

5. Погорелов А.В. Лекции по дифференциальной геометрии. – Харьков: Изд-во Харьковск. госунта, 1967. – 163 с.
6. Борисенко А.И., Тарапов И.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления. – Харьков: Высш. школа, Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 216 с.
7. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1972. – Т. 1. – 530 с.

УДК 621.928.1:634:635

Березняк О.О., Лукашенко М.І.

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНА СЕПАРАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ В РОЗЧИНІ

Рассматривается процесс сортирования твердых материалов при помощи магнитогидродинамической сепарации.

MAGNETO-HYDRODYNAMIC SEPARATION OF MATERIALS IN SOLUTION

The process of sorting of rigid materials by means of magneto-hydrodynamic separation is considered.

Магнітогідродинамічна сепарація (МГД) ґрунтується на виникненні додаткової до архимедової електромагнітної сили внаслідок взаємодії електричного струму, що протікає через електропровідну речовину, з перпендикулярним до цього струму магнітним полем. В якості електропровідної рідини можна використовувати розчини різноманітних солей у воді, наприклад, хлористого натрію. Такий розчин найбільш сприятливий для МГД сепарації продукції, так як не шкідливий і має невелику вартість. Слід зазначити, що МГД сепарація дозволяє розділити не тільки матеріали з густиною, більшою за густину розчину, а навіть матеріали з густиною, як завжди меншою густини розчину [1, 2].

Сортування продукції (овочів, фруктів, насіння та будь-яких частинок, які знаходяться у провідній речовині) можна проводити в сепараторі, що уявляє собою ємність, вздовж якої, перпендикулярно до напрямку руху рідини, встановлюються магніти зі сталою величиною індукції. В напрямку руху рідини проходить постійний струм, величина якого і напрямок можуть змінюватись, а значить, може змінюватись і напрям дії додаткової об'ємної електромагнітної сили ΔF_e (на постійному струмі невідворотний електроліз розчину на електродах, утворюються бульбашки газу, збільшується споживання електричної енергії).

Відомі магнітогідродинамічні сепаратори, які працюють на змінному струмі [3].

З метою усунення процесу електролізу робочої рідини на електродах необхідно використовувати змінний струм. Якщо густина струму на електродах не перевищує критичного значення для даного матеріалу електродів у рідині певного хімічного складу, то електроліз рідини відсутній. Густина струму пропорційна його частоті: інакше, чим більша частота, тим більший струм можна пропускати через електроди без електролізу.

За конструкцією магнітні системи МГД сепараторів можуть бути з магнітопроводом і без нього, або соленоїдальні. Перші уявляють собою замкнену магнітну систему з магнітним проміжком, яка виконується з феромагнітного матеріалу, що має високу індукцію насичення. Котушки електромагніту розташовані на магнітопроводі і при протіканні струму створюють в ньому магнітне поле. Канал, де відбувається сепарація, розташований у магнітному проміжку і найчастіше виконується прямокутного перерізу. Струм, що протікає через канал, паралельний вектору швидкості потоку. Така схема дозволяє отримувати у робочій зоні сепаратора більші значення індукції магнітного поля (до 2 Тл), ніж у соленоїді, але викликають додаткові конструктивні труднощі. Для такого сепаратора магнітопровід повинен виконуватися із тонких пластин електротехнічної сталі для зменшення втрат потужності на нагрівання за рахунок вихрових струмів, що робить його значно дорожчим, ніж магнітопровід для постійного струму.

Використання соленоїду для створення магнітного поля в МГД сепарації має деякі переваги, особливо для змінного струму. Для даної схеми канал з потоком сировини розташований всередині соленоїду, а струм пропускають в горизонтальній площині від однієї стінки каналу до протилежної, причому стінки каналу виконують роль електродів. Схема сепаратора із соленоїдом дозволяє підвищувати частоту струму до ультра-звукового діапазону, що взагалі неможливо для схеми з магнітопроводом внаслідок відсутності відповідних матеріалів.

В роботі [4] приведено вираз для розрахунку електромагнітної системи МГД-сепаратора.

$$P = \frac{4\pi B^2 \rho_1 L (R^2 + r^2)}{\left(\mu \mu_0 L \ln \left(\frac{2R + \sqrt{4R^2 + L^2}}{2r + \sqrt{4r^2 + L^2}} \right) \right)^2} + \left(\frac{f}{\alpha B} \right)^2 \rho_2 L r^2,$$

де P_1 – потужність втрат в електромагніті, Вт;

$\rho_1 = \rho / k_3$ – приведений питомий опір обмотки;

ρ – питомий опір міді, Ом·м;

k_3 – коефіцієнт заповнення перерізу обмотки міддю;

j_2 – густина струму в рідині, А/м²;

ρ_2 – питомий опір рідини, Ом·м;

α – коефіцієнт виштовхуючої сили;

B – індукція магнітного поля, Тл;

μ, μ_0 – магнітна проникність середовища і магнітна стала, Гн/м;

L – довжина електромагніту, м;

r – внутрішній радіус електромагніту, м.

Графічне рішення цього рівняння приведено на рис. 1. Рішення отримано для наступних умов: величина додаткової об'ємної сили 1000 Н/м³; питомий

електричний опір розчину становить 14,9 Ом·см, що відповідає концентрації хлористого натрію 5%; об'єм робочої зони становить $10 \times 10^{-3} \text{ м}^3$. Зі зменшенням електричного опору розчину до 6,9 Ом·см (15% розчин хлористого натрію) споживана потужність зменшується до 6000 Вт.

З аналізу рішення витікає, що існує мінімум спожитої потужності, який визначається як розмірами соленоїду, так і величиною індукції магнітного поля. В нашому випадку оптимальне значення індукції складає

0,35 Тл при зовнішньому діаметрі електромагніта 0,31 м. При цьому споживана потужність дорівнює 12000 Вт або 1200 Вт/дм^3 .

Крім того, мінімум функції потужності витрат електроенергії при підвищенні об'ємної сили і питомого опору рідини зсувається в бік підвищення індукції магнітного поля, при цьому зростають і самі витрати. З нахилу кривих до і після мінімуму видно, що відхилення від оптимуму енергетично більш вигідне у бік збільшення індукції магнітного поля, ніж підвищення густини струму у робочій зоні сепаратора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куценко Ю.М., Лукашенко М.І. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах виробництва і переробки продукції рослинництва // Науковий вісник. Електронний журнал. Національний аграрний університет. – 2006. – Вип. 2. – С. 20-23 (в редакції).
2. Половин Р.В., Демущий В.П. Основы магнитной гидродинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 205 с.
3. Небречин А.М. Исследование моделей магнитогидродинамических сепараторов, питаемых переменным током. // Техническая электромагнитная гидродинамика. – Донецк: Metallургия, 1965. – №2. – С. 325-341.
4. Березняк О.О. Розрахунок електромагнітної системи магнітогідродинамічного сепаратора // Збагачення корисних копалин. НГА України. – 1998. – №1(42). – С. 24-29.

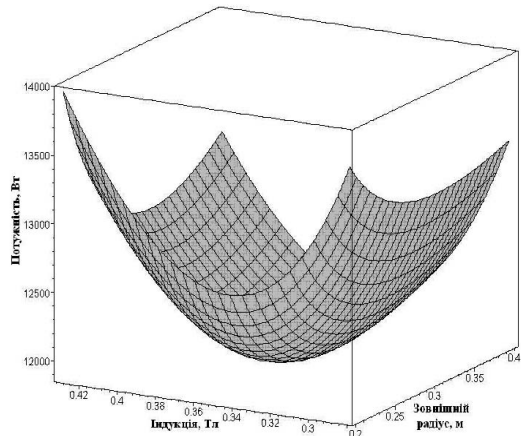


Рис. 1 – Залежність спожитої потужності від індукції магнітного поля та зовнішнього радіусу соленоїда електромагніту