

УДК621.3:633/635.001.73

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ПЛОДІВ ТОМАТІВ

Куценко Ю.М., д.т.н., професор

e-mail: yurii.kutsenko@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет

Лукашенко М.І., інженер

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Анотація – досліджується магнітогідродинамічний (МГД) сепаратор плодів томатів в електропровідній рідині зі схрещеними магнітним та електричним полями для маневрування параметрами j , ρ_p та B при побудові технологічних процесів сепарації МГД-сепаратором.

Постановка проблеми. Головним завданням виробника сільськогосподарської продукції є максимальне збереження його корисних властивостей і якостей та доведення їх до споживача.

Важливу роль у цьому відіграє використана технологія. Суть цих технологій - у застосуванні різних електромагнітних явищ в процесі переробки будь якої с.-г. продукції як «живої» речовини і як фізичного об'єкта.

Використання електромагнітного поля розширює функціональні можливості традиційних способів очищення, сортування, сушіння сировини та інше, відкриває нові ефекти біотехнологічної та хімічної природи, різко знижує енерговитрати.

Аналіз останніх досліджень. Застосування електротехнологій з іншими технологіями дозволяє покращити споживчі якості та фізико-хімічні властивості продукції сільського господарства[1].

Перед сільським господарством стоїть важливе завдання переходу від традиційних до більш досконалих ресурсо- та енергозберігаючих технологій.

Великі можливості використання електромагнітних полів у сортуванні овочів та фруктів, де останнім часом застосовують гідродинамічні технології [2], [3].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Подальша робота направлена на пошук нових можливостей електротехнологій, побудову технічних пристроїв та обладнання, на яких ця технологія може бути реалізована.

Одним із можливих варіантів вирішення цієї задачі є застосування електротехнологій, де електрична енергія використовується безпосередньо в операціях і процесах без будь-яких проміжних перетворень, що значно підвищує ефективність її використання.

Метою досліджень є вивчення дії електромагнітного поля на плоди як на фізичний об'єкт, а також вплив розмірних та масових параметрів плодів, концентрації розчину, параметрів електромагнітного поля на об'ємну силу, що діє на плоди, які сортуються у провідній речовині.

Основні матеріали дослідження (основна частина). У роботі пропонується магнітогідродинамічний (МГД) сепаратор, принцип дії якого заснований на виникненні додаткової до архімедової електромагнітної сили внаслідок взаємодії електричного струму з магнітним полем, що протікає через електропровідну рідину. В якості електропровідної рідини використовувався розчин хлористого натрію у воді. Такий розчин найбільш сприятливий для сортування сільськогосподарської продукції, так як нешкідливий і має невелику вартість. Слід зазначити, що магнітогідродинамічне сортування

дозволяє сортувати продукцію не тільки з густиною, більшою за густину рідини, а навіть продукцію з густиною меншою густини розчину.

У теоретичному плані використовується математичний апарат для дослідження руху фізичного тіла в ламінарній рідині з наданням додаткових умов при дії електричного та магнітного полів на провідну речовину.

Рух плоду в рідині визначається диференціальними рівняннями:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{dv_x}{dt} = R; \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = P - G - F_d \pm \Delta F, \quad (2)$$

де m – маса плоду, кг;

x, y – координати плоду через час t після початку спливання/ занурення, м;

v_x, v_y – вертикальна та горизонтальна складові швидкості спливання/занурення плоду, м/с;

R – сила дії струменю потоку на плід, Н;

P – виштовхувальна сила, Н;

G – сила тяжіння плоду, Н;

F_d – гідродинамічний опір, Н;

ΔF – додатна або від'ємна сила до виштовхувальної сили, що додатково діє на плід зі сторони електромагнітного поля у провідній речовині, Н.

$$\Delta F = \alpha B j V \quad (3)$$

де α – коефіцієнт (чисельно менший одиниці), який враховує зниження теоретичної величини електромагнітної сили; B – індукція магнітного поля, Тл;

j – густина струму в провідній рідині, А/м²;

V – об'єм плоду, м³.

Для плодів кулеподібної форми:

$$m \frac{dv_x}{dt} = C_x S \rho_p (v_p - v_x)^2; \quad (4)$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = \frac{mg \rho_p}{\rho_n} - mg - C_x S \rho_p v_y^2 \pm \alpha B j V \quad (5)$$

Після перетворень рівняння траєкторії спливання/занурення плоду в потоці рідини має вигляд

$$y = \frac{m}{C_x S \rho_p} \ln \operatorname{ch} \left(\sqrt{\frac{(g(\rho_p - \rho_n) \pm \alpha B j) C_x S \rho_p}{\rho_n m}} \frac{x}{v_p} \right) \quad (6)$$

де C_x – коефіцієнт лобового опору плоду в рідині;

S – переріз плоду в площині, яка перпендикулярна напрямку руху, м²;

ρ_p – густина рідини, кг/м³;

v_p – швидкість руху рідини, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

ρ_n – щільність плоду, кг/м³.

З рівнянь, які наведені вище, видно складну залежність результуючої сили, яка діє на плід, що знаходиться у провідній рідині, а також складний рух плоду під дією цієї сили.

Для досліджень був змонтований експериментальний зразок МГД-сепаратора. В якості провідної рідини використовувався 10% розчин хлористого натрію. Роль імітатора плодів виконувала непровідна кулька діаметром 2,75 см щільністю 1,1 г/см³.

Для вимірювань електромагнітної сили, яка діяла на кульку, застосовували терези з точністю до 1 мг.

Індукція магнітного поля змінювалася в межах 0,2...0,5 Тл ступенево. Була побудована залежність додаткової електромагнітної сили ΔP , яка діє на кульку-імітатор, від струму I , який проходить через провідну рідину, при сталому значенні індукції магнітного поля. Привертає увагу, що графік залежності має дві галузі: пряму і зворотну.

В певних межах зазначені галузі мають вигляд прямих паралельних ліній, що говорить про пропорційну залежність додаткової сили від сили струму через провідний розчин. Таким чином проявляються межі щільності плодів овочів та фруктів при їх сепарації у провідній рідині. Середнє значення об'ємної сили, яка діяла на імітатор, складала 42 Н/м^3 [4].

З рівняння (6) видно, що траєкторія спливу/занурення плоду однакової щільності залежить від масово-розмірних характеристик плодів, а також електромагнітних параметрів МГД-сепаратора.

На основі рівняння (6) у форматі Excel була створена формула, яка дозволяє побудувати графічну залежність координати y – висоти спливання/занурення плоду томата від густини розчину NaCl у воді.

Відома залежність густини розчину від концентрації NaCl в розчині [5].

Межі зміни середньої щільності томатів різних ступенів зрілості сорту Солерос: зеленого – 841 кг/м^3 , молочного – 891 кг/м^3 , бурого – 949 кг/м^3 , рожевого – 969 кг/м^3 , червоного – 1086 кг/м^3 наведені в [3].

Виконані розрахунки для граничного значення функцій y_+ , $y_-, \Delta y$ у на довжині сепарації 1 м , а також знаку $+$ або $-$ комплексу $\alpha j B$ рівняння (6) відповідно при зміні густини розчину ρ_p і сталих значеннях наступних параметрів: $D = 0,02 \text{ м}$; $m = 0,003523 \text{ кг}$; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031 \text{ м}^2$; $\alpha = 1$; $B = 0,1 \text{ Тл}$; $j = 5000 \text{ А/м}^2$; $V = 0,0000042 \text{ м}^3$; $v_p = 0,5 \text{ м/с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\rho_n = 841, \text{ кг/м}^3$; $\Delta y = y_+ - y_-$ межі зміни функції y .

Також були виконані розрахунки для граничного значення функцій $y_+, y_-, \Delta y$ у на довжині сепарації 1 м , а також знаку $+$ або $-$ комплексу $\alpha j B$ рівняння (6) відповідно при зміні магнітної індукції B і сталих значеннях наступних параметрів: $D = 0,02 \text{ м}$; $m = 0,003523 \text{ кг}$; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031 \text{ м}^2$; $\alpha = 1$; $j = 5000 \text{ А/м}^2$; $V = 0,0000042 \text{ м}^3$; $\rho_p = 1041 \text{ кг/м}^3$; $v_p = 0,5 \text{ м/с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\rho_n = 841, \text{ кг/м}^3$.

Висновок. Зміна концентрації провідної рідини призводить до зміни її густини ρ_p , що впливає на величину спливання/занурення y , причому збільшення концентрації c призводить до звуження меж зміни Δy .

За відсутності електричного струму $j = 0$ та магнітного поля $B = 0$ функції y_+ та y_- вироджуються в одну лінію, тобто процес спливання/занурення y плодів проходить без дії додаткової електромагнітної сили ΔF на провідну рідину.

Зміна щільності робочого струму j через провідну рідину впливає на величину спливання/занурення y плодів томатів в більшій мірі, ніж зміна концентрації c робочої рідини, а зміна індукції магнітного поля B у провідній рідині впливає на величину спливання/занурення y плодів томатів в більшій мірі, ніж зміна густини струму через провідну робочу рідину, що відображається функціями $\Delta y(B)$, $\Delta y(j)$.

Функції $\Delta y(j)$, $\Delta y(\rho_p)$ змінюються протилежно відносно одна одної, а функції $\Delta y(j)$, $\Delta y(B)$ змінюються узгоджено відносно одна одної, що дає можливість маневрувати параметрами j , ρ_p та B при побудові технологічних процесів сепарації плодів томатів МГД-сепаратором.

Список використаних джерел

1. Куценко Ю.М., Лукашенко М.І. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах переробки сільськогосподарської продукції. Науковий вісник / Електронний журнал. Національний аграрний університет. – 2006. – Вип. 2. – С. 20–23.
2. Тарасенко В.В., Медведев В.П. Гидродинамическое сортирование плодов томата по степени зрелости. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №11. – С. 29 – 30.
3. Лубко Д.В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи гідродинамічного сортувальника плодів томатів за ступенем зрілості комбайнових зборів. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Мелітополь, 2005. – 24 с.
4. Куценко Ю.М., Лукашенко М.І. Магнітогідродинамічне сортування сільськогосподарської продукції з використанням електромагнітних полів. [Електронний ресурс]. Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 1, т. 2. – С.132 – 141. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/ejournals/nvtdau/index.html>.
5. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. – М.: Наука, 1986. – 245 с.