



УДК 621.3:663/635.001.73

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНЕ СОРТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ЕМП

Куценко Ю.М., к.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-31-59, e-mail: kucenkoUA@mail.ru

Лукашенко М.І., інженер

Дніпропетровський державний аграрний університет

Тел/факс: (056) 774-08-71

Анотація – робота присвячена аналізу теоретичних положень та практичним випробуванням пристрою МГД сепарації.

Ключові слова – магнітогідродинамічна сепарація, енергія ЕМП, плоди сільськогосподарських культур.

Постановка проблеми. Головним завданням виробника сільськогосподарської продукції є максимальне збереження корисних властивостей і якостей та доведення її до споживача. Був проведений порівняльний огляд науково-технічної літератури з питань застосування енергії електромагнітних полів в технологічних процесах переробки сільськогосподарської продукції [1]. Огляд показує безумовний інтерес до нових технологій - у застосуванні різних електромагнітних явищ в процесі переробки будь якої сільськогосподарської сировини.

Науковцями розроблені кількісні залежності електричних оптичних, акустичних і теплових характеристик, встановлено в широкому діапазоні вимірювання контролюємих величин, властивостей, складу агропродукції і зовнішніх впливів: частота електромагнітних полів – від 0 до 10^{16} Гц, їх напруженість – від 1 до 10^{15} В/м, частота акустичних коливань – від 20 Гц до 30 МГц, температура – від 0 до 100 °С, різні освітленості, вологість, тиск тощо. Створені зразки електричних, електронно-оптичних пристроїв для сортування сільськогосподарської продукції за фракціями по цим показникам.

Виявлені при дослідженнях електрофізичні ефекти в біосередовищах необхідно використовувати для розробки нових енергозберігаючих технологій в рослинництві та тваринництві.

Аналіз останніх досліджень. Проведені дослідження впливу електромагнітних полів високої і надвисокої частоти на біологічні об'єк-

ти. Встановлено, що малі дози їх дії визивають стимулюючі проявлення, середні – стресові, а великі – пригнічують. Подальше збільшення дози приводить до їх загибелі.

Перехід від хімічних методів інтенсифікації рослинництва до малоенергоємних електрофізичних є головним напрямом розробок, багато із яких доведені до практичного використання. Використання електромагнітного поля розширяє функціональні можливості традиційних способів чистки, сортування, сушіння сировини та відкриває нові ефекти біотехнологічної та хімічної природи, різко знижує енерговитрати.

Вирощування овочів і фруктів, а також їх переробка, залишається однією з найбільше трудоемних галузей сільського господарства. Особливо це стосується виробництва томатів, які потребують значних витрат праці і коштів під час сортування плодів за ступенем зрілості після їх збирання. В більшості випадків сортування томатів виконується вручну. Тому велику важливість мають розробки і застосування автоматичних засобів післязбиральної обробки томатів.

В роботі [2] пропонується проводити сортування томатів в потоці рідини. Гідродинамічне сортування плодів томата може бути двох видів: розподіл в потоці рідини на томати, які спливають на поверхню рідини, та які занурюються у рідину з додатковим механічним розподілом шару, який спливає на поверхню.

Виходячи із теоретичних міркувань, була побудована лінія сортування плодів томату за ступенем зрілості. Для заключного сортування фракції „зелені плоди” доцільно використовувати фотоелектронний сортувальник.

В [3] приведена схема конструкція лінії для сортування плодів томату за ступенем зрілості, яка використовує гідродинамічний та фотоелектричний сортувальники. В [4] описується гідравлічний класифікатор томатів за ступенем зрілості, який дозволяє збільшити точність гідродинамічного сортування плодів. При цьому плоди необхідно подавати в гідролоток з таким розрахунком, щоб вони спливали в сортувальній зоні в один шар. В статті [5] описано фотометричний пристрій для автоматичного сортування томатів, який дозволяє сортувати їх за ступенем зрілості: червоні, бурі, зелені. Установка випробована. В роботі [6] пропонується розроблений і виготовлений пристрій для розподілу плодів томату на 5 фракцій за ступенем зрілості.

Аналіз сортувальних пристроїв томатів за ступенем зрілості дозволяє зробити висновок про їх відносну складність за будовою, що потребує подальшого удосконалення.

Формування цілей статті. Розробка альтернативних ресурсозберігаючих технологій на основі функціональної нелінійності, квантово-механічних перетворень та нанотехнологічної спорідненості процесів

обробки агросировини. Метою подальших досліджень є вивчення дії електромагнітного поля на плоди як на фізичний об'єкт.

Основна частина. У роботі пропонується альтернативний магнітогідродинамічний сортувальник, принцип дії якого заснований на виникненні додаткової до архімедової електромагнітної сили внаслідок взаємодії протікаючого через електропровідну рідину електричного струму з магнітним полем [7]. В якості електропровідної рідини можна використовувати розчини різноманітних солей у воді, наприклад, хлористого натрію. Такий розчин найбільш сприятливий для сортування сільськогосподарської продукції, так як не шкідливий і має невелику вартість. Слід зазнати, що магнітогідродинамічне сортування дозволяє сортувати 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 [2] з наданням додаткових умов при дії електричного та магнітного полів на провідну речовину.

Рух плоду в рідині визначається диференціальними рівняннями:

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

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = P - G - F_0 \pm \Delta F, \quad (2)$$

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_0 – 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

$$\Delta F = \alpha B j V = \frac{\sigma}{\rho} [EB], \quad (3)$$

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:

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

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

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.

Якщо прийняти, що плід до моменту сплиття/занурення придбав швидкість $v_x = v_p$, то рівняння (4) має вигляд

$$\frac{dv_x}{dt} = 0, \text{ а } x = v_p t. \quad (6)$$

Перетворимо рівняння (5):

$$\frac{dv_y}{dt} = g \left(\frac{\rho_p}{\rho_n} - 1 \right) - \frac{C_x S \rho_p v_y^2}{m} \pm \frac{\alpha B j V}{m}, \quad (7)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = g \left(\frac{\rho_p}{\rho_n} - 1 \right) - \frac{C_x S \rho_p v_y^2}{m} \pm \rho_n^{-1} \alpha B j. \quad (8)$$

Позначимо:

$$a = g \left(\frac{\rho_p}{\rho_n} - 1 \right) \pm \rho_n^{-1} \alpha B j,$$

$$b = \frac{C_x S \rho_p v_y^2}{m}.$$

Тоді рівняння (8) можна записати у вигляді

$$\frac{dv_y}{dt} = a - b v_y^2. \quad (9)$$

Інтегруємо рівняння (9):

$$\int \frac{dv_y}{(a - b v_y^2)} = \int dt, \quad (10)$$

$$\frac{1}{2\sqrt{ab}} \ln \left| \frac{\sqrt{ab} + v_y b}{\sqrt{ab} - v_y b} \right| = t + C. \quad (11)$$

Так як $v_y|_{t=0} = 0$, то $C = 0$, тоді

$$\frac{1}{2\sqrt{ab}} \ln \left| \frac{\sqrt{ab} + v_y b}{\sqrt{ab} - v_y b} \right| = t. \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (12) і визначимо швидкість сплиття/занурення плоду в рідині:

$$v_y = \sqrt{\frac{a}{b} \frac{(e^{2t\sqrt{ab}} - 1)}{e^{2t\sqrt{ab}} + 1}}, \quad (13)$$

$$v_y = \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}} th(\sqrt{abt}). \quad (14)$$

Після інтегрування рівняння (14) по переміщенню y , одержимо

$$y = \frac{1}{b} \ln ch(\sqrt{abt}). \quad (15)$$

Тоді параметричні рівняння руху плоду в потоці рідини, який близький до ламінарного, буде мати вигляд:

$$x = v_p t, \quad (16)$$

$$y = \frac{1}{b} \ln ch\left(\sqrt{ab} \frac{x}{v_p}\right). \quad (17)$$

Звідси рівняння траєкторії спливання/занурення плоду в потоці рідини має вигляд

$$y = \frac{m}{C_x S \rho_p} \ln ch\left(\sqrt{\frac{(g(\rho_p - \rho_n) \pm \alpha B j) C_x S \rho_p}{\rho_n m} \frac{x}{v_p}}\right). \quad (18)$$

З рівняння видно (18), що траєкторія спливу/занурення плоду з однаковою щільністю залежить від масово-розмірних характеристик плодів, а також електромагнітних параметрів МГД сепаратора.

В роботі [8] приведено вираз для розрахунку електромагнітної системи МГД сепаратора.

$$P = \frac{4\pi B^2 \rho_1 L (R^2 + r^2)}{\left(\mu \mu_0 L \ln\left(\frac{2R + \sqrt{4R^2 + L^2}}{2r + \sqrt{4r^2 + L^2}}\right)\right)^2} + \left(\frac{f}{\alpha B}\right)^2 \rho_2 L r^2, \quad (19)$$

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_0, μ - магнітна стала та проникність середовища, Гн/м;

L - довжина електромагніту, м;

r - внутрішній радіус електромагніту, м.

Графічне рішення цього рівняння приведено на рис. 1 [9]. 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 10×10^{-3} м³. Зі зменшенням електричного опору розчину до

6,9 Ом см (15% розчин хлористого натрію) споживана потужність зменшується до 6000 Вт.

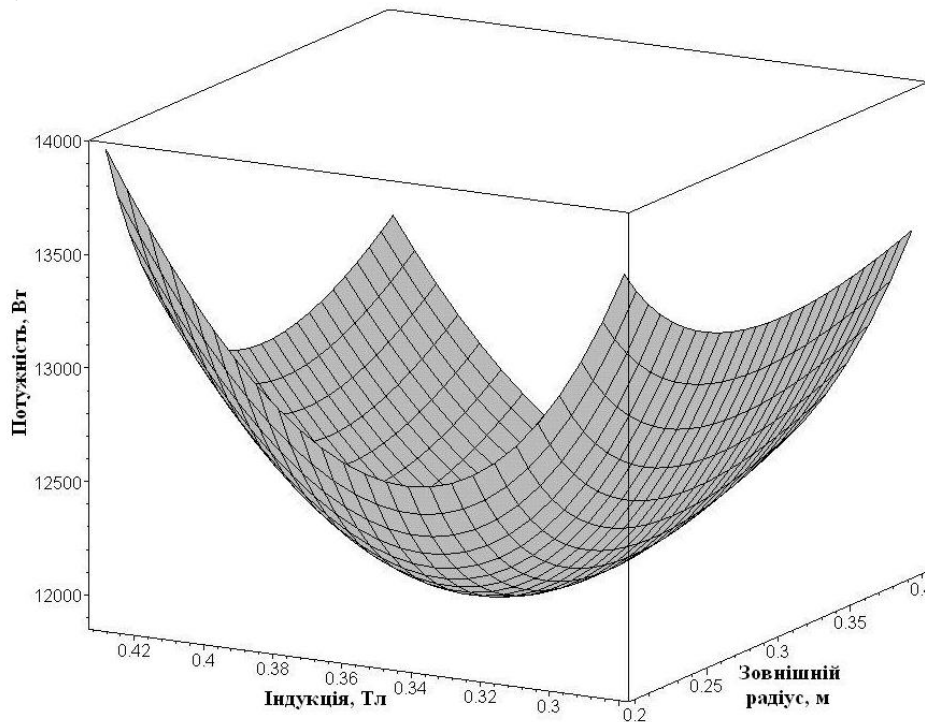


Рис. 1. Залежність спожитої потужності від індукції магнітного поля та зовнішнього радіусу соленоїду електромагніту.

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 рівна 12000 Вт або 1200 Вт/дм³.

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.

Отже, електромагнітні параметри МГД сепаратора впливають на:

- виштовхувальну силу, яка діє на плід;
- траєкторію руху плодів;
- розрахунок енергетичних характеристик соленоїду магнітної системи.

Лабораторні випробування дослідного зразку магнітогідродинамічного сортувального пристрою.

Був змонтований експериментальний зразок МГД сепаратора, який складається із ємності 1, яка заповнена провідною рідиною, стінок 2, до яких прикладається постійна напруга, стінки 3 виконані у

вигляді сталих магнітів, магнітну індукцію яких можна змінювати у певних межах. Перфоровані перетинки 4 дозволяють значно зменшити вихрові збурення провідної рідини при проведенні дослідів з кульками – імітаторами. Струмопідводи 5 дозволяють підвести напругу до провідної рідини. У якості провідної рідини використовується 10% розчин хлористого натрію. У якості імітатора плодів використовувалася непровідна кулька діаметром 2,75 см щільністю 1,1 г/см³. Для вимірювань електромагнітної сили використовуються ваги з точністю вимірювань до 1 мг. Індукція магнітного поля змінювалася у межах 0,2...0,5 Тл ступеньово. 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 B рис.2. Експериментальні дані приведені в таблиці 1.

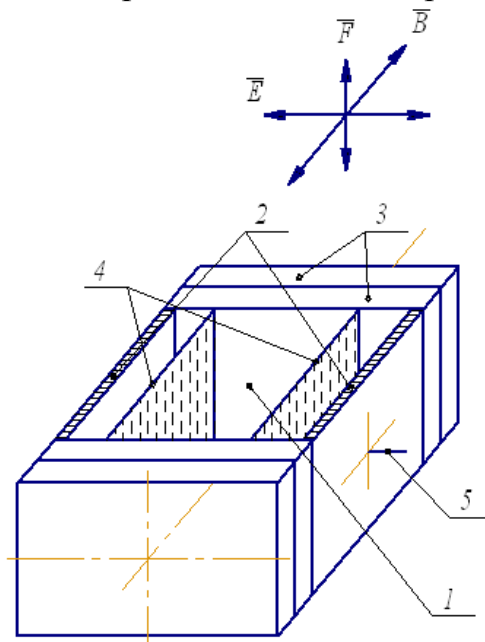


Рис. 2. Конструкція МГД сепаратора.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

I, А	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6
ΔP , г.	71,129	71,131	71,133	71,140	71,149	71,157	71,160	71,161	71,162
I, А	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	-
ΔP , г.	71,160	71,154	71,146	71,133	71,128	71,117	71,116	71,113	-

Якщо провідна або непровідна частинка знаходиться у ламінарному потоці рідини і при цьому спливає, то її рух описується диференціальними рівняннями:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m \frac{dv_x}{dt} = F_x; \tag{20}$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = F_A - P - F_y \pm \Delta F_e, \tag{21}$$

$$\Delta F_e = \frac{\sigma}{\rho} [EB] \tag{22}$$

де F_x - сила Архімеда, яка діє на частинку;
 P - сила тяжіння частинки;
 F_y - сила гідродинамічного опору, яка діє на частинку;
 ΔF_e - додатна або від'ємна сила до архімедової сили зі сторони електромагнітного поля;
 σ, ρ - провідність і густина рідини, відповідно;
 E - напруженість електричного поля;
 B - індукція магнітного поля.

На етапі лабораторних досліджень схема була спрощена і досліди проводилися у нерухомій провідній рідині (розчині кухонної солі у воді), яка знаходиться в однорідному магнітному полі, що утворене сталими магнітами. При цьому система рівнянь буде мати вигляд:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = F_A - P - F_y \pm \Delta F_e, \tag{23}$$

$$\Delta F_e = \frac{\sigma}{\rho} [EB]. \tag{24}$$

Швидкість спливання для такого випадку визначається інтегруванням рівняння за часом:

$$v_y = \int (F_A - P - F_y \pm \Delta F_e) \frac{1}{m} dt, \tag{25}$$

$$\Delta F_e = \frac{\sigma}{\rho} [EB]. \tag{26}$$

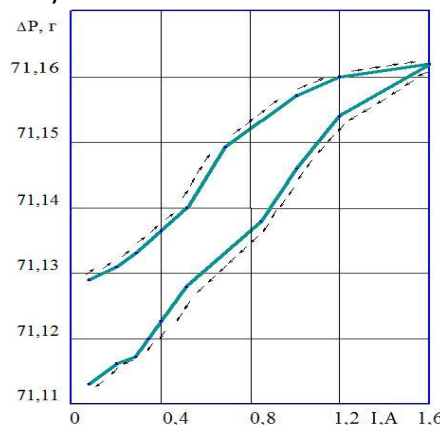


Рис. 3. Залежність електромагнітної сили від величини струму.

Привертає увагу, що графік (рис. 3) має дві галузі: пряму і зворотну. В певних межах зазначені галузі мають вигляд прямої лінії, що говорить про пропорційну залежність додаткової сили від сили струму через провідний розчин.

Таким чином, є можливість прогнозувати межі щільностей плодів овочів та фруктів для їх сепарації у провідній рідині. Для прямої галузі додаткова сила складає приблизно 38 Н/м^3 , а для зворотної – 45 Н/м^3 . Для збільшення меж зміни додатної сили необхідно провести експерименти з різним набором діючих фізичних факторів.

Були підготовлені непровідні кульки - імітатори різних щільностей у межах $0,86...1,1 \text{ г/см}^3$ з різними діаметрами від 6 мм до 30 мм.

У дослідах з непровідними кульками з різними діаметрами від 3 мм до 12 мм і з різними щільностями було досягнуто чіткого реагування їх на зміну відносної густини рідини. В залежності від напрямку проходження електричного струму через робочий розчин кульки занурювалися або спливали на поверхню.

Проводилися вимірювання сил, які діють на кульки, що занурювалися у провідну рідину під дією електричного і магнітного полів. Визначили підходи для розрахунку електричних потужностей, які може споживати магнітогідродинамічний сортувальник.

Висновок. Електромагнітне поле діє на агросировину, як на фізичний об'єкт, з додатною / від'ємною до архімедової силою; додатна / від'ємна сила, яка діяла на імітатор плоду в процесі досліджень складала, в середньому - 42 Н/м^3 , що відповідає щільності плодів $952...1042 \text{ кг/м}^3$.

Складені рівняння траєкторії спливання/занурення плодів у ламінарній провідній рідині дозволяють розрахувати розмірні параметри МГД сепаратора (довжину та переріз сортувальної зони); оцінити енергетичні характеристики соленоїду магнітної системи сепаратора.

Необхідно провести додаткові дослідження МГД сепаратора з метою розширення меж зміни додатної/ від'ємної сили з різним набором діючих фізичних факторів.

Література

- 1 Куценко Ю.М. Застосування енергії ЕМП в технологічних процесах переробки сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс]/ Ю.М. Куценко, М.І. Лукашенко// «Наукові доповіді НАУ». - К.: НАУ. – 2006-1(2). Випуск 2.- С. 20-23. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2006-1/06kumpap.pdf>
- 2 Тарасенко В.В. Гидродинамическое сортирование плодов томата по степени зрелости/ В.В. Тарасенко, В.П. Медведев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. - №11. – С. 29 – 30.
3. Тарасенко В.В. Линия для сортирования плодов томата по степени зрелости/ В.В. Тарасенко, А.И. Орцис // Картофель и овощи. – 1986. - №6. – С. 41 – 42.
4. Тарасенко В.В. Гидравлический классификатор томатов по степени зрелости/ В.В. Тарасенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. - №3. – С. 32-34.

5. *Бородин И.Ф.* Фотометрическое устройство для автоматической сортировки томатов/ *И.Ф. Бородин, А.К. Гасанов* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1979. -№11. – С. 25 -26.
6. *Богун В.П.* Сортирование томатов по спелости/ *В.П. Богун* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. - №4. – С. 44 -45.
7. *Небренчин А.М.* Исследование моделей магнитогидродинамических сепараторов, питаемых переменным током / *А.М. Небренчин* // Сб. Техническая электромагнитная гидродинамика. – Донецк: Металлургия, 1965.- №2 – с.325 – 341
8. *Березняк О.О.* Розрахунок електромагнітної системи магнітогідродинамічного сепаратора /*О.О. Березняк* // Збагачення корисних копалин. НГА України. Науково - технічний збірник - 1998.– №1(42). – С. 24-29.
9. *Березняк О.О.* Магнітодинамічна сепарація матеріалів в розчині. /*О.О. Березняк, М.І. Лукашенко* // Геотехнічна механіка: Між від. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 75. – С. 268-271.
10. *Лубко Д.В.* Обґрунтування параметрів і режимів роботи гідродинамічного сортувальника плодів томатів за ступенем зрілості комбайнових зборів: автореф. дис. канд. техн. наук:05.05.11/ *Д.В. Лубко*: ТДАТА.- Мелітополь; 2005.- 24 с.

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ЭМП

Куценко Ю.Н., Лукашенко Н.И.

Аннотация – работа посвящена анализу теоретических положений и практическим испытаниям устройства МГД сепарации.

MAGNETOHYDRODYNAMIC SORTING OF AGRICULTURAL PRODUCTS USING ELECTROMAGNETIC ENERGY

Ju. Kushenko , N. Lukashenko

Summary

The paper analyzes the theoretical principles and practical testing device MHD separation.