

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СОРТУВАЛЬНИК ПЛОДІВ І ОВОЧІВ

Івлєв В.В., Лукашенко М.І.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Наведено результати досліджень магнітогідродинамічного (МГД) сепаратора 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 сільсько-господарської продукції є максимальне збереження його корисних властивостей і якостей та доведення їх до споживача. Важливу роль у цьому відіграють використані технології. 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 і публікацій. Застосування електро-технологій 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].

Дослідження спрямовані на пошук нових можливостей електро-технологій, 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.

Мета досліджень. 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 результати досліджень. 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 сільсько-господарської 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 диференційними рівняннями:

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

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

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_δ – 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 плода 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.

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, що 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 гілки: пряму і зворотну. В певних межах зазначені гілки 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 [3].

В таблиці 1 наведені розрахунки для граничного значення функцій y_+ , y_- , Δy 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 .

Таблиця 1

Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні густини розчину

Склад NaCl		y_+	y_-	$\Delta y (\rho_p)$
с, %	$\rho_p, \text{ кг/м}^3$	м	м	м
1	1005,3	0,458	0,328	0,130
2	1012,5	0,464	0,337	0,127
4	1026,8	0,476	0,356	0,120
6	1041,3	0,487	0,372	0,115
8	1055,9	0,499	0,388	0,111
10	1070,7	0,509	0,404	0,105
12	1085,7	0,520	0,418	0,102
14	1100,9	0,530	0,432	0,098
16	1116,2	0,539	0,444	0,095
18	1131,9	0,549	0,457	0,092
20	1147,8	0,558	0,470	0,088
22	1164,0	0,566	0,481	0,085
24	1180,4	0,575	0,492	0,083
26	1197,2	0,583	0,503	0,080
Густина розчинів солі віднесена до густини води при $4 \text{ }^\circ\text{C}$.				

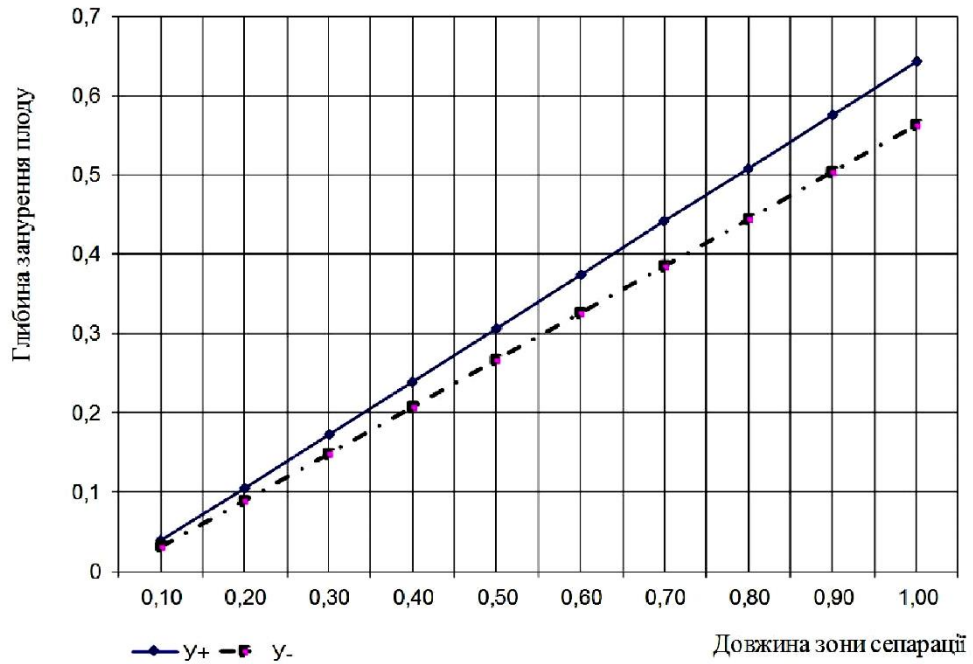


Рис.1. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні густини розчину ρ_p

В таблиці 2 наведені розрахунки для граничного значення функцій y_+ , y_- , Δy на довжині сепарації 1 м, а також знаку + або – комплексу $\alpha j B$ рівняння (6) відповідно, при зміні щільності струму j і сталих значеннях наступних параметрів: $D = 0,02$ м; $m = 0,003523$ кг; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031$ м²; $\alpha = 1$; $B = 0,1$ Тл; $V = 0,0000042$ м³; $\rho_p = 1041$ кг/м³; $v_p = 0,5$ м/с; $g = 9,81$ м/с²; $\rho_n = 841$ кг/м³.

Таблиця 2

Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні щільності струму

j	y ₊	y ₋	Δy (j)
A/м ²	м	м	м
0	0,433	0,433	0
500	0,439	0,428	0,011
1000	0,445	0,422	0,023
2000	0,456	0,410	0,046
3000	0,467	0,398	0,069
4000	0,477	0,385	0,092
5000	0,487	0,372	0,115
6000	0,497	0,359	0,138
7000	0,507	0,345	0,162
8000	0,517	0,330	0,187
9000	0,527	0,315	0,212
10000	0,536	0,299	0,237
11000	0,545	0,282	0,263
12000	0,554	0,264	0,290

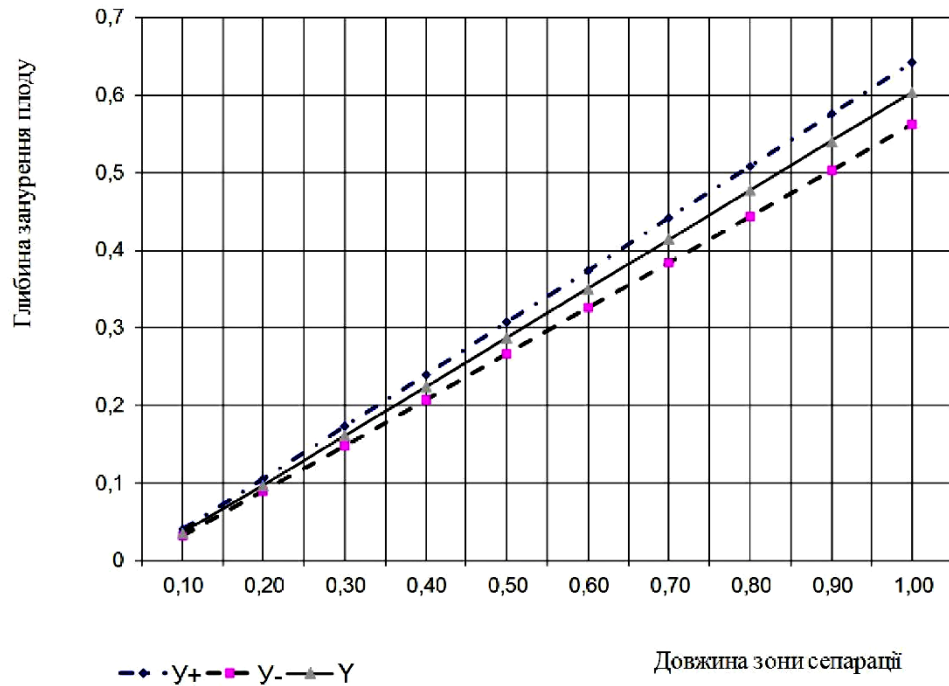


Рис.2. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні щільності струму j

У таблиці 3 наведені розрахунки для граничного значення функцій y_+ , y_- , Δy 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: $D = 0,02$ м; $m = 0,003523$ кг; $C_x = 0,5$; $S = 0,00031$ м²; $\alpha = 1$; $j = 5000$ А/м²; $V = 0,0000042$ м³, $\rho_p = 1041$ кг/м³; $v_p = 0,5$ м/с; $g = 9,81$ м/с²; $\rho_n = 841$ кг/м³.

Таблиця 3

Результати розрахунків для граничного значення функцій відповідно при зміні магнітної індукції

B	y ₊	y ₋	Δy (B)
Тл	м	м	м
0	0,433	0,433	0
0,025	0,447	0,419	0,028
0,050	0,461	0,404	0,057
0,075	0,474	0,388	0,086
0,1	0,487	0,372	0,115
0,125	0,500	0,355	0,145
0,150	0,512	0,337	0,185
0,175	0,524	0,319	0,205
0,2	0,536	0,299	0,237
0,225	0,547	0,278	0,269
0,25	0,559	0,255	0,304
0,275	0,570	0,230	0,340
0,3	0,581	0,203	0,379
0,325	0,591	0,171	0,420
0,350	0,602	0,132	0,470
0,375	0,612	0,079	0,533
0,39	0,618	0,021	0,597

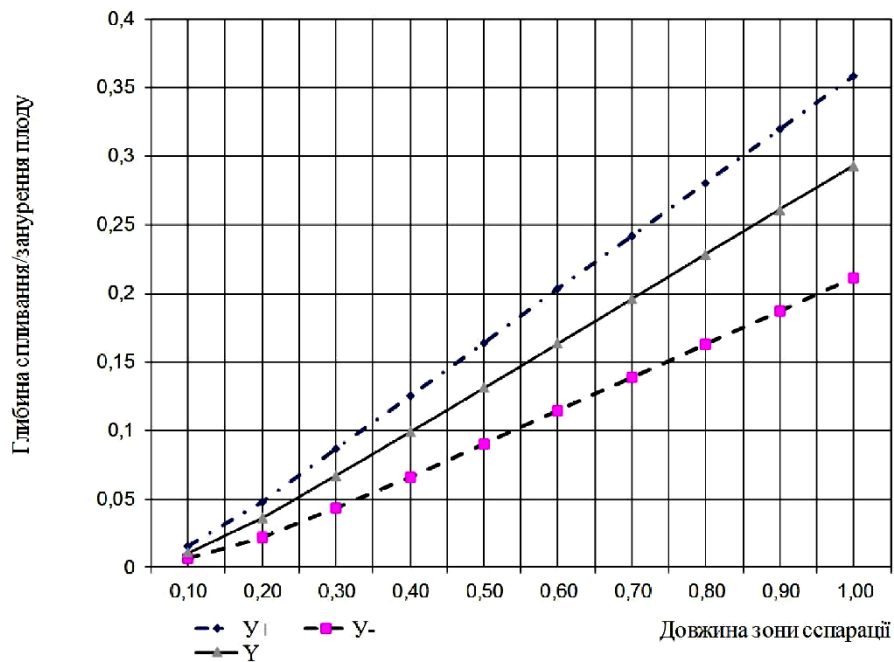


Рис.3. Залежність глибини занурення від довжини сепарації при зміні магнітної індукції B

Висновки

Зміна концентрації c 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 .

При 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 техно-логічних процесах переробки сільськогосподарської продукції. Науковий вісник / Електронний журнал. Національний аграрний університет. – 2006. Вип. 2. С. 20 – 23.
2. Тарасенко В.В., Медведєв 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 гідро-динамічного 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.

[Электронный 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.

Аннотация

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СОРТИРОВЩИК ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Ивлев В.В., Лукашенко М.И.

Приведены результаты исследований магнитогидродинамического (МГД) сепаратора плодов томатов в электропроводной жидкости со скрещенными магнитным и электрическим полями для варьирования параметров j , ρ_p и B при проектировании технологических процессов сепарации МГД-сепаратором.

Abstract

ELECTROMAGNETIC SORTIMENT OF FRUITS AND VEGETABLES

Ivlev V.V., Lukashenko M.I.

The article studies magnetic hydrodynamic (MHD) tomato fruit separator in conductive liquid with the intersected magnetic and electric fields for varying the parameters of j , ρ_p and B in projecting technological processes of separation with the MHD-separator.