 2,1–7,7 раза. Исследуемое ФТ в указанном диапазоне глубин приобретает необходимую начальную скорость, которая позволяет ему выйти на поверхность сыпучего немагнитного вещества и с нарастающим ускорением устремиться вверх к полюсам железотделителя.

Результаты экспериментов. Экспериментальные исследования одноблочного КЖ проводились на базе предприятия ГУП ЛНР «ГПКИ ОО «Гипромашуглеобогащение» во всем объеме рабочей области КЖ.

Цель экспериментов — измерение пондеромоторной силы, развиваемой в рабочей области, на модели КЖ и ее сравнение с данными, которые получены в процессе теоретических исследований.

Экспериментальная модель — макет КЖ, магнитная система которого собрана из магнитных пластин на основе Fe-Ba марки 29РА240 размером 100×80×40 мм, рассчитанного на ширину ленты конвейера 400 мм [16]. В качестве материала обмотки принят провод марки ПБ — $8 \frac{4,5 \cdot 6,3}{4,95 \cdot 6,75}$, сечение

витка $S_v=220$ мм². Для оценки извлекающей способности КЖ в его обмотку кратковременно подавался импульс тока для формирования импульса намагничивающей силы амплитудой $I_w=235$ кА. Извлекаемое ФТ — сфера диаметром $d_{cf}=0,073$ м, массой $m=1,52$ кг, выполненная из стали марки 45 погружалась в немагнитную сыпучую сухую сре-

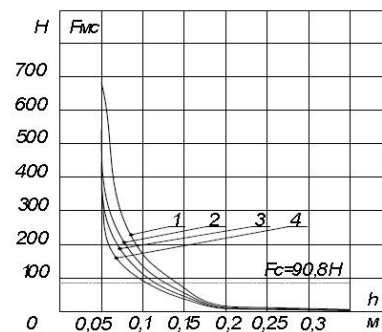


Рис. 3. Зависимости изменения пондеромоторных сил $F_{MC}=f(h)$ от глубины рабочей области, построенные в моменты времени действия импульса намагничивающей силы: 1. $t_{max}=0,064$ с; 2. $t_1=0,2$ с; 3. $t_2=0,3$ с; 4. $t_3=0,4$ с

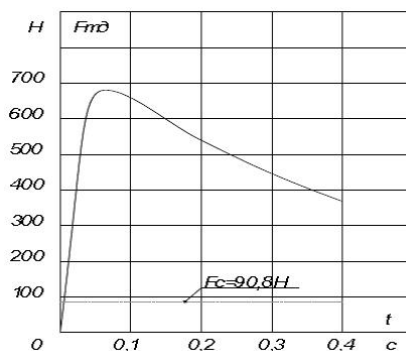


Рис. 4. Динамическая характеристика изменения пондеромоторной силы во времени $F_{MA}=f(t)$ в рабочей области КЖ

ду — песок на глубину извлечения $h=0,05...0,15$ м от поверхности полюсов КЖ. Проведенные испытания в ГУП ЛНР «ГПКИ ОО «Гипромашуглеобогащение» на макете КЖ показали, что при появлении ФТ на входе в подсистему сепарации, двигающегося со скоростью 1,6–2,5 м/с, работа в импульсном режиме позволяет сократить время извлечения металлофрагмента до 0,9 с, зону срабатывания до 1,44–2,25 м и непроизводительный расход электроэнергии в 4,8–8,3 раза, в сравнении с серийно выпускаемыми моделями подвесных железотделителей серии ДЖШ, которые включаются по сигналу металлодетектора в тот момент времени, когда ФТ находится на расстоянии 12 м от его рабочей зоны [6, 8].

На предприятиях с суточной производительностью сыпучей продукции от 1000 до 10000 т работа одного блока КЖ над плоской лентой конвейера шириной 0,4 м при угле откоса в движении $\varphi=15^\circ$, коэффициенте наполнения $\psi=1$, $C_0=174$ и изменении скорости ленты конвейера V_k от 1,6 до 2,5 м/с позволяет увеличить производительность в 1,56 раза от 45,5 до 70,0 т/ч [16].

В результате обработки экспериментальных данных получены значения пондеромоторных сил в зависимости от глубины извлечения и сопоставлены с теоретическими значениями пондеромоторных сил. Экспериментальные исследования позволили выявить, что макет комбинированного железотделителя, разработанный по предлагаемой методике, извлекает около 95,7–98,0 % ферромагнитных частиц из песка.

Заключение. 1. Предложена и обоснована энергосберегающая структура транспортно-технологической подсистемы сепарации — обнаружения ФТ в немагнитной сыпучей среде. На ее основе разработаны устройства сигнализации и управления током в извлекающих обмотках, а также предложен комбинированный способ извлечения ФТ из потока сыпучего вещества. Реализация предложенного энергосберегающего подхода позволяет снизить скорости движения (1,6–2,5 м/с) ленты конвейера в 4,8–8,3 раза, повысить производительность очистки в 1,25 раза и ее эффективность в 1,2–2,7 раза.

2. Проведено математическое моделирование работы электромагнитной системы КЖ, на основе которого предложена математическая модель магнитного поля в его рабочей области, позволяющая определить извлекающую силу от обмотки с током.

3. Предложен энергосберегающий метод извлечения ФТ из потока транспортируемых сухих многокомпонентных кусковых, тонкоизмельченных, зернистых и сыпучих сред, который заключается в комбинированном воздействии пондеромоторных сил магнитного поля на извлекаемые металломагнитные включения. Для получения наибольшего значения пондеромоторных сил в рабочей области КЖ направление вектора намагниченности в ПМ должно совпадать с направлением силовых линий магнитного поля обмоток с током. Данный метод позволяет выполнить расчет геометрических и электромагнитных параметров КЖ с целью энергосбережения, минимизации производственных и эксплуатационных затрат.

4. В настоящей работе предлагается решение задачи энергосбережения основных технологических процессов производства, поставленной в [1].

Любые производимые изменения в технике, технологиях или управление должны учитывать и корпоративную социальную ответственность [21].

Библиографический список

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 23.11.2009 года № 261-ФЗ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1511> (дата обращения: 02.06.2023).
2. Пелевин А. Е. Магнитные и электрические методы обогащения. Магнитные методы обогащения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 296 с. ISBN 978-5-8019-0435-1.
3. Загирияк М. В., Бранспиз Ю. А., Шведчикова И. А. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: моногр. / под общей ред. М. В. Загирияка. Киев: Техніка, 2011. 224 с. ISBN 978-966-575-194-6.
4. Парсентьев О. С. Обзор существующих железотделителей и анализ магнитного поля в рабочей области комбинированного железотделителя: моногр. Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. 152 с.
5. Musaev T., Khabibullin M., Fedorov O. Developing a Method Providing for the Accurate Assessment of Actual 6 (10) kV Transformer Load Using Data from Smart Electric Energy Metering Systems // Conference: 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2022. P. 7–11. DOI: 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787155. EDN: MGFBJC.
6. Железотделители (Магнитные сепараторы). URL: <https://dimalmag.ru/production/separators/> (дата обращения: 05.06.2023).
7. Постоянные магниты. Магнитные системы. URL: <https://technomagproduct.nethouse.ru> (дата обращения: 05.06.2023).

8. Железотделители. Подвесные. URL: <https://vikron.ru> (дата обращения: 15.06.2023).
9. Электромагнитные железотделители. URL: <https://electromagnet.ru> (дата обращения: 21.06.2023).
10. Оборудование вспомогательное. Железотделители. URL: <https://xinhaimining.ru/> (дата обращения: 21.06.2023).
11. Промышленные магниты. Каталог. Плита магнитная с механической очисткой (ПММ). URL: <https://magnetpro.ru> (дата обращения: 25.06.2023).
12. А. с. 944658 А1 СССР, МПК В 03 С 1/04. Подвесной электромагнитный железотделитель / Карташян В. О. № 2991655/22-03; заявл. 08.10.80; опубл. 27.07.82, Бюл. № 27.
13. А. с. 1036386 А СССР, МПК В 03 С 1/08. Подвесной электромагнитный железотделитель / Карташян В. О., Алферов Г. Н., Пожарский В. Д., Кузнецов Н. И. № 3365442/22-03; заявл. 17.12.81; опубл. 23.08.83, Бюл. № 31.
14. Кармазин В. И., Кармазин В. В. Магнитные и электрические методы обогащения. Москва: Недра, 1988. 304 с. ISBN 5-247-00169-9.
15. Бибииков П. Я. Очистка конвейерной ленты. Взгляд на проблему // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 3. С. 300–302. EDN: IFACSTF.
16. Парсентьев О. С. Обеспечение качества очистки немагнитных сыпучих сред в транспортных системах комбинированным железотделителем: дис. ... канд. техн. наук. Луганск. 2021. 206 с.
17. Бочкарев О. В. О намагничивании постоянных магнитов от импульсных конденсаторных установок // Электротехника. 1971. № 6. С. 52–53.
18. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 528 с.
19. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. Москва: Наука, 1988. 256 с.
20. Бранспиз Ю. А. Теория расчета силового воздействия магнитного поля на магнетики. Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. 128 с.
21. Кукукина И. Г., Федоров О. В. Дидактические методы КСО // Инновационные технологии в образовательной деятельности: материалы XXV Междунар. науч.-метод. конф. Нижний Новгород: Изд-во НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2023. С. 247–251. DOI: 10.46960/intech_2022_247. EDN: MBQSSB.

ПАРСЕНТЬЕВ Олег Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
SPIN-код: 7974-9547
AuthorID (РИНЦ): 1216808
ORCID: 0009-0005-1639-0730
Адрес для переписки: parsentevo@mail.ru
МУСАЕВ Тимур Абдулаевич, кандидат технических наук, начальник отдела анализа потерь электрической энергии АО «Сетевая компания», г. Казань.
SPIN-код: 9406-8249
AuthorID (РИНЦ): 1067018
ORCID: 0000-0002-0868-3841
Адрес для переписки: musaevkgeu@rambler.ru

Для цитирования

Парсентьев О. С., Мусаев Т. А. Обеспечение качества очистки многокомпонентных сред, перемещаемых ленточными конвейерами энергосберегающим импульсным магнитным извлечением // Омский научный вестник. 2024. № 1 (189). С. 86–92. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-86-92.

Статья поступила в редакцию 31.08.2023 г.
© О. С. Парсентьев, Т. А. Мусаев

QUALITY ASSURANCE MULTI-COMPONENT ENVIRONMENTS MOVED BELT CONVEYORS ENERGY SAVING PULSED MAGNETIC EXTRACTION

The article presents theoretical and practical aspects of improving the designs of existing separation subsystems using the results of historical and patent information studies used to detect and extract ferromagnetic bodies in a flow of multicomponent non-magnetic lumpy, granular and finely divided and friable media. A new energy-saving technological approach proposed with the effect of synchronously improving the performance of the transport and technological system and reducing the cost and energy costs during its operation, in particular in the material flow separation subsystem.

A subsystem for the separation-detection of metal fragments in a non-magnetic granular medium proposed for the development of signaling and current control devices in extracting windings.

To increase the extraction capacity during the purification of non-magnetic granular media, a design of a combined iron separator proposed. Mathematical modeling of the operation of the electromagnetic system of the combined iron separator of the transport system is carried out, on the basis of which a mathematical model of the magnetic field in its working area is proposed, which makes it possible to determine the extracting force from the windings with and current. An experimental verification of the results of theoretical studies of pulsed magnetic extraction of ferromagnetic bodies from a granular medium is carried out.

Keywords: combined iron separator, ferromodulation sensors, ponderomotive force, magnetizing force, current pulse, ferromagnetic body, winding, permanent magnets.

References

1. Ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii: Feder. zakon ot 23.11.2009 goda № 261-F3 [On Energy Saving and Energy Efficiency and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation: Federal Law of November 23, 2009 No. 261-F3]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1511> (accessed: 02.06.2023). (In Russ.).
2. Pelevin A. E. Magnitnyye i elektricheskiye metody obogashcheniya. Magnitnyye metody obogashcheniya [Magnetic and electrical methods of enrichment. Magnetic enrichment methods]. Yekaterinburg, 2018. 296 p. ISBN 978-5-8019-0435-1. (In Russ.).
3. Zagirnyak M. V., Branspiz Yu. A., Shvedchikova I. A. Magnitnyye separatory. Problemy proyektirovaniya [Magnetic separators. Design problems] / Ed. by M. V. Zagirnyaka. Kiev, 2011. 224 p. ISBN 978-966-575-194-6. (In Russ.).
4. Parsentev O. S. Obzor sushchestvuyushchikh zhelezootdeliteley i analiz magnitnogo polya v rabochey oblasti kombinirovannogo zhelezootdelatelya [Review of existing iron separators and analysis of the magnetic field in the working area of the combined iron separator]. Lugansk, 2019. 152 p. (In Russ.).
5. Musaev T., Khabibullin M., Fedorov O. Developing a Method Providing for the Accurate Assessment of Actual 6 (10) kV Transformer Load Using Data from Smart Electric Energy Metering Systems // Conference: 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2022. P. 7–11. DOI: 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787155. EDN: MGFBJC. (In Engl.).
6. Zhelezootdeliteli (Magnitnyye separatory) [Iron separators (Magnetic separators)]. URL: <https://dimalmag.ru/production/separators/> (accessed: 05.06.2023). (In Russ.).
7. Postoyannyye magnity. Magnitnyye sistemy [Permanent magnets. Magnetic systems]. URL: <https://technomagproduct.nethouse.ru> (accessed: 05.06.2023). (In Russ.).
8. Zhelezootdeliteli. Podvesnyye [Iron separators. Suspended]. URL: <https://vikron.ru> (accessed: 15.06.2023). (In Russ.).
9. Elektromagnitnyye zhelezootdeliteli [Electromagnetic iron separators]. URL: <https://electromagnet.ru> (accessed: 21.06.2023). (In Russ.).

10. Oborudovaniye vspomogatel'noye. Zhelezootdeliteli [Auxiliary equipment. Iron separators]. URL: <https://xinhaimining.ru/> (accessed: 21.06.2023). (In Russ.).
11. Promyshlennyye magnity. Katalog. Plita magnitnaya s mekhanicheskoy ochistkoy (PMM) [Industrial magnets. Catalog. Magnetic plate with mechanical cleaning (MPC)]. URL: <https://www.magnetpro.ru> (accessed: 25.06.2023). (In Russ.).
12. Certificate of Authorship 944658 A1 USSR, IPC B 03 C 1/04. Podvesnoy elektromagnitnyy zhelezootdelitel' [Suspended electromagnetic iron separator] / Kartashyan V. O. No. 2991655/22-03. (In Russ.).
13. Certificate of Authorship 1036386 A USSR, IPC B 03 C 1/08. Podvesnoy elektromagnitnyy zhelezootdelitel' [Suspended electromagnetic iron separator] / Kartashyan V. O., Alferov G. N., Pozharskiy V. D., Kuznetsov N. I. No. 3365442/22-03. (In Russ.).
14. Karmazin V. I., Karmazin V. V. Magnitnyye i elektricheskiye metody obogashcheniya [Magnetic and electrical methods of enrichment]. Moscow, 1988. 304 p. (In Russ.).
15. Bibikov P. Ya. Ochistka konveyernoy lentyy, vzglyad na problemu [Cleaning the conveyor belt, a look at the problem] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2004. No. 3. P. 300–302. EDN: IFACTF. (In Russ.).
16. Parsentev O. S. Obespecheniye kachestva ochistki nemagnitnykh sypuchikh sred v transportnykh sistemakh kombinirovannym zhelezootdelitelem [Ensuring the quality of cleaning of non-magnetic granular media in transport systems with a combined iron separator]. Lugansk, 2021. 206 p. (In Russ.).
17. Bochkarev O. V. O namagnichivanii postoyannykh magnetov ot impul'snykh kondensatornykh ustanovok [On the magnetization of permanent magnets from pulsed capacitor units] // *Elektrotehnika. Electrical Engineering*. 1971. No. 6. P. 52–53. (In Russ.).
18. Tikhomirov P. M. Raschet transformatorov [Calculation of transformers]. Moscow, 1986. 528 p. (In Russ.).
19. Koshkin N. I., Shirkevich M. G. Spravochnik po elementarnoy fizike [Handbook of elementary physics]. Moscow, 1988. 256 p. (In Russ.).
20. Branspiz Yu. A. Teoriya rascheta silovogo vozdeystviya magnitnogo polya na magnetiki [The theory of calculation of the force impact of a magnetic field on magnets]. Lugansk, 1997. 128 p. (In Russ.).
21. Kukukina I. G., Fedorov O. V. Didakticheskiye metody KSO [Didactic methods of CSR] // *Innovatsionnyye tekhnologii v obrazovatel'noy deyatel'nosti. Innovative Technologies in Educational Activities*. Nizhny Novgorod, 2023. P. 247–251. DOI: 10.46960/intech_2022_247. EDN: MBQSSB. (In Russ.).

PARSENTEV Oleg Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Power Engineering Department, Lugansk State University named after Vladimir Dal, Lugansk.

SPIN-code: 7974-9547

AuthorID (RSCI): 1216808

ORCID: 0009-0005-1639-0730

Correspondence address: parsentev@mail.ru

MUSAEV Timur Abdulayevich, Candidate of Technical Sciences, Head of Power Losses Analysis Department, «Grid Company» JSC, Kazan.

SPIN-code: 9406-8249

AuthorID (RSCI): 1067018

ORCID: 0000-0002-0868-3841

Correspondence address: musaevkgeu@rambler.ru

For citations

Parsentev O. S., Musaev T. A. Quality assurance multi-component environments moved belt conveyors energy saving pulsed magnetic extraction // *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 1 (189). P. 86–92. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-86-92.

Received August 31, 2023.

© O. S. Parsentev, T. A. Musaev