



Котов Б. І.

Деревенько І. А.

*Вінницький
національний аграрний
університет*

Степаненко С. П.

*Національний науковий
центр "Інститут
механізації та
електрифікації
сільського
господарства"*

Kotov B. I.

Derevenko I. A.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

Stepanenko S. P.

*National Scientific Center
"Institute for Agricultural
Engineering and
Electrification"*

УДК 631.362:532

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА СТУПІНЧАСТО- КОНІЧНОМУ РЕШЕТІ ВІБРОВІДЦЕНТРОВИХ МАШИН

В статті розглянуто процес вібровідцентрового сепарування зернової суміші на ступінчасто-конічному решеті. Проведено аналіз переміщення частинки зернового матеріалу в шарі і на поверхні в процесі сепарації. Показано, що ефективність процесу розділення зерна на вібровідцентровому решеті визначається інтенсивністю переміщення дрібних частинок через товщу шару зерна до поверхні решета і швидкістю пересування шару вздовж твірної конічної поверхні. Отримано диференціальні рівняння руху часток у віброзрізженому шарі при дії відцентрової сили і аеродинамічного тиску.

***Ключові слова:** вібрації, обертання, рух частинки, сепарація, ступінчасто-конічне решето, рівняння руху.*

Постановка проблеми. Одним з найбільш складних та трудомістких процесів виробництва зерна являється його післязбиральна обробка. Частіше всього вона виконується на решітних зерноочисних машинах. При цьому якість очищення, а також величина втрат найбільшою мірою залежить від раціонального підбору решіт. В цьому плані набуває доцільність технічного вдосконалення решітних вібровідцентрових зерносепараторів, які практично досягли межі можливого підвищення ефективності при використанні циліндричних решіт. Конічна форма поверхні решета дозволяє інтенсифікувати видалення проходової фракції, знизити швидкість переміщення зерноматеріалу збільшуючи час фактичної сепарації. Використання конічно-ступінчастої поверхні збільшує робочу довжину решета і шлях переміщення матеріалу вздовж нього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми інтенсифікації процесу вібровідцентрового сепарації зернових матеріалів достатньо повно висвітлені в фундаментальній праці Л.Н. Тищенка [1], а

також інших вчених [2-4]. Дослідження руху зерна по поверхні конічного ступінчастого решета висвітлено в роботах [5, 6]. Досліджено, в основному, процес переміщення частинок у віброзрізженому шарі по поверхні, яка обертається і здійснює коливальний рух під дією окремих сил. Проте, комплексна дія вібраційного відцентрового і аеродинамічного полів на процеси в сепараторах із секційним роторним решетом вивчена недостатньо. Для вивчення дії повітряного потоку у вигляді струменю на зерно в зоні «переміщення» шару з однієї сходинки конуса на іншу необхідні додаткові дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи вібровідцентрових машин шляхом визначення впливу режимних факторів на якість сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решеті та отримання диференціальних рівнянь руху часток у віброзрізженому шарі при дії відцентрової сили і аеродинамічного тиску.

Результати досліджень. Для підвищення ефективності решітного сепарування необхідно інтенсифікувати



внутрішньо шарові процеси. Відомо [6, 7], що ефективність процесу сепарування визначається переважно двома факторами: інтенсивністю переміщення дрібних частинок з глибини шару матеріалу, що сепарується на поверхні решета і інтенсивністю просіювання їх крізь отвори решета. Вплив першого фактору визначається переважно станом шару матеріалу, що рухається вздовж поверхні. Інтенсивність просіювання залежить від швидкості руху на поверхні решета.

Ефективність роботи сепаратора (рис. 1) визначається повнотою виділення зерна та виділення дрібної фракції (підсвітними решетами).

Швидкість переміщення шару матеріалу і його розпушеність залежать від частоти коливного руху решета (у вертикальному напрямку).

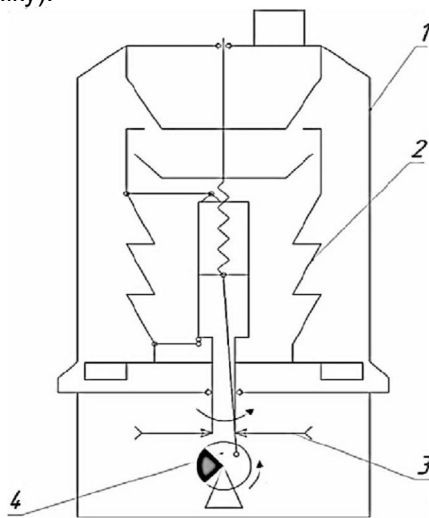


Рис. 1. Схема зерно сепаратора:
1 – корпус, 2 – решето, 3 – привід ротора,
4 – вібробуджувач

Так при збільшенні частоти коливань швидкість переміщення часток на поверхні збільшується, що призводить до зниження інтенсивності просіювання проходової фракції (при великих швидкостях руху зерна на решеті зменшується вірогідність попадання частинки у отвір [8]). При цьому інтенсифікується розпушування зернового шару, що сприяє збільшенню швидкості переміщення частинки в середині шару проходової фракції до поверхні решета.

Усічена конічна поверхня розташована на вісі обертання більшим перетином проти напрямку руху зернового шару (донизу). Саме це забезпечує необхідне зниження швидкості руху вздовж поверхні за рахунок дії складової відцентрової сили, що спрямована вздовж твірної конуса вгору.

Площа конічної поверхні у верхній частині обертового конуса має максимальне значення, що сприяє розсіюванню потоку зернового матеріалу по поверхні і відповідному зменшенню товщини шару, що і сприяє збільшенню кількості видаленої проходової фракції на одиницю довжини решета.

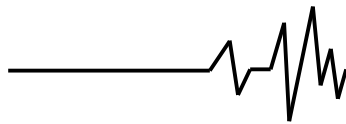
Таким чином, в процесі переміщення шару зернового матеріалу на конічній обертальній поверхні, що здійснює гармонічні коливання вздовж вертикальної вісі при інтенсифікації вібраційного впливу (збільшення частоти коливань) зростає розпушеність шару, збільшується швидкість переміщення частинки до поверхні решета і швидкості руху часток по поверхні решета; при цьому на початковій ділянці решета (більша основа конуса) товщина шару має мінімальне значення.

Просуваючись далі вздовж конічної поверхні донизу, швидкість переміщення знижується (за рахунок зменшення дії відцентрової сили) зменшення швидкості і площі перетину шару зерна призводить до збільшення його висоти, але в результаті просіювання дрібної фракції (її видалення із шару) висота останнього залишається практично незмінною.

Дія радіальної складової сили інерції в переносному коливальному русі суттєво збільшує розпушеність рухомого шару зерна, що інтенсифікує процес переміщення зернівок всередині шару до поверхні решета та їх просіювання крізь нього. Тому при інших рівних умовах ступінчасто-конічне решето більш ефективно і інтенсивно повинно поділяти зерновий матеріал на фракції.

Враховуючи однакову фізичну сутність процесів сепарування зерна вібровідцентровими решетами за аналогією з [5, 9] можна представити диференціальними рівняннями переміщення частинки всередині шару зернового матеріалу на конічній поверхні ступінчастого решета у вигляді:

$$\begin{cases} mx'' = m_1 A \omega^2 \sin \omega t \cdot \cos \beta - m_1 g \cos \beta + m_1 \Omega^2 x \sin \beta + R_{cx} \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \\ my'' = m_1 A \omega^2 \cos \omega t \cdot \cos \beta - m_1 g \sin \beta + m_1 \Omega^2 x \cos \beta + R_{cy} \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}, \end{cases} \quad (1)$$



де $m_1 = m - m_0$; m – маса частинки; m_0 – маса зернового шару в об'ємі частки (маса середовища); A, ω, Ω – амплітуда коливань, частота коливального і обертового руху ротора; β – кут нахилу твірної до вісі обертання; R_{cx}, R_{cy} – проекції сили опору переміщенню частки; y – координата вздовж твірної конуса; x – координата перпендикулярна до твірної конусу; t – час.

Якщо прийняти відповідно до [4] силу опору R_o пропорційною швидкості переміщення $V = \sqrt{x'^2 + y'^2}$ частки і коефіцієнту вібров'язкості $k_\mu = k(\omega, A, V)$

$$R_o = k_\mu \cdot \bar{V}, \quad (2)$$

то рівняння системи лінеаризуються і їх можна подати у вигляді:

$$A_1 \frac{d^2 y}{dt^2} + B_1 \frac{dy}{dt} + C_1 y = D_1 + P_1 \sin \omega t, \quad (3)$$

$$A_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + B_2 \frac{dx}{dt} + C_2 x = D_2 + P_2 \sin \omega t, \quad (4)$$

де $A_{1,2} = m$; $B_{1,2} = -k_\mu$;

$$C_1 = m_1 \Omega^2 \cos \beta; \quad C_2 = m_1 \Omega^2 \sin \beta;$$

$$D_1 = P_v + m_1 g \sin \beta; \quad D_2 = m_1 g \cos \beta;$$

$$P_1 = m_1 A \omega^2 \sin \beta; \quad P_2 = m_1 A \omega^2 \cos \beta;$$

P_v – сила аеродинамічного тиску на частку зерна в шарі.

Розв'язок неординарних диференціальних рівнянь другого порядку при початкових умовах: $t = 0$; $y = y_0$; $x = x_0$;

$$y_0 = \frac{R_o}{\cos \beta} \quad (\text{де } R_o \text{ – радіус нижньої основи}$$

конуса), $\frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dt} = 0$ знайдемо у вигляді

$$x(y), y(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + \frac{D_i}{C_i} - \frac{P_i}{a^2 + b^2}, \quad (5)$$

$$(b \sin \omega t - a \cos \omega t)$$

де $a = c - A_i \omega^2$, $b = B_i \omega$,

$$r_{1,2} = \frac{-B_i \pm \sqrt{B_i^2 - 4A_i C_i}}{2A_i},$$

$$C_2 = \frac{r_1 + r_2}{r_1} \left[\frac{R_o}{\cos \beta} - \frac{D_i}{C_i} - \frac{P_i}{a^2 + b^2} \left(a - \frac{b\omega}{r_1} \right) \right],$$

$$C_1 = \frac{P_i b \omega}{r_1 (a^2 + b^2)} + \frac{r_2}{r_1} C_2, \quad i = 1, 2.$$

Сила опору переміщенню частки у віброзрідженому шарі має складну залежність від стану зернового матеріалу, що характеризується пористістю ε , коефіцієнтом внутрішнього тертя f , "густиною" шару зерна ρ , вібраційним ущільнення зернової "постілі", що характеризується коефіцієнтом k_y і може бути наближено [4] визначена

$$R_c = \frac{3\pi}{5} r_r^3 f_1 \rho (1 - \varepsilon) q (1 + 0.12 f_1) k_y. \quad (6)$$

Але для практичних розрахунків руху частки в середині шару краще користуватися поняттям вібраційного коефіцієнта в'язкості, який можна визначити за емпіричною формулою [4].

Висновки

1. Показано, що ефективність процесу розділення зерна на вібровідцентровому решеті визначається інтенсивністю переміщення дрібних частинок через товщу шару зерна до поверхні решета і швидкістю пересування шару вздовж твірної конічної поверхні.

2. Отримано диференціальні рівняння руху часток у віброзрідженому шарі при дії відцентрової сили і аеродинамічного тиску.

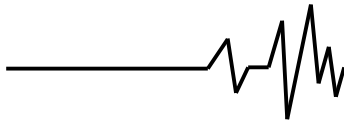
Список використаних джерел

1. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко. – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.

2. Авдеев Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна / Н.Е. Авдеев. – М.: Колос. 1975.

3. Котов Б.І. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння // Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Вибрації в техніці і технологіях. – 2004. – № 3 (35). – С.61–63.

4. Котов Б.І. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчато-



конічному решеті вібровідцентрових машин // Б.І. Котов, І.А. Деревенько, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко //Вібрації в техніці і технологіях. – 2016. – № 3 (83). – С.175–180.

5. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах / П.М. Заика – К.: УСХА. – 499 с.

6. Гончаров Е.С. Ступенчатое решето для виброцентробежных зерновых сепараторов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1984. – Вып. 30. – С.33–36.

7. Малуца С.И. Обоснование технологического процесса и параметров семяочистительной пневмоцентрифуги: Автореф. дис. к.т.н. – Глеваха, 1989. – 21 с.

Список джерел в транслітерації

1. Tishchenko L.N. Intensifikaciya separirovaniya zerna / L.N. Tishchenko. – Har'kov: Osнова, 2004. – 224 s.

2. Avdeev N.E. Centrobezhnye separatory dlya zerna / N.E. Avdeev. – M.: Kolos. 1975.

3. Kotov B.I. Doslidzhennya shlyahiv pidvishchennya efektyvnosti vibroreshitnih separatoriv zerna i nasinnya // B.I. Kotov, S.P. Stepanenko, M.G. Pastushenko //Vibracii v tekhnike i tekhnologiyah. – 2004. – № 3 (35). – S.61–63.

4. Kotov B.I. Teoretichni aspekty separacii zernovih materialiv na stupinchasto-konichnomu resheti vibroidcentrovih mashin // B.I. Kotov, I.A. Dereven'ko, S.P. Stepanenko, M.G. Pastushenko //Vibracii v tekhnike i tekhnologiyah. – 2016. – № 3 (83). – S.175–180.

5. Zaika P.M. Vibrationnoe peremeshchenie tverdyh i sypanykh tel v sel'skohozyajstvennykh mashinah / P.M. Zaika –K.: USKHA. – 499 s.

6. Goncharov E.S. Stupenchatoe resheto dlya vibrocentrobezhnykh zernovykh separatorov // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – K.: Urozhaj, 1984. – Vyp. 30. – S. 33–36.

7. Malyuta S.I. Obosnovanie tekhnologicheskogo processa i parametrov semyaochistitel'noj pnevmocentrifugi: Avtoref. dis. k.t.n. – Glevaha, 1989. – 21 s.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТУПЕНЧАТО-КОНИЧЕСКОМ РЕШЕТЕ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИН

Аннотація. В статті розглянуто процес виброцентробежної сепарації зернової суміші на ступенчато-конічному решеті. Проведено аналіз переміщення частини зернового матеріалу в шарі і на поверхності в процесі сепарації. Показано, що ефективність процесу розділення зерна на виброцентробежному решеті визначається інтенсивністю переміщення малих частинок через товщину шару зерна к поверхності решета і швидкістю передвиження шару вздовж образуючої конічної поверхності. Отримано дифференціальні рівняння руху частини в виброоживленому шарі при дії центробежної сили і аеродинамічного тиску.

Ключевые слова: вібрації, обертання, рух частини, сепарація, ступенчато-конічне решето, рівняння руху.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF SEPARATION OF GRAIN-GROWING MATERIALS ON STEP- CONICAL SIEVE OF VIBROCENTRIFUGAL MACHINES

Annotation. In the article the process of vibrocentrifugal separation of grain mixture is considered on a step-conical sieve. The analysis of moving of particle of grain-growing material is conducted in a layer and on a surface in the process of separation. It is shown that efficiency of process of division of grain on a vibrocentrifugal sieve is determined by intensity of moving of shallow particles through the layer of layer of grain to the surface of sieve and speed of movement of layer along a formative conical surface. Differential equalizations of motion of parts are got in the vibrofluidized layer at the action of centrifugal force and aerodynamic pressure.

Key words: vibrations, rotations, motion of particle, separation, step-conical sieve, equalization of motion.