

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАЛІЗОВІДІЛЮВАЧА В ЕНЕРГООЩАДНОМУ РЕЖИМІ

Богатирьов Ю. О., Гулевський В. Б.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Проаналізовано вплив зміни режиму роботи електромагнітного залізівідділювача з тривалого на повторно-короткочасний (енергоощадний) на його основні технічні показники.

Постановка проблеми. Електромагнітні залізівідділювачі (ЕМЗ) мають широке застосування в різних галузях промисловості, в тому числі і в сільському господарстві. Вони використовуються для вилучення з потоків сипких матеріалів феромагнітних домішок (ФМД), наявність яких призводить до погіршення якості продукції, виходу з ладу технологічного обладнання і виникнення аварійних ситуацій.

ФМД вельми різноманітні як за геометричними розмірами, формою, так і за кількісним складом. Гранулометрична характеристика ФМД в сипких сільськогосподарських матеріалах показана на рис. 1:

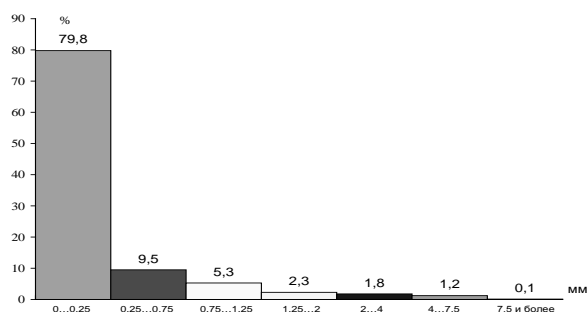


Рисунок 1 – Гранулометрична характеристика ФМД

Умовно за розміром ФМД поділяються на три групи: тонкодисперсні феромагнітні частинки (ТДФЧ) розміром до 100 мкм, феромагнітні частинки (ФМЧ) – від 100 мкм до 2 мм, феромагнітні тіла (ФМТ) від 2мм і більше. Саме потрапляння ФМТ до робочих органів дробарок, подрібнювачів, шелушлильних машин приводить до їх виходу з ладу, простою та дорогому ремонту, тому задачі їх вилучення треба приділяти велику увагу.

Відмітною ознакою ЕМЗ для вилучення ФМТ є їх значні ваго-габаритні параметри, які для найбільш поширеніших підвісних з П-образним магнітопроводом становлять – загальна вага залізівідділювача - до 700 кг, вага обмоточного проводу – до 300 кг, ширина обмотки – до 400 мм, її висота - до 600 мм.

В той же час потрапляння ФМТ в сипкі сільськогосподарські матеріали носить ймовірний та нечастий характер, що дозволяє зробити висновок о нерациональності використання матеріальних та енергетичних ресурсів ЕМЗ і можливості зміни його режиму роботи з тривалого на повторно-короткочасний (енергоощадний), що дозволить суттєво знизити енергоспоживання ЕМЗ, за рахунок зменшення часу роботи, та матеріалоемність обмотки, за рахунок підвищення припустимої сили струму в проводі. Тому є актуальною за-

дача дослідження зміни технічних показників ЕМЗ при його роботі в енергоощадному режимі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі методи та методики розрахунку ЕМЗ та їх складових елементів, в тому числі і тепловий розрахунок обмоток, передбачені для тривалого режиму роботи і не враховують зміни параметрів при роботі в енергоощадному режимі [1-3].

Мета статті. Для дослідження впливу зміни режиму роботи ЕМЗ треба вирішити наступні завдання:

1. Визначити діючу силу струму при повному циклі вилучення в енергоощадному режимі в залежності від характеру зміни струму.

2. Визначити припустиме підвищення сили струму в обмотці ЕМЗ в енергоощадному режимі в порівнянні з тривалим.

Основні матеріали дослідження. У практиці розрахунку підвісних ЕМЗ більшість авторів використовує алгоритм визначення параметрів в наступній послідовності: розрахунок необхідної питомої магнітної сили H_{gradH} потрібної для вилучення ФМТ з заданими властивостями з сипкого матеріалу певної товщини; розрахунок магнітного кола і необхідної м.д.с. обмотки для створення потрібної H_{gradH} в робочій зоні; розрахунок електротехнічних параметрів обмотки виходячи з отриманої м.д.с. Для розрахунку обмотки вихідними величинами є: м.д.с. обмотки, діаметр сердечника магнітопровода, ширина робочої зони магнітопровода. При зміні режиму роботи з тривалого на енергоощадний тепловий режим роботи обмотки змінюється на більш сприятливий, і температура обмотки зменшується, що дає можливість підводити до неї більшу, ніж в тривалому режимі потужність. Для подальшого аналізу використаємо отриманий автором [4] вираз, який поєднує залежність необхідної для вилучення сили струму I від параметрів магнітопроводу, феромагнітного тіла та його відстані до полюсу:

$$I(Y_p) = \sqrt{\frac{\rho \cdot s^3 \cdot g \cdot \psi^3}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot W^2}} \cdot e^{\frac{\pi}{s \cdot \psi} Y_p} = A \cdot e^{\frac{\pi}{s \cdot \psi} Y_p}, \quad (1)$$

де ρ – щільність ФМТ, кг/м³;
 s – міжполюсна відстань магнітопровода, м;
 g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 ψ – коеф. неоднорідності поля в робочій зоні;
 μ_0 – магнітна проникність вакууму, Гн/м;
 χ_T – магнітна сприйливість ФМТ;
 W – кількість витків обмотки;
 Y_p – відстань від полюса до ФМТ, м.

Процес вилучення ФМТ з сипких матеріалів має деякі особливості, так сила струму, потрібна для вилучення ФМТ у декілька разів перевищує силу струму, потрібну для її утримання. Для цього знаходимо співвідношення $I(Y_{рmax})/ I(Y_{р0})$. Верхнє значення $Y_{рmax}$ для ЕМЗ, що вилучають ФМТ з сипких сільськогосподарських матеріалів становить близько 70 мм. Отримані співвідношення сили струму для вилучення ФМТ до сили струму його утримання ЕМЗ з міжполюсною відстанню $s=0,15..0,3$ м на відстані від 0 до 70 мм показані на рис. 2.

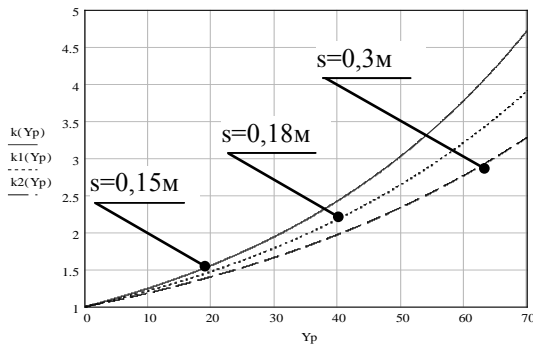


Рисунок 2 – Залежність сили струму в обмотці ЕМЗ в залежності від відстані вилучення ФМТ

Як видно з рис. 2 вже на відстані близько 40 мм співвідношення сили струму необхідної для вилучення ФМТ к силі струму необхідної для його утримання становить близько 2 разів і з подальшим підвищенням відстані вилучення до 70 мм доходить до 3,2...4,7 разів в залежності від міжполюсної відстані. Таким чином якраз використання ЕМЗ в енергоощадному режимі і дає можливість організувати процес вилучення у відповідності до його фізичної природи – в початковий момент часу ФМТ вилучається з магнітною силою необхідною для його гарантованого вилучення; після притягіння до полюсу магнітна сила зменшується в декілька разів, до значення достатнього для утримання ФМТ. У відповідності до алгоритму вилучення та по законам комутації індуктивних кіл, до яких відносяться і обмотка ЕМЗ зміна струму буде відбуватися в послідовності, яка показана на рис. 3: зростання струму до значення при якому починається рух ФМТ, подальше його збільшення до моменту притягіння ФМТ к полюсу, зниження струму до значення достатнього для утримання на протяжності всього етапу видалення ФМТ, відключення обмотки.

Зміна сили струму в обмотці ЕМЗ при його ввімкненні описується виразом:

$$i_3 = i_{e3} \left(1 - e^{-\frac{R_{обм} t}{L_{обм}}} \right) = \frac{U_3}{R_{обм}} \left(1 - e^{-\frac{R_{обм} t}{L_{обм}}} \right), \quad (2)$$

де i_{e3} – встановлене значення струму при його зростанні, А;

$R_{обм}$ – активний опір обмотки ЕМЗ, Ом;

$L_{обм}$ – індуктивність обмотки ЕМЗ, Гн;

t – час, с;

U_3 – напруга, що підводиться до обмотки в момент ввімкнення, В.

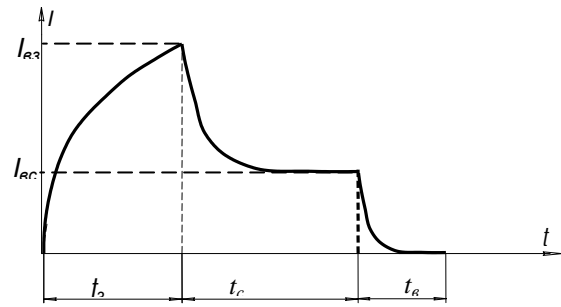


Рисунок 3 – Характер зміни струму в обмотці ЕМЗ в енергоощадному режимі за запропонованим алгоритмом

Час t_{np} зростання струму до значення, при якому починається рух ФМТ, знаходимо з виразу:

$$t_{np} = \frac{L_{обм}}{R_{обм}} \cdot \ln \frac{I_{e3}}{I_{e3} - I_{np}}, \quad (3)$$

де I_{np} – сила струму, при якій починається рух ФМТ, А.

Час t_3 протягом якого струм зростає знаходиться як:

$$t_3 = t_{np} + t_p, \quad (4)$$

де t_p – час вилучення ФМТ, починаючи з моменту початку руху і до моменту притягіння його до полюсу, с.

Зміна струму при зниженні напруги описується виразом:

$$i_c = i_{ec} + \left(i_3(t_3) - i_{ec} \right) \cdot e^{-\frac{R_{обм}(t-t_3)}{L_{обм}}} = \frac{U_c}{R_{обм}} + \left(i_3(t_3) - \frac{U_c}{R_{обм}} \right) \cdot e^{-\frac{R_{обм}(t-t_3)}{L_{обм}}}, \quad (5)$$

де i_{ec} – встановлене значення сили струму при зниженні напруги, А;

U_c – напруга, яка підводиться на етапі утримання ФМТ на поверхні полюсу ЕМЗ, В.

Час t_c визначається часом видалення ФМТ з робочої зони і описується виразом:

$$t_c = \frac{S_{y0}}{v_{y0 mp}}, \quad (6)$$

де S_{y0} – шлях видалення ФМТ з полюсу до приймального бункера, м;

$v_{y0 mp}$ – швидкість транспортера видалення ФМТ, м/с.

Час t_e спаду струму при відключенні обмотки ЕМЗ після вилучення і видалення ФМТ до значення $0,02 i_c$ визначається виразом:

$$t_e = \frac{L_{обм}}{R_{обм} + R_{pp}} \cdot \ln \frac{i_{ec}}{0,02 \cdot i_{ec}} \approx 3,912 \frac{L_{обм}}{R_{обм} + R_{pp}}, \quad (7)$$

де R_{pp} – опір розрядного резистора, на який обмотка ЕМЗ замикається після відключення від джерела живлення.

Діюче значення сили струму, яка діє на протязі процесу вилучення буде дорівнювати:

$$i_0 = \frac{1}{t_3 + t_c + t_6} \left(\int_0^{t_3} i_3 dt + \int_{t_3}^{t_c} i_c dt + \int_{t_c}^{t_6} i_6 dt \right) =$$

$$= \frac{1}{t_3 + t_c + t_6} + \left(\int_0^{t_3} \frac{U_3}{R_{обм}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R_{обм} t}{L_{обм}}} \right) dt + \right.$$

$$\left. + \int_{t_3}^{t_c} \left(\frac{U_c}{R_{обм}} + \left(i_3(t_3) - \frac{U_c}{R_{обм}} \right) \cdot e^{-\frac{R_{обм} t}{L_{обм}}} \right) dt + \int_{t_c}^{t_6} i_{6c} \cdot e^{-\frac{R_{обм} + R_{pp} t}{L_{обм}}} dt \right), \quad (8)$$

Перевищення сили струму в повторно-короткочасному енергоощадному режимі з урахуванням того, що сила струму на протязі всього етапу вилучення постійна, визначається за виразом:

$$k_{оч} = \frac{I_{оч}}{I_{mp}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_3 + t_c + t_6 + t_{паузи}}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_3 + t_c + t_6}{T_H}}}}, \quad (9)$$

де I_{mp} – сила струму, яка проходить через обмотку в тривалому режимі, А;

$t_{паузи}$ – час паузи, на протязі якої струм через обмотку відсутній; визначається частотою потрапляння ФМТ в потік сипкого матеріала, с;

T_H – постійна часу нагріву обмотки, с;

$$T_H = \frac{c \cdot G}{\kappa_T \cdot S_0}, \quad (10)$$

де c – питома теплоємність матеріалу провада, Дж/(кг·°C);

G – вага обмотки, кг;

κ_T – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні обмотки, Вт/(м²·°C);

S_0 – поверхня охолодження обмотки, м².

Враховуючи, що діюче значення сили струму i_0 еквівалентне силі струму в тривалому режимі i_{mp} отримуємо:

$$k_{оч} = \frac{I_{mp} \cdot (t_3 + t_c + t_6) \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_3 + t_c + t_6 + t_{паузи}}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_3 + t_c + t_6}{T_H}}}}}{\int_0^{t_3} i_3 dt + \int_{t_3}^{t_c} i_c dt + \int_{t_c}^{t_6} i_6 dt}, \quad (11)$$

Розрахунки показують, що в інтервалі частоти потрапляння ФМТ від 10 до 40 тл/год, при зниженні напруги живлення в процесі утримання ФМТ на поверхні в 2 рази припустиме підвищення сили струму в енергоощадному режимі лежить в інтервалі 14,5...25,4.

Висновки. Отримана залежність (8) і на її основі (11), для запропонованого алгоритму вилучення, дозволяють визначити припустиме підвищення сили струму в обмотці ЕМЗ в енергоощадному режимі роботи в порівнянні з тривалістю в залежності від часу повного циклу вилучення, та складових, що дозволить суттєво знизити матеріалоемність існуючих ЕМЗ.

Список використаних джерел

1. Загирняк М. В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов : монография / М. В. Загирняк. – К.: ИЗМН, 1996. – 488 с.
2. Усатюк В. М. Исследование и разработка электромагнитных систем подвесных сепараторов для вторичной переработки металлов: дис... канд. техн. наук: 05.09.06 / В. М. Усатюк. – Луганск : [б.в], 1996. – 214 с.
3. Сумцов В. Ф. Электромагнитные железоотделители / В. Ф. Сумцов. - М.: Машиностроение, 1978. - 174 с.
4. Хассай Д. В. Обоснование электротехнологических параметров устройств извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов: Дис. канд. техн. наук: 05.09.16 / Д. В. Хассай. – Мелітополь: [б.в], 2006. – 137 с.

Аннотация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ РЕЖИМЕ

Богатырев Ю. О., Гулевский В. Б.

Проанализировано влияние изменения режима работы электромагнитного железоотделителя с постоянного на повторно-кратковременный (энергосберегающий) на его основные технические показатели.

Abstract

CERTAIN CHANGES OF PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC THE SEPARATORS ENERGOOSCHADNOM MODE

Y. Bogatyrev, V. Gulevski

It has been analyzed the impact of regime change Rabo you electromagnetic iron separator with postyannogo on intermittent (sleep-action) in its basic performance.