

УДК 621.317.441: 681.586.78

РОЗРАХУНОК РОЗПОДІЛУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ІНДУКЦІЙНИХ ПРИБОРІВ ВІЯВЛЕННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ТІЛ

Ю.О. Богатирьов, інженер

В.Б. Гулевський, кандидат технічних наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

В статті розглянуто вплив феромагнітного тіла на загальний розподіл магнітного поля пристрою виявлення індукційного типу, з урахуванням неоднорідності його магнітного поля з подальшим експериментальним підтвердженням отриманих результатів.

Феромагнітне тіло, розподіл, магнітне поле, індукційний пристрій.

Агропромисловим комплексом переробляється велика кількість сипучих сільськогосподарських матеріалів. Одним із показників якості цих матеріалів є нормований зміст феромагнітних домішок, встановлений нормативними документами: для муки і зерна – до 3 мг/кг, для кормів – до 30 мг/кг в продукції [1, 2]; недотримання цих вимог приводить: при потраплянні феромагнітних частинок до зниження якості продукції, більш крупних тіл – до аварійних ситуацій і передчасного виходу з ладу технологічного обладнання.

Існуюче устаткування для вилучення феромагнітних тіл (ФМТ) – залізовідділювачів має велику різноманітність конструкцій, але не задовольняє сучасним вимогам ресурсоенергозбереження [3-5].

Для зниження споживання електроенергії і матеріаломісткості електротехнічних матеріалів потрібне використання індукційних пристроїв виявлення, які дозволять змінити режим роботи залізовідділювача з постійного на «очікуючий».

Мета дослідження – для визначення і обґрунтування параметрів індукційного пристрою нами зроблена спроба визначення взаємодії його неоднорідного магнітного поля і ФМТ з подальшим експериментальним підтвердженням.

Матеріал і методика дослідження. За наявності ФМТ в однорідному магнітному полі ($\text{grad } H_0=0$) воно створює своє (рис.1), яке приводить до появи сумарного, що описується виразом [6]

$$H_R = H_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{4} \frac{(\mu-1) d^3}{(\mu+2) R^3} \right) \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

де H_0 – напруженість однорідного магнітного поля, що створене обмоткою; d – діаметр ФМТ; R – поточна координата між ФМТ та точкою нагляду; α – кут, що визначає місце розташування в просторі; μ – магнітна проникність ФМТ.

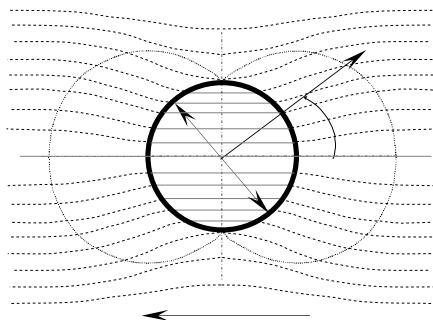


Рис. 1. Взаємодія ФМТ з однорідним магнітним полем

Вираз (1) справедливий при однорідному магнітному полі, проте в пристроях виявлення має місце неоднорідність, що зрештою впливає на сумарне поле.

В практиці розрахунку розподілу магнітного поля уздовж осі обмотки електромагнітних пристроїв авторами використовується відомий вираз:

- в полярних координатах [7]

$$B_x = \frac{2 \cdot \pi \cdot I \cdot W}{c} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta = \frac{2 \cdot \pi \cdot I \cdot W}{c} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2), \quad (2)$$

де I – сила струму в обмотці; W – кількість витків обмотки; θ_1, θ_2 – кути між точкою спостереження та краями обмотки (рис. 2).

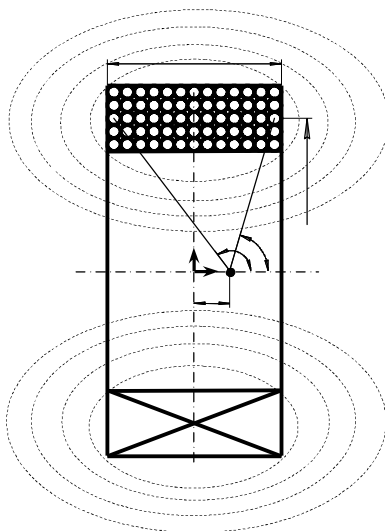


Рис. 2. До розрахунку розподілу магнітного поля пристрою виявлення феромагнітних тіл

-в декартових координатах

$$B_x = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot W}{2 \cdot L} \cdot \left(\frac{\left(\frac{L}{2} + x\right)}{\sqrt{r_{\text{сп}}^2 + \left(\frac{L}{2} + x\right)^2}} + \frac{\left(\frac{L}{2} - x\right)}{\sqrt{r_{\text{сп}}^2 + \left(\frac{L}{2} - x\right)^2}} \right), \quad (3)$$

де L – довжина обмотки; x – відстань від центра обмотки до точки спостереження (рис. 2); r_{cp}^2 – середній радіус обмотки.

Виражаючи (1) через магнітну індукцію з урахуванням, що $B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$ і підставляючи в (3) отримуємо вираз, який описує сумарне магнітне поле на осі обмотки пристрою виявлення з урахуванням його неоднорідності і впливу ФМТ

$$B_x^{ФМТ} = \frac{I_0 \cdot I \cdot W}{2 \cdot L} \cdot \left(\frac{\left(\frac{L}{2} + x\right)}{\sqrt{r_{cp}^2 + \left(\frac{L}{2} + x\right)^2}} + \frac{\left(\frac{L}{2} - x\right)}{\sqrt{r_{cp}^2 + \left(\frac{L}{2} - x\right)^2}} \right) \cdot \left(1 + \frac{1 \cdot (\mu - 1) \cdot d^3}{4 \cdot (\mu + 2) \cdot R^3} \right) \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Отримана залежність дозволяє визначити сумарну магнітну індукцію B_x від параметрів обмотки пристрою виявлення (сила струму I , середній радіус обмотки витків r_{cp}) і параметрів ФМТ (діаметр – d , відстань від тіла до точки спостереження – R). Результати розрахунку показано на рис. 3.

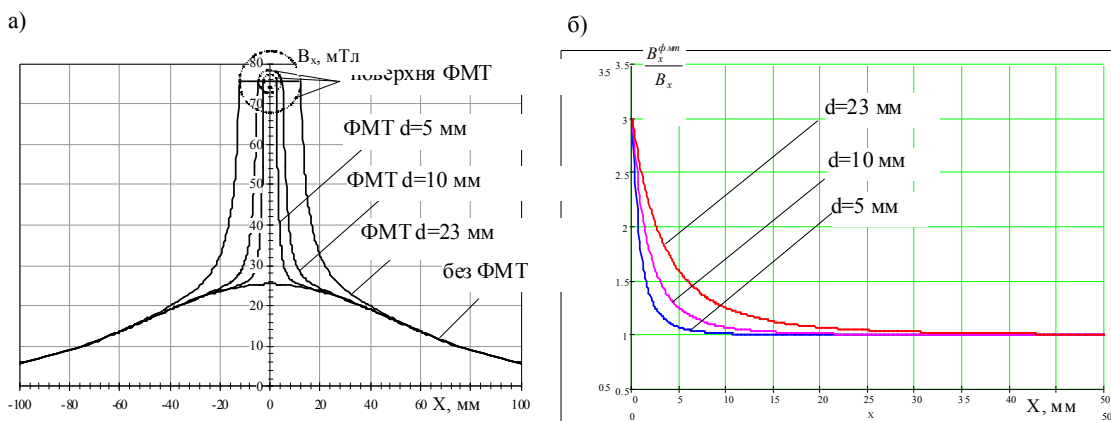


Рис. 3. Розподіл сумарного магнітного поля: а) загальний випадок; б) перевищення по відношенню до основного в залежності від відстані до поверхні ФМТ при різних його розмірах

Як видно магнітна індукція на поверхні ФМТ зростає по відношенню до магнітної індукції основного поля приблизно в 3 рази, причому ця величина не залежить від розміру ФМТ. Величина тіла впливає, на характер зміни індукції – чим більше розмір, тим більш плавно відбувається зниження з збільшенням відстані від нього.

Для підтвердження достовірності отриманої теоретичної залежності були проведені експериментальні дослідження у відповідності з схемою (рис. 4):

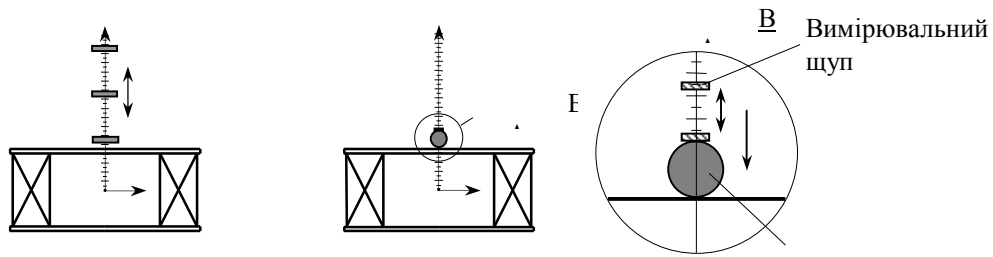
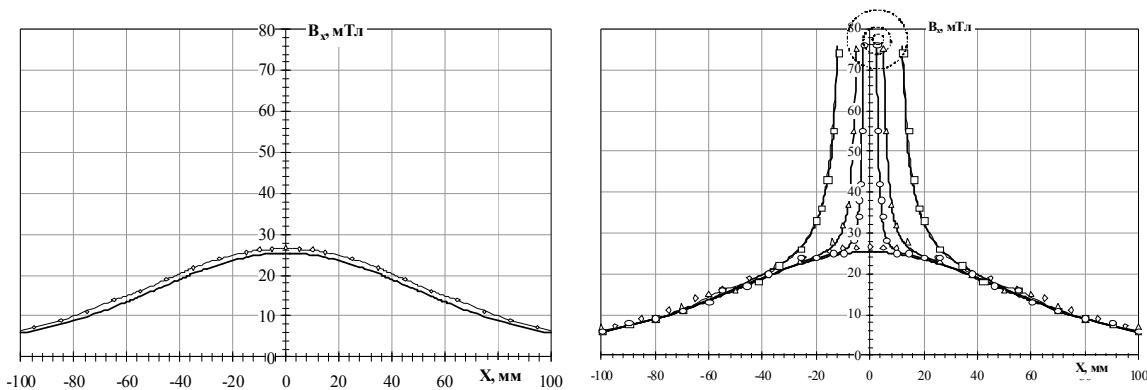


Рис. 4. Схема вимірювання розподілу магнітного поля пристрою виявлення (а) і його сумарного поля з ФМТ (б)

Вимірювання проводилися мілітесламетром ЭМ 4305 з щупом на основі датчика Холу, що дозволяє проводити виміри точкових магнітних полів. У ході експерименту варіювалися такі параметри як сила струму (від 0,5 до 3А з кроком 0,5А), відстань від поверхні ФМТ до точки спостереження – 0...100 мм з кроком в залежності від зміни характеру експериментальних даних, розмір ФМТ (від 5 до 23 мм).

Результати дослідження. Отримані експериментальні дані, і їх порівняння з теоретичними залежностями показано на рис. 5:



◇, ○ - експериментальні точки; — - розрахункові криві.

Рис. 5. Порівняння експериментальних даних з розрахунковими:
а) розподіл магнітного поля без ФМТ; б) розподіл магнітного поля в присутності ФМТ

Порівняння експериментальних даних з розрахунковими показує хорошу збіжність – відносна похибка у всьому діапазоні вимірювань не перевищує 6% при вимірюванні магнітного поля, лише в одному випадку досягає 9,4%, що для практики вимірювання магнітних полів є припустимим значенням.

Висновки

Таким чином, аналіз отриманих теоретичних залежностей і експериментальна перевірка показують, що індукція магнітного поля на поверхні ФМТ не залежить від його діаметра і перевищує основне приблизно в 3 рази. В той же час розмір робить вплив на зміну характеру залежності розподілу магнітного поля – чим більше розмір ФМТ, тим більш плавно

відбувається зміна індукції з збільшенням відстані від тіла.

Список літератури

1. ГОСТ 13496.9-73 Комбикорма. Методы определения металломагнитной примеси. – Введ. 1999.07.01. – Изд. офиц. – К. : Изд-во Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации, II, 1999. – 12 с.
2. ГОСТ 20239-74 Мука, крупы и отруби. Метод определения металломагнитной примеси. – Введ. 1999.07.01. – Изд. офиц. – К. : Изд-во Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации, II, 1999. – 12 с.
3. Мещеряков И.Б. Совершенствование процесса магнитной сепарации сырья и готовой продукции комбикормового производства : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.18.12 / И.Б. Мещеряков ; Моск. технол. ин-т пищ. пром-сти. – М. : [б. и.], 1989. – 22 с.
4. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители / В.Ф. Сумцов. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.
5. Чарыков В.И. Электромагнитные системы очистки сухих и жидких сельскохозяйственных продуктов от металлических примесей : дис... д-ра техн. наук : 05.20.02 / В.И. Чарыков. – Челябинск : [б. и.], 2005. – 354 с.
6. Поливанов К.М. Ферромагнетики / К.М. Поливанов. – Л. : Госэнергоиздат, 1957. – 256 с.
7. Круг К.А. Основы электротехники: В 2-х т. Т.1. Физические основы электротехники / К.А. Круг. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1946. – 472 с.

В статье рассмотрены влияние ферромагнитного тела на общее распределение магнитного поля устройства обнаружения индукционного типа, с учетом неоднородности его магнитного поля с последующим экспериментальным подтверждением полученных результатов.

Ферромагнитное тело, распределение, магнитное поле, индукционное устройство.

Influence of ferromagnetic body on the general division of the magnetic field of detecting device of induction type is considered in the article. Heterogeneity of its magnetic field with the following experimental confirmation of the received results is taken into consideration.

Ferromagnetic body distribution, magnetic field induction device.