

УДК 621.928.8

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Катанаєва Ю.О., інженер

Донецький національний університет економіки та торгівлі імені
Михайла Туган-Барановського

Тел. (062)304-50-46

Анотація – у статті запропоновано варіант фізичного опису моделі процесу магнітної сепарації. Досліджено фізичний бік процесу видалення феромагнітних часток з в'язкої харчової сировини.

Ключові слова - процес, магнітна сепарація, магнітна система, феромагнітна частка.

Постановка проблеми. Фізична суть магнітної сепарації полягає в тому, що магнітне поле спотворює гравітаційну траєкторію часток, що володіють відповідними магнітними властивостями, чим викликає їх витягання з потоку харчової сировини, яка таких властивостей не має.[1]

Основне практичне вживання магнітної сепарації — витягання небажаних включень з сировинних компонентів різних виробництв (кінцевих продуктів, що негативно позначаються на якості, або що викликають поломки технологічного устаткування). Обладнання для магнітної сепарації (магнітні сепаратори) широко використовується в таких галузях промисловості як скляна, гірничо-рудна, металургійна, вторинна переробка, харчова, хімічна і багато інших.

Аналіз останніх досліджень. У харчовій промисловості процес магнітної сепарації застосовується для очищення сировини й контролю готової продукції. Застосування магнітної сепарації на харчових підприємствах має специфічні особливості: широкий діапазон розмірів магнітних часток – від пилоподібних до окремих домішок розміром до десятка міліметрів; високі вимоги до об'єктивності вилучення магнітних домішок, зумовлені стандартами на харчову продукцію; необхідність ведення процесу з високою продуктивністю[2].

Теоретичний опис процесу витягання феромагнітних часток представляє досить складне, практично не вирішуване завдання для

випадку обліку всіх варіантів можливих домішок, які можуть відрізнятися за: формою, розмірами, коефіцієнтом динамічної в'язкості, магнітними параметрами (намагніченість, коерцитивна сила, фактор, що розмагнічує, форма петлі гістерезису, магнітна в'язкість). Знаходження траєкторії руху конкретної феромагнітної частки в полі магнітного сепаратора з врахуванням деяких припущень, що спрощують, принципово можливо, проте такий підхід не дозволяє зробити висновок про ефективність роботи сепаратора. Лише статистичний опис процесу витягання феромагнітних часток з врахуванням їх всіх істотних варіацій параметрів дозволить визначити ефективні режими роботи магнітного сепаратора[3, 4].

Метою даної статті є аналіз методів фізичного моделювання для визначення ефективної моделі опису процесу магнітної сепарації в'язкої харчової сировини.

Основна частина. У даній статті розглядається завдання руху магнітної частки в градієнтному магнітному полі реального магнітного сепаратора. Магнітне поле, що створюється сепаратором, експериментально вимірювалося в певних перетинах дослідного зразка сепаратора.

Використовуючи відоме вираження для апроксимації магнітного поля в робочому зазорі сепаратора (1), знаходилися параметри апроксимуючого вираження, що забезпечують найбільш точну відповідність реальному магнітному полю сепаратора.

Проекція поля на вісь Y описується вираженням:

$$H_{y(x,y)} = \left(\frac{\pi}{s}\right) H_0 \cdot e^{-\frac{\pi}{s}y} \cos\left(\frac{\pi}{s}x\right) \quad (1)$$

Проекція магнітного поля сепаратора на вісь X описується вираженням:

$$H_{x(x,y)} = \left(\frac{\pi}{s}\right) H_0 \cdot e^{-\frac{\pi}{s}y} \sin\left(\frac{\pi}{s}x\right) \quad (2)$$

де: s – період магнітної системи,

H – амплітуда напруженості поля.

На рис. 1 представлений графік зміни магнітного поля на одному періоді в робочій області магнітної системи. Можна, передбачити, що ефективність сепарації магнітних домішок сильно залежатиме від фази входження домішки в магнітну систему. При входженні частки домішки у фазі відповідної просторової координати уздовж осі $X = s(n+1/2)$, де n – цілі числа, поле звертатиметься в нуль.

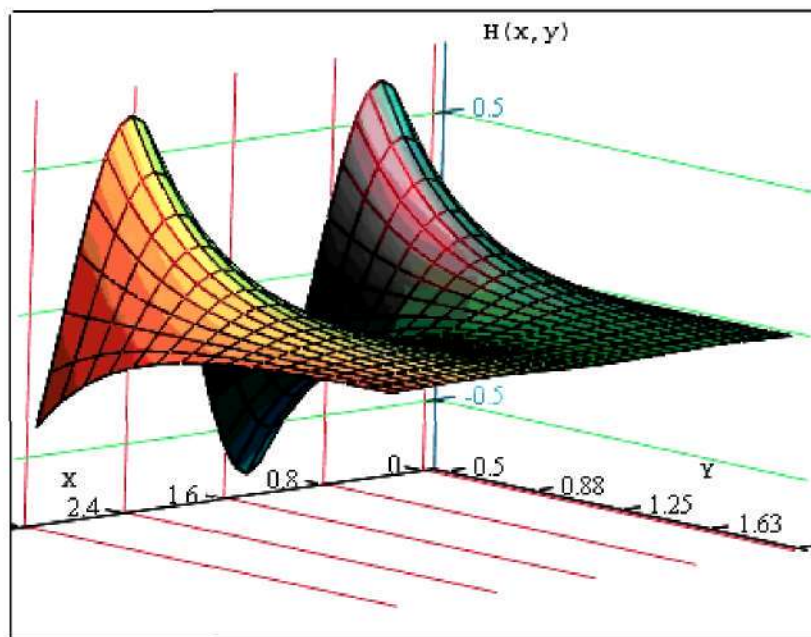
 H_x

Рис. 1. Проекція напруженості магнітного поля на вісь X

На рис. 2 представлена залежність проекції магнітного поля на вісь Y , яка також має періодичність уздовж осі X і сильно зменшуючу залежність у міру видалення від площини відповідної положенню транспортерної стрічки.

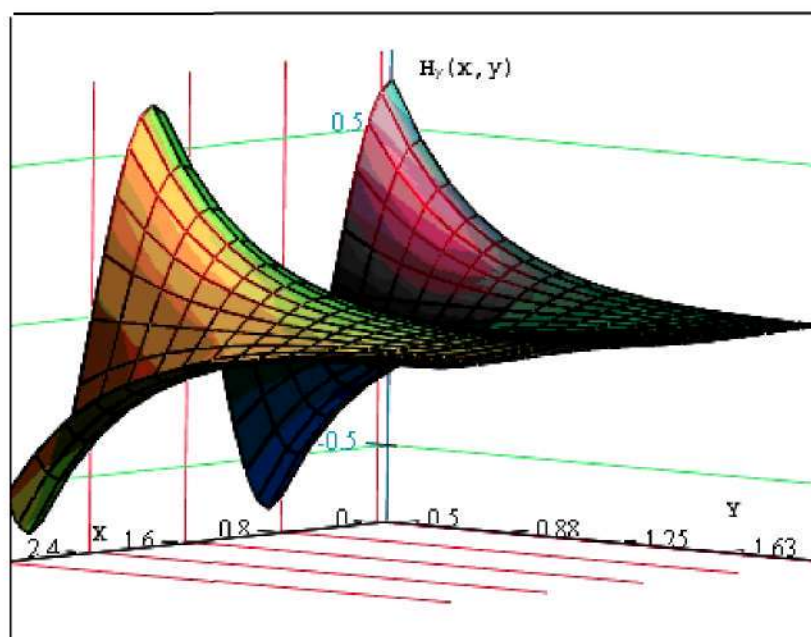
 H_y

Рис. 2. Проекція напруженості магнітного поля на вісь Y

Сила, що діє з боку магнітного поля на феромагнітну частку, визначається твором намагніченості частки I на градієнт напруженості поля H . Намагніченість феромагнітної частки визначається, в припущенні не залежності магнітної сприйнятливості від напруженості поля, твором магнітної сприйнятливості на напруженість магнітного поля:

$$F_m = I \cdot \text{grad}H, \quad (3)$$

де $I = \chi \cdot H$

Сприйнятливість магнітної частки з врахуванням чинника форми частки

$$\chi_T = \frac{\chi_V}{1 + N \cdot \chi_V} \quad (4)$$

де χ_V – магнітна сприйнятливість суцільного середовища з матеріалу домішок,

N – чинник форми в припущенні, що магнітна частка є еліпсоїдом обертання, можливі значення від $1/3$ для кулястої частки до 1 для частки, в якій довжина набагато більше поперечних розмірів.

Надалі варіювався чинник форми діапазону від $1/3$ до 1 , рахуючи рівноімовірний розподіл N у вищезгаданому діапазоні, розраховувалися траєкторії часток поле сепаратора.

Розміри часток магнітних домішок варіюються по нормальному закону розподілу з математичним чеканням 200 мкм і дисперсією 150 мкм, що характерний для типових домішок при виробництві рибних консервів.

Вважаємо, що фаза входження домішок в робочу зону магнітного барабана, що обертається, розподілена рівномірно для всіх домішок і підкоряється рівноімовірному закону розподілу[5, 6].

Враховуючи (1), (2), (3) і (4) проекція пондеромоторної сили, що діє з боку магнітного поля на магнітну частку у напрямі осі X , має вигляд:

$$F_{mx}(x,y) = \chi_0 \cdot \chi_T \cdot V \left(\frac{\pi}{s} \right)^3 \cdot H_0 \cdot e^{-\frac{2\pi y}{s}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{s} x \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{s} x \right) \quad (5)$$

Проекція пондеромоторної сили, що діє з боку магнітного поля на магнітну частку у напрямі осі Y , має вигляд:

$$F_{my}(x,y) = \chi_0 \cdot \chi_T \cdot V \left(\frac{\pi}{s} \right)^3 \cdot H_0^2 \cdot e^{-\frac{2\pi y}{s}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{s} x \right)^2 \quad (6)$$

Залежність проекції пондеромоторної сили, що діє на магнітну домішку, на вісь Y направленої уповдовж нормалі до поверхні транспортерної стрічки представлена на рис. 3. Як видно з графіка проекція сили, що діє на домішку і визначальна ефективність роботи сепаратора, має сильно зменшуючи залежність від відстані до

транспортної стрічки. Також видно періодичність уздовж осі X і на плоскості тих, що пересікають вісь X в крапках з координатами $x = sn$, де n – цілі числа s – період магнітної системи пондеромоторна сила, що діє на магнітні домішки звертається в нуль. Частки домішок що потрапляє в магнітне поле сепаратора в області близьких до плоскості, в якій пондеромоторна сила звертається в нуль не будуть від сепаровані.

У роботі [5] розраховувався час руху частки в полі магнітного сепаратора. При цьому не враховувалося, що величина сили, яка діє на частку залежить від фази входження частки в магнітну систему сепаратора (5) і (6). Також не розглядався рух магнітних домішок уздовж осі X , що є важливим при аналізі ефективності сепарації з нерухомою магнітною системою. У цій статті проведений облік руху часток уздовж осей X і Y , уздовж осі Z градієнт магнітного поля не змінюється, тому не моделювався рух уздовж цієї осі. Облік руху магнітних домішок уздовж осі Z не вироблявся так, як уздовж цієї осі був відсутній градієнт магнітного поля, що визначає проекцію сили на цю вісь.

Розглянемо сили, що діють на магнітну частку, в системі відліку пов'язаною з середовищем на магнітному барабані, що обертається.

$$F_i + F_c + F_m + F_g + F_e = 0 \quad (7)$$

де: F_i – сила інерції домішки;

F_c – сила в'язкого тертя;

F_m – пондеромоторна сила з боку магнітного поля сепаратора;

F_g – сила тяжіння домішки;

F_e – відцентрова сила.

Розглянемо сили, що діють на магнітну частку, в нерухомій системі відліку зв'язаною нерухомою уловлюючою магнітною системою.

Виштовхуючою силою, що діє на магнітну домішку в рідкому середовищі, нехтуємо. Рівність (7) і (8) є векторними. Проекції цих сил на осі X і Y дозволяють отримати систему рівнянь для знаходження траєкторії магнітних домішок у сепараторі.

Вирішення системи нелінійних диференціальних рівнянь дозволяє визначити траєкторію магнітної домішки і час переміщення уздовж траєкторії. Вирішуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь методом кінцевих різниць.

Таким чином, отримана система рівнянь, що описує траєкторію руху магнітних часток в полі магнітного сепаратора з врахуванням всіх впливаючих сил тих, що діють на домішці. Вирішення системи рівнянь дозволило отримати траєкторії часток домішок при різних їх початкових положеннях. Виявлено, що траєкторія домішок є

складною кривій, яка лежить в площині перпендикулярної поверхні транспортерної стрічки орієнтованої уздовж напрямку руху стрічки.

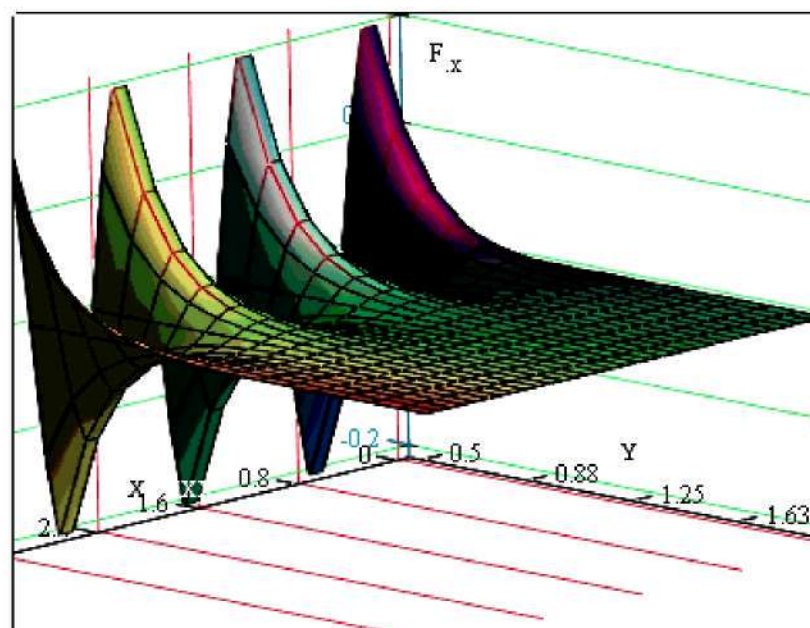
 F_x

Рис. 3. Графік залежності проекції на вісь X пондеромоторної сили від координат x і y

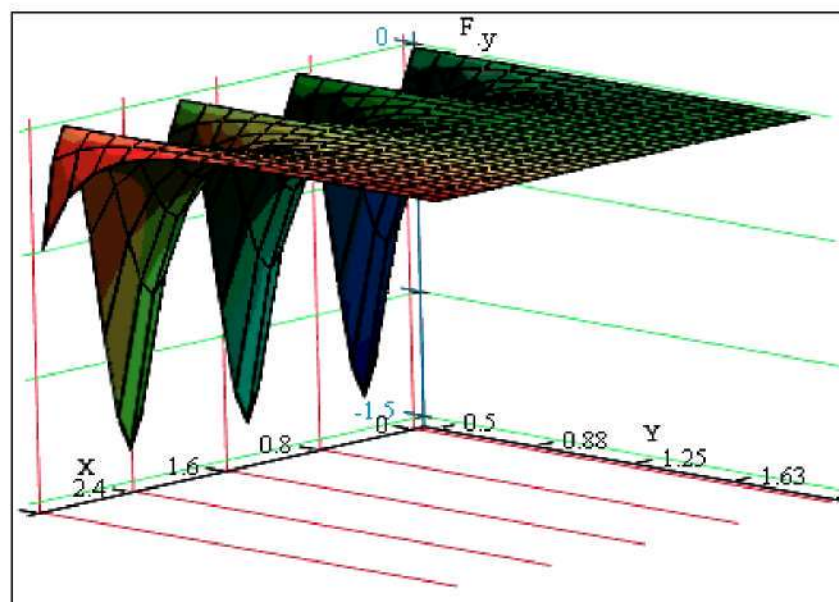
 F_y

Рис. 4. Графік залежності проекції на вісь Y пондеромоторної сили від координат x і y

Перспективою подальших досліджень є вивчення кореляції результатів експериментальних досліджень процесу виділення ферромагнітних часток з в'язкої харчової сировини.

Література

1. Катанаєва, Ю.О. Фізичні основи процесу магнітної сепарації [Текст] / Ю.О. Катанаєва Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. ДонНУЕТ – 2009. – Вип.20. – С.113-118.
2. Равдин А. Магнитные сепараторы на службе безопасности [Текст] / А. Равдин, М. Термиров, А.Г. Дормидонтов //Хлебопродукты. – 2002. - №9. – С. 26-27.
3. Черемных, П. А. Магнитная сепарация [Текст] / П. А. Черемных. – М.: Изд-во Ин-та атомной энергии им. Курчатова, 1977. – 71 с.
4. Мещеряков, И. Б. К вопросу повышения качества очистки сырья и готовой продукции от металломагнитных примесей [Текст] / И. Б. Мещеряков // Труды ВНИИКП – 1984. – вып. 25.- С. 47-51.
5. Венецкий И. Г. Теория вероятностей и математическая статистика/ И. Венецкий, Г. Кильдишев – М.: Статистика, 1975. – 264 с.
6. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. [для студ. высш. учеб. завед.] / Е. Н. Львовский– М.: Высш. шк., 1988. –239 с.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

Катанаева Ю.О.

Аннотация - у статьи предложен вариант физического описания модели процесса магнитной сепарации. Исследовано физическая сторона процесса удаления ферромагнитных частиц из вязкого пищевого сырья.

PHYSICAL MODEL OF PROCESS OF MAGNETIC SEPARATION

U. Katanaeva

Summary

The variant of physical description of model process of magnetic is offered in the article. Investigational physical side of process of delete of ferromagnetic parts from viscid food raw material.