

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

4. Троценко В.І. Кукурудза селекція, насінництво, технологія вирощування: Монографія / В.І.Троценко. – Суми: Унів. книга, 2001. – 184с.

© Старков Ю. А., Махмудов І.І. 2023

УДК 631.362

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄТОРІЙ РУХУ НАСІННЯ В  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

Степаненко С. <sup>1</sup>, д.т.н.,

Калініченко Р. <sup>2</sup>, к.т.н.,

<sup>1</sup>Інститут механіки та автоматики АПВ;

вул. Вокзальна, 11, смт. Глеваха, Київська обл., Україна

<sup>2</sup>ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»,

вул. Шевченка 10, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна

e-mail: [rkalinichenko@ukr.net](mailto:rkalinichenko@ukr.net)

У технологічній схемі переробки зернових матеріалів електромагнітна сепарація проводиться на різних стадіях обробки: після повітряної сепарації, а також на заключному етапі після поділу насіння за густиною та іншими фрикційними властивостями.

Для очищення зернових матеріалів використовують магнітні та електромагнітні сепаратори. Порівняно з традиційними методами очищення, магнітний метод є достатньо ускладненим, але забезпечує найбільшу якість отриманого продукту. Він не вимагає реагентів та має у 2-5 разів більшу швидкість очищення від металевих та інших домішок зерновий матеріал.

Принцип очищення полягає в тому, що зернових матеріалів рухається тонким шаром  $h$  вздовж нахиленого жолоба сепаратора з деякою довжиною  $l$  і шириною  $s$ . У жолобі за допомогою концентраторів створюється нерівномірне магнітне поле. Ефективність сепарації залежить від швидкості руху матеріалу та магнітного поля жолоба. Критерій ефективності можна виразити як:

$$t_1 \ll t_2 \quad (1)$$

де  $t_1$  - час тяжіння частинок, с;  $t_2$  - час перебування частинки в жолобі при русі вздовж осі ОХ на відстань  $l$ , с.

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

Для використання залежності (1), потрібно мати інформацію про рух частинки вздовж осей ОХ та ОУ. Розглянемо рух частинки зернового матеріалу вздовж осі ОХ. За встановленого режиму через будь-який поперечний переріз жолоба ( $S = h \cdot s$ ) протягом 1 с пройде одна і та ж кількість зернових матеріалів, яка визначається залежністю:

$$Q = \rho_m \cdot S \cdot V = \rho_m \cdot h \cdot s \cdot V \quad (2)$$

де  $\rho_m$  – густина зернового матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  - швидкість руху зернового матеріалу, м/с.

Оскільки довжина жолоба дорівнює  $l$ , то час перебування частинок в жолобі під час руху вздовж осі ОХ буде:

$$t_2 = \frac{l}{V} = \frac{\rho_m \cdot h \cdot s \cdot l}{Q} \quad (3)$$

Розглянемо також рух частинки вздовж осі ОУ. Під час руху частинки вздовж осі ОУ на неї діють дві сили: магнітна сила, яка створена магнітним полем в жолобі та на концентраторах, і сила опору руху частинки, створена зерновим середовищем. При моделюванні математичних залежностей руху матеріалу на шорстких поверхнях використовується в'язкість середовища, або, іншими словами, внутрішнє тертя. В'язкість виявляється в тому, що рух, спричинений дією факторів, які його викликали, поступово припиняється після припинення цих факторів. Попередні дослідження [1, 2] показали, що при малих числах Рейнольдса  $Re$ , тобто при невеликих швидкостях руху, опір середовища можна визначити за допомогою формули Стокса:

$$F_s = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R_m \cdot V \quad (4)$$

де  $\eta$  - динамічний коефіцієнт в'язкості, (Па с);  $R_m$  - характерний радіус зернівки в поперечному перерізі, (м);  $V$  - швидкість руху зернового матеріалу, м/с.

Під час руху частинки вздовж осі ОУ на неї, крім сили опору середовища, діють також сила тяжіння частинки та архімедова сила, яка визначається за формулою:

$$F_A = V_m \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g \quad (5)$$

де  $V_m$  - об'єм частинки, м<sup>3</sup>;  $\rho_p$  - густина частинки, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Магнітна сила, що діє на частинку, яка перебуває в магнітному полі, визначається на основі потенційної енергії [3]:

$$F_M = -grad W_E \quad (6)$$

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

де  $W_E$  - потенційна енергія, Дж.

Потенційна енергія магнітного поля, яка діє на частинку об'ємом  $V_m$ , визначається наступною залежністю [3]:

$$W_E = \frac{V_{m*} \cdot B^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_s} \quad (7)$$

де  $V_{m*}$  - об'єм частинки, що знаходиться в магнітному полі, м<sup>3</sup>;  $B$  – магнітна індукція, Тл;  $\mu_0$  – вакуумна магнітна стала, Гн/м;  $\mu_s$  – відносна магнітна проникність сипкого матеріалу (зерна), Гн/м.

З врахуванням формули (7) магнітна сила, що діє на частинку в магнітному полі, визначається наступним виразом:

$$F_M = -grad W_E = -grad \frac{V_{m*} \cdot B^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_s} = -\frac{V_{m*}}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_s} grad B^2 \quad (8)$$

Значення магнітної сили, що діє в напрямку вісі OY, визначається наступним чином:

$$F_M = -\frac{V_{m*}}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_s} \frac{dB^2}{dy} = -\frac{V_{m*} \cdot B}{\mu_0 \cdot \mu_s} \frac{dB}{dy} \quad (9)$$

Диференціальне рівняння, що описує рух частинки, має наступний вигляд:

$$\ddot{y} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R_m}{m} \cdot \dot{y} + \frac{V_{m*} \cdot \Delta B \cdot (B_{max} + \Delta B)}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu_s \cdot d^2} \cdot y = \frac{V_{m*} \cdot \Delta B \cdot B_{max}}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu_s \cdot d} + \frac{V_{m*} \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g}{m} \quad (10)$$

Дане рівняння дозволило розробити елементи конструкції електромагнітного сепаратора та його робочі органи.

### Список використаних джерел.

1. Stepanenko S.P. Scientific foundations of the movement of components of grain material with an artificially formed distribution of air velocity / S.P. Stepanenko, B.I. Kotov, Spirin A.V., Kucheruk V.Yu. // *Вестник Карагандинского университета Серия «Физика»*. № 1(105)/2022. – р. 43-57.

<https://DOI:10.31489/2022PH1/43-57>

2. S. Stepanenko, Borys Kotov, Alvian Kuzmych, Viktor Shvydia, Roman Kalinichenko, Serhii Kharchenko, Taras Shchur, Sławomir Kocira Dariusz Kwaśniewski, Dariusz Dziki (2022). To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section Processes 2022, 10, 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929>

3. Основи теорії та технології повітряної сепарації зернових матеріалів / монографія / Б. І. Котов, С. П. Степаненко. Київ : ЦП Компринт, 2023. 427 с.

© Степаненко С., Калініченко Р. 2023