

УДК 631.331

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УДАРУ НАСІНИНИ ДО ЗГИНУ ПНЕВМОЕЛЕКТРИЧНОГО КАНАЛУ

Ковалишин С.Й., к.т.н., Дадак В.О., к.т.н.
(Львівський національний аграрний університет)

Розглянуто під дією гравітаційних, електричних та сил повітряного потоку поведінку еліпсоїдних частинок в пневмоелектричному каналі з урахуванням їх удару до його зігнутої частини. Отримано диференціальні рівняння, які відображають математичну модель руху даних частинок під дією цих сил. Дана модель описує процес переміщення частинок в каналі пневмоелектросепаратора, дозволяє в будь-який момент часу розрахувати координати траєкторій руху. На підставі їх аналізу можна досліджувати вплив регульованих параметрів на процес пневмоелектросепарування та визначати їх оптимальні параметри, за яких найефективніше проходить розділення досліджуваних насінневих сумішей, компоненти яких є еліпсоїдної форми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед існуючих насіннеочисних машин, які використовуються в процесі післязбиральної обробки важкорозділюваних насінневих сумішей, значне місце відводиться пневмосепараторам, де очистка насінневого матеріалу здійснюється за аеродинамічними властивостями компонентів суміші [1,2].

Теоретичними дослідженнями широко висвітлено питання пневмосепарування [5, 6, 7, 21]. В основному вони присвячені визначенню критичної швидкості витання та коефіцієнтів парусності компонентів насінневих сумішей [5, 20], розрахункам повітряного потоку [10], обґрунтуванню параметрів вентиляторів для їх створення [7,9], визначенню конструктивних форм і геометричних розмірів пневмоканалі в [10] тощо.

Досліджувалась також силова взаємодія частинок насінневих сумішей з повітряним потоком [11], її вплив на траєкторії руху, на підставі чого встановлювали можливість їх розділення за аеродинамічними властивостями [14]. Силова взаємодія враховувала сукупний вплив на частинки сили тяжіння та повітряного потоку. Проте існуючі технічні засоби, в яких розділення проходить в повітряному потоці, не забезпечують якісної очистки насінневих сумішей від багатьох домішок бур'янів, особливо важкорозділюваних, а також відділення від основної маси неповноцінних (без зародків) насінин культури [3,4,12]. Основною причиною цього є подібність за основними фізико-механічними властивостями, особливо аеродинамічними, компонентів сепарувальних сумішей [15, 19]. Внаслідок цього неможливо забезпечити їх ефективне розділення. За таких умов необхідно використовувати додатковий

силовий вплив на розділювані компоненти, який можна забезпечити створенням у вертикальному каналі електричного поля.

Удосконалити процес пневмосепарування можливо використанням в їх сепарувальних каналах як додаткового робочого органу електричного поля [4]. За таких умов на насінніві частинки діятиме також електрична сила. В роботі [8,16] теоретично описано процес орієнтації еліпсоїдних частинок в каналі пневмоелектросепаратора під впливом додаткового силового фактора – дії електричного поля. Проте математичний опис поведінки цих частинок відображає ідеальний випадок – рух без взаємних зіткнень і ударів до стінок каналу. В реальності еліпсоїдні частинки компонентів сепарувальних сумішей часто контактують між собою, а частіше – зі стінками каналу, що вимагає детальніших теоретичних досліджень, спрямованих на точніше відображення процесу пневмоелектросепарування у вертикальному каналі.

Постановка завдання. Метою роботи було підвищення ефективності пневмоелектричного сепарування важкорозділюваних насінневих сумішей, компоненти яких є еліпсоїдної форми, завдяки математичному моделюванню процесу їх переміщення у вертикальному каналі з врахуванням їх удару до зігнутої частини пневмоканалу.

Виклад основного матеріалу. Частинки, які під дією повітряного потоку рухаються вгору, в деякий момент часу t_1 ударяються до згину каналу і перебувають під певним кутом нахилу до нього. Цей випадок можливо змоделювати та розглядати як удар насінини до похилої площини (рис. 1.):

$$y = y_d - tg\beta(x - x_d), \quad (1)$$

де x_d, y_d – координати точки D_1 ;
 β - кут нахилу стінки пневмоканалу.

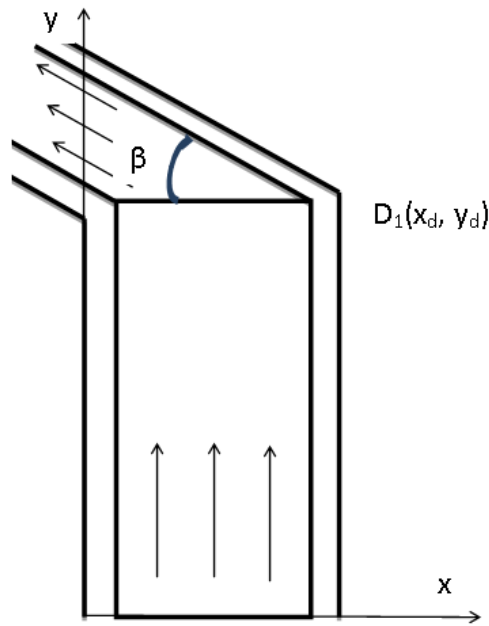


Рисунок 1 - Схема зігнутої частини пневмоканалу

Для знаходження координат (x_n, y_n) точки контакту D_1 насінини із похилою площиною необхідно розв'язати систему рівнянь, що складається з рівняння (1) та рівняння еліпса:

$$\frac{((x - x_c)\cos\varphi + (y - y_c)\sin\varphi - L_c)^2}{b^2} + \frac{((y - y_c)\cos\varphi - (x - x_c)\sin\varphi)^2}{a^2} = 1. \quad (2)$$

Підставивши (1) у (2), одержимо квадратне рівняння відносно абсциси x_n точки контакту частинки з пневмоканалом:

$$Ax_n - 2Bx_n + C = 0, \quad (3)$$

де:

$$A = \frac{d_1^2}{b^2} + \frac{d_3^2}{a^2}; \quad B = \frac{d_1 d_2}{b^2} + \frac{d_3 d_4}{a^2}; \quad C = \frac{d_2^2}{b^2} + \frac{d_4^2}{a^2};$$

$$d_1 = \cos\varphi - \sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\beta;$$

$$d_2 = x_c \cos\varphi + L_c + (y_c - y_d - x_d \cdot \operatorname{tg}\beta) \cdot \sin\varphi; \quad d_3 = -\sin\varphi - \cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\beta;$$

$$d_4 = (y_c - y_d - x_d \cdot \operatorname{tg}\beta) \cos\varphi - x_c \cdot \sin\varphi.$$

З рівняння (3) визначимо координати x_n і y_n :

$$x_n = \frac{B}{A} \mp \sqrt{\left(\frac{B}{A}\right)^2 - \frac{C}{A}};$$

$$y_n = y_d - \operatorname{tg}\beta \cdot (x_n - x_d). \quad (4)$$

Оскільки пряма, що описана рівнянням (1), не перетинає еліпс, описаний (2), а лише дотикається, то дискримінант рівняння (3) повинен дорівнювати нулю. Тобто:

$$\left(\frac{B}{A}\right)^2 - \frac{C}{A} = 0. \quad (5)$$

Оскільки (x_c, y_c, φ) , які входять у вирази A, B, C є функціями часу, то з рівняння (5) знаходимо момент часу t_l , за якого відбувається контакт насінини з площиною. Для цього моменту визначено: координати (x_n, y_n) ; кінематичні характеристики насінини (x_c, y_c, φ) , які характеризують її положення; проекції швидкостей центру мас; значення кутової швидкості:

$$\omega_0 = \left. \frac{d\varphi}{dt} \right|_{t=l}. \quad (6)$$

Проекції швидкості точки H частинки, яка контактує з площиною, визначено з рівнянь:

$$\begin{aligned} V_{nx} &= V_{cx} - \omega_0(y_n - y_c); \\ V_{ny} &= V_{cy} - \omega_0(x_n - x_c), \end{aligned} \quad (7)$$

де V_{cx}, V_{cy} – проекції швидкості центру мас у момент удару;
 x_c, y_c – координати центру мас частинки в момент удару.

Проекції вектора швидкості на нормаль та дотичну до площини знаходимо за формулами:

$$\begin{aligned} V_{n\tau} &= V_{ny} \sin \beta - V_{nx} \cos \beta; \\ V_{nn} &= V_{ny} \cos \beta - V_{nx} \sin \beta. \end{aligned} \quad (8)$$

Після удару нормальна складова U_{nn} швидкості частинки насінневої суміші рівна:

$$U_{nn} = -KV_{nn} = -K(V_{ny} \cos \beta + V_{nx} \sin \beta). \quad (9)$$

З іншого боку:

$$U_{nn} = U_{cy} + \omega(x_n - x_0)(\cos \beta) + (U_{cx} - \omega_1(y_n - y_c))\sin \beta, \quad (10)$$

де U_{cx}, U_{cy} – значення проекцій швидкості центра мас після удару;
 ω_1 – відповідне значення кутової швидкості після удару.

Для знаходження їх значень використано теорему про зміну кількості руху та моменту кількості руху механічної системи при ударі. Відповідно до неї складено ще три рівняння:

$$\begin{aligned} m(U_{cx} - V_{cx}) &= S_n \cdot \sin \beta - S_\tau \cdot \cos \beta; \\ m(U_{cy} - V_{cy}) &= S_\tau \cdot \sin \beta - S_n \cdot \cos \beta; \\ I(\omega_1 - \omega_0) &= S_n \cdot \cos \beta (x_n - x_c) - S_n \cdot \sin \beta (y_n - y_c) + S_\tau \cdot \sin \beta (x_n - x_c) + S_\tau \cdot \cos \beta (y_n - y_c). \end{aligned} \quad (11)$$

Спільним розв'язком рівнянь (10) та системи (11) є значення швидкості насінини після удару до похилої площини:

$$\begin{aligned} U_{cy} &= \frac{h_6(\sin \beta + h_4 + h_3) + \frac{h_1 \cdot h_5}{h_2}}{\Delta}; \\ U_{cx} &= \frac{h_5 - \sin \beta \cdot h_6}{\Delta}; \\ \omega_1 &= \omega_0 + h_3(U_{cx} - V_{cx}), \end{aligned} \quad (12)$$

де:

$$\begin{aligned} h_1 &= \sin \beta + f \cos \beta; \\ h_2 &= \cos \beta + f \sin \beta; \\ h_3 &= \left((x_n - x_c + f(Y_n - Y_c)) \cos \beta - (Y_n - Y_c - f(x_n - x_c)) \sin \beta \right) \frac{m}{Ih_1}; \\ h_4 &= (x_n - x_3) \cos \beta - (Y_n - Y_c) \sin \beta; \\ \Delta &= \sin \beta + h_4 \cdot h_5 + \frac{h_2}{h_2} \cos \beta; \\ h_5 &= -(K_1 \cdot V_m + h_4(\omega_0 - h_3 \cdot V_{cx})); \\ h_6 &= V_{cy} - \frac{h_2}{h_1} \cdot V_{cx}. \end{aligned}$$

Після удару до похилої площини пневмоканалу (див. рис. 1), насінина потрапляє у вежовий сепаратор, де відсутнє електростатичне поле. На цьому етапі її руху на неї не діє електростатична сила F_e , напрямок повітряного потоку стає горизонтальним. Диференціальні рівняння руху насінини на цій ділянці матимуть вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -K \left(V_p - \frac{dx_c}{dt} \right) A_1 + K \frac{d\varphi}{dt} \cdot \pi ab L_c \sin \varphi; \\ m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = -mg - K \frac{dy_c}{dt} A_2 - K \frac{d\varphi}{dt} \cdot \pi ab L_c \cos \varphi; \\ I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = K \left(V_p - \frac{dx_c}{dt} \right) A_1 L_c \sin \varphi - \frac{d\varphi}{dt} KH + K \frac{dy_c}{dt} A_2 L_c \cos \varphi. \end{cases} \quad (13)$$

Суттєва відмінність цього етапу руху частинок – повітряний потік діє вздовж Ox і відсутня електростатична сила F_e .

Одержана система диференціальних рівнянь представляє математичну модель поведінки частинки насінневої суміші еліпсоїдної форми в каналі пневмоелектричного сепаратора під сукупною дією сил: тяжіння, електростатичного поля та повітряного потоку за умови удару до зігнутої частини. Її розв'язок дозволяє знаходити координати центру мас як функції часу, а також величину кута повороту частинки навколо центру мас у довільний момент часу.

Висновки

1. Завдяки врахуванню сукупної дії на насінини еліпсоїдної форми гравітаційних, електричних та сили повітряного потоку отримано диференціальні рівняння, які відображають математичну модель їх руху в каналі пневмоелектричного сепаратора із врахуванням удару до зігнутої частини сепарувального каналу.

2. Розроблено математичну модель поведінки частинок компонентів насінневої суміші із врахуванням удару до стінки сепарувального каналу дозволяє в будь-який момент часу розрахувати координати траєкторії руху, на підставі аналізу яких можна робити висновок про можливість їх розділення у вертикальному пневмоелектричному каналі.

3. На підставі теоретичних досліджень можна моделювати процес переміщення частинок еліпсоїдної форми в каналі пневмоелектросепаратора, досліджувати вплив на нього регульованих параметрів та оптимізувати їх значення, за яких найефективніше проходитиме розділення насінневої суміші.

Бібліографічний список

1. Боженко А.І. Сучасні технології виробництва насіння багаторічних трав. / А.І. Боженко // Посібник українського хлібороба. - 2012. - С. 156-161.
2. ДСТУ 7160:2010 «Насіння овочевих, баштанних, кормових і пряно-ароматичних культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови»
3. Антонів С.Ф. Насінництво злакових трав. / С.Ф. Антонів // Ж. Насінництво. – 2005. – №11. - С. 7-18.
4. Петриченко В.Ф., Антонів С.Ф., Бугайов В.Д. Технології вирощування бобових і злакових трав на насіння. / В.Ф. Петриченко, С.Ф. Антонів, В.Д. Бугайов // 2005. - С.52.
5. Бакум М.В. Дослідження руху часток в квазігоризонтальному каналі пневматичних сепараторів. / М.В. Бакум, В.П. Ольшанський, М.М. Кречот. // ХНТУСГ.
6. Єрмак В.П., Обґрунтування способу сепарування соняшника у повітряних потоках: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Луганськ, 2003. 21с.
7. Бакум М.В. Дослідження впливу основних параметрів пневматичного сепаратора на якість очищення насіння редиски / М.В. Бакум, М.М. Кречот //

Сільськогосподарські машини: Збірник наук. ст. – Вип. 18. Луцьк. ЛНТУ, 2009. – С. 14-19.

8. Мачнев А.В. Движение семени при ударе о поверхность распределителя семян. / А.В. Мачнев. // Техника в сельском хозяйстве. – 2005. - №4.

9. Петренко М.М. Дослідження траєкторії домішок в повітряному потоці. / М.М. Петренко, В.А. Онопа, О.А. Кислун, В.В. Онопа. // Кіровоградський національний технічний університет.

10. Туров А.К. Моделирование поля скоростей воздушного потока в пневмовинтовом канале. / А.К. Туров, А.А. Мезенов, Е.А. Пшенов. // Техника в сельском хозяйстве. - 2013. - №2.

11. А.Н. Зюлин. Интенсификация процесса сепарации зерна в пневмоканалах с восходящим воздушным потоком. / Зюлин А.Н. // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2005. - № 4.

12. Ковалишин С. Й. Оцінка та виявлення нових ознак подільності дрібно насінневих сумішей сільськогосподарських культур. / В. Паранюк, В. Дадак, В. Соколюк // Motrol: Motorization and power industry in agriculture – Lublin: Commision of motorization and power industry in agriculture – Vol. 14D – 2012. – P. 95-103.

13. Хамуев В.Г. Сравнительная оценка качества разделения зернового материала пневмосепарирующими устройствами. / Хамуев В.Г. // Техника в сельском хозяйстве. - 2008. - №5. - С. 23-26.

14. Совершенствование конструкции канала второй аспирации [Тарасенко А.П., Орбинский В.И., Гиевский А.М., Суднеев А.А.] : Техника в сельском хозяйстве. – 2009. - №2.- С. 29-31.

15. Дадак В.О. Підвищення ефективності пневмосепарування насіння кормових трав. / В.О. Дадак // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, «Технічні системи і технології рослинництва». - 2014. - Вип. 144. – С. 225-232.

16. Kovalyshyn S.J. Use of the electro-separation method for improvement of the utility value of winter rapeseeds. // S.J. Kovalyshyn, O.P. Shvets, S. Grundas, and J. Tys // Int. Agrophysics. 2013.–Т. 27, – S. 491-494.

17. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. для студ. ВНЗ / С. С. Яцун, М. Я. Довжик ; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Університетська книга, 2008. – 543 с.

18. Єрмак В. П. Дослідження раціональної швидкості повітряного потоку на поверхні робочого органу аеродинамічного сепаратора / В. П. Єрмак, Є.В. Богданов, А.А. Ільченко // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2011 – Вип. 108. – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка – С. 108-111.

19. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин / П. М. Заїка // Очистка і сортування насіння. – 2006. – Т. 3. – Харків : Око. – 408 с: 111 іл.

20. Kovalyshyn S.J. Ways of improvement of post-harvest preparation of small seeded cultivated plants / S.J. Kovalyshyn, V. O. Dadak, V.V. Sokolyk // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – Lublin. 2014.: Commision of motorization and power industry in agriculture. – Vol. 16D. 38-44.

21. Batluk V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow / V. Batluk, M. Basov, V. Klymets // Econtechmod : an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. - Lublin ; Rzeszow, 2013. - Volum 2, № 3. - P. 17-24.

Аннотация

Теоретическое моделирование удара семени к изгибу пневмоэлектрического канала Ковалишин С.И., Дадак В.А.

Рассмотрено под действием гравитационных, электрических и сил воздушного потока поведение эллипсоидальных частиц в пневмоэлектрическом канале с учетом их удара к его согнутой стенке. Получены дифференциальные уравнения, отражающие математическую модель движения данных частиц под действием этих сил. Данная модель описывает процесс перемещения частиц в канале пневмоэлектросепаратора, позволяет в любой момент времени рассчитать координаты траекторий движения. На основании их анализа можно исследовать влияние регулируемых параметров на процесс пневмоэлектросепарирования и определять их оптимальные параметры, при которых наиболее эффективно проходит разделение исследуемых семенных смесей, компоненты которых есть эллипсоидной формы.

Abstract

Theoretical modeling effort seed to bend pneumo separator channel

S. Kovalyshyn, V. Dadak

Considered under the influence of gravity, electric power and air flow behavior of ellipsoidal particles pneumo-electrical channel based on their impact to the wall. The differential equation that reflect the mathematical model of the particles under the influence of these forces. This model describes the movement of particles in the channel pneumo-electrical separator allows at any time to calculate the coordinates of trajectories. Based on their analysis can explore the influence of controlled process parameters on pneumo-electrical separation and determine their optimal parameters under which the separation is effectively investigated seed mixtures, the components of which are ellipsoid shape.