

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ДРІБНОГО ВОРОХУ ВІБРАЦІЙНО– ПОВІТРЯНИМИ ОЧИСТКАМИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

Котов Борис Іванович д.т.н., професор
Спірін Анатолій Володимирович к.т.н., доцент
Зозуляк Оксана Володимирівна асистент
Вінницький національний аграрний університет
Kotov B.
Spirin A.
Zozuliak O.
Vinnitsa National Agrarian University

Анотація: наведено математичні моделі і розрахункові формули для визначення траєкторії руху зернини в шарі зерно соломистого вороху на повітряно– решітних очистках комбайну

Ключові слова: сепарація, зерно соломистий ворох, вібраційне переміщення, повітряний потік, зерно, очистка.

Постановка проблеми

Очистка дрібного зерносоломистого вороху зернозбиральних комбайнів є одним з основних процесів, що стримують продуктивність комбайна та обумовлюють показники якості (в тому числі і величину втрат зерна) його роботи. Інтенсифікація процесів обмолоту зернової маси та сепарації зерна з грубого вороху в сучасних зернозбиральних комбайнах призводить до збільшення виходу соломистих фракцій на очистку, що спричиняє її перевантаження та, як наслідок, зростання втрат зерна [1,2]. Це зумовлює необхідність постійного вдосконалення технологічних схем і режимів роботи молотильно– сепаруючих органів зернозбиральних комбайнів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз конструкцій робочих органів комбайнів і досліджень процесів сепарації дрібного зерносоломистого вороху [2,3,4] свідчать, що підвищення пропускної здатності віброрешітних повітряних очисток здійснюється шляхом збільшення робочої площі сепарації. Проте це призводить до збільшення маси очисток і не завжди забезпечує підвищення ефективності роботи, що вказує на недостатнє вивчення процесу сепарації дрібного зерносоломистого вороху в повітряно– решітних очистках.

Для визначення раціональних конструктивно– технологічних і режимних параметрів сепаруючих робочих органів (решітного типу) , що визначають ефективність процесу розділення дрібного зерно соломистого вороху, необхідно вивчити рух шару вороху по робочих поверхнях і переміщення всередині шару окремих зерен.

Рух часток по поверхні решета при дії вібрації і повітряного потоку достатньо повно висвітлено в роботах [1– 4], а питання переміщення часток у вібропневмозрідженому шарі вороху і визначення опору переміщенню залишилися поза увагою.

Мета досліджень

Отримати аналітичні залежності для визначення закономірності руху частинки у вібропневмозрідженому шарі зерносоломистого вороху.

Результати досліджень

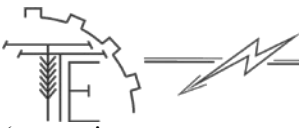
Основою для підвищення пропускної здатності повітряно– решітних сепараторів (очисток) може бути інтенсифікація процесу просіювання зерна через шар дрібного зерносоломистого вороху. Розглянемо рух частинки ефективною масою m у шарі зерносоломистого вороху, який рухається по жалюзійному решету.

Рівняння відносного руху частинки в коливальному середовищі може бути записано у формі, що справедлива для будь– якого безперервного середовища [5]:

$$m\bar{V} = m_0(\Delta - 1)\bar{g} - \bar{F} - m_0(\Delta - 1)\bar{U} , \quad (1)$$

де \bar{V} – вектор швидкості частинки відносно середовища;

\bar{U} – абсолютна швидкість середовища в точці, що співпадає з центром тяжіння частинки



(швидкість переносного руху);

m_0 – маса середовища в об'ємі, який дорівнює об'єму частки;

$m = m_c + m^1$ – ефективна маса частинки; де m_c – маса речовини власне самої частинки; m^1 – так звана приєднана маса, тобто маса середовища, що захватується частинкою і рухається разом з нею; $\Delta = m/m_0$;

\bar{F} – сила опору відносному руху частинки.

Внаслідок сумісної дії механічних коливань решітки і нахилоного повітряного потоку дрібний зерновий ворох псевдорозріджується утворюючи “киплячий” шар. Пористість шару збільшується й зростає ймовірність проходження зерна крізь шар, забезпечуючи мінімальні втрати зерна за очисткою. Оскільки шар вороху набуває “зрідженого” стану, то його характеристиками можуть бути пористість ε та ефективна в'язкість.

При наданні коливань «середовищу», тобто шару зерносоромистого вороху за гармонічним законом величина \bar{U} визначиться:

$$\dot{U} = A\omega^2 \sin \omega t \quad (2)$$

де A, ω – амплітуда і частота коливань решета.

Таким чином рівняння (1) можна використати для моделювання переміщення частки у віброзрідженому коливальному середовищі.

Приймаючи, як перше наближення, гіпотезу стоксовського руху частинки у вібров'язкому середовищі [7], визначимо силу опору $F(V)$, як лінійну функцію швидкості руху частинки:

$$F = k \cdot V, \quad (3)$$

де $k = 3\pi d_e g \mathcal{G}_c$ – коефіцієнт в'язкості; d_e – еквівалентний діаметр зернівки; \mathcal{G}_c – ефективна в'язкість середовища.

В рівнянні (1) слід врахувати додатковим членом дію сили повітряного потоку [6]:

$$P_v = mk_{\Pi}(V_v - V)^2 \quad (4)$$

де $k_{\Pi} = 6,5d_e^{-0,5} \varepsilon^n \rho_v S$, ε – пористість шару; ρ_v – густина повітря; S – площа міделева перетину; n – емпіричний коефіцієнт, що залежить від кінематичного та аеродинамічного режимів.

З урахуванням (3), (4) і (1) рівняння відносного руху частинки у вібропневмозрідженому середовищі в проекціях на вісі $ХОУ$ рухомої системи координат яка жорстко пов'язана з рухомою опорною поверхнею, приймуть наступний вигляд:

$$\frac{d^2 \chi}{dt^2} + k_x \frac{d\chi}{dt} = F_x - A_x \sin \omega t, \quad (5)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + k_y \frac{dy}{dt} = F_y - A_y \sin \omega t, \quad (6)$$

де $k_{x,y}$ – коефіцієнти опору руху частинки в напрямку OX та OY (OX – координата вздовж решітки, OY – нормально до решітки).

$$F_x = m^1 g \sin \alpha - \frac{k_{\Pi}}{m} V_{\Pi}^2 \cos \varphi$$

$$F_y = m^1 g \cos \alpha - \frac{k_{\Pi}}{m} V_{\Pi}^2 \sin \varphi$$

$$A_x = m^1 A \omega^2 \cos \beta$$

$$A_y = m^1 A \omega^2 \sin \beta$$

$$m^1 = \Delta - 1$$

В системі координат $ХОУ$ проекції траєкторії руху частинки будуть розв'язками диференціальних рівнянь (5) і (6).

Розв'язок неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку стандартний [6] і при початкових умовах: $t = 0$; $y = y_0$; $\chi = \chi_0$; $\frac{d\chi}{dt} = \frac{dy}{dt} = 0$

може бути записаний у вигляді:



$$\chi(t), y(t) = c_{\chi,y}^1 + \frac{F_{\chi,y}}{k_{\chi,y}} t + c_{\chi,y}^1 \cdot e^{-k_{\chi,y} t} + R_{\chi,y}^1 \sin \omega t + E^1 \cos \omega t, \quad (7)$$

$$\text{де } c_{\chi,y}^1 = \chi_{0,y_0} - \frac{R_{\chi,y}}{k_{\chi,y}} (\omega - 1) - E_{\chi,y}$$

$$c_{\chi,y}^1 = \frac{R_{\chi,y}}{k_{\chi,y}} (\omega + 1); E_{\chi,y} = -\frac{k_{\chi,y} A}{\omega(k_{\chi,y}^2 - \omega^2)}; R_{\chi,y} = \frac{A}{k_{\chi,y}^2 - \omega^2}.$$

Величина ефективного коефіцієнту опору, враховуючи неоднорідність і анізотропію складу вороху, буде різнитися в напрямках руху ОХ і ОУ, тому в розв'язках вони мають різні значення k_{χ} і k_y , навіть якщо прийняти форму частинки у вигляді кулі.

Знаючи параметри кінематичного режиму A, ω та швидкість повітря в шарі вороху $V_{cp} = \frac{V_{\Pi}}{\varepsilon}$ і визначивши величини $k_{\chi,y}$ і k_{Π} з рівнянь (7) для $\chi(t)$ і $y(t)$ можна визначити траєкторії руху частинки в шарі (визначивши значення переміщення χ_i та y_i для кожного t_i).

В рівняннях (5) і (6) по дві невідомі величини k_{Π} і $k_{\chi,y}$, які можна визначити безпосередньо експериментальним шляхом за методикою наведеною в [7,8].

При стаціонарному режимі переміщення шару дрібносолomiteного вороху вздовж решітної поверхні очисток, які здійснюють гармонічні коливання при дії на шар незмінного в часі повітряного потоку, шар вороху можна представити як коливальне середовище із сталими параметрами. Рух зернинки в такому середовищі можна описати спрощеним рівнянням руху частинки в середовищі з опором [7]:

$$m \frac{dV}{dt} = (m - m_0)g - k_c V - k_{\Pi} V^2, \quad (8)$$

де m, m_0 – маса частинки і маса середовища в об'ємі частинки;

k_c – коефіцієнт вібров'язкого опору середовища;

k_{Π} – коефіцієнт повітряного опору;

V – швидкість переміщення частинки в шарі вороху.

Розв'язок рівняння (8) за початкових умов: $t=0$; $V=V_0$; $S=0$ отримано у вигляді залежності величини переміщення S частинки масою m в шарі середовища з опором, який характеризується коефіцієнтом опору k_c .

$$S = \alpha t - \frac{m}{k_c} (\alpha - V_0) \left(1 - e^{-\frac{k_c t}{m}} \right) \quad (9)$$

В рівнянні (9) дві невідомі величини: k_c і коефіцієнт

$$\alpha = \frac{m - m_0}{k_c} - k_{\Pi} \frac{V_{\Pi}^2}{k_c} \quad (10)$$

Тому визначивши експериментально величини переміщення частинки в шарі S_1 за час t_1 і S_2 за час t_2 та підставивши отримані значення в рівняння (9), матимемо систему рівнянь

$$\begin{cases} S_1 = \alpha t_1 - \frac{m}{k_c} (\alpha - V_0) \left(1 - e^{-\frac{k_c t_1}{m}} \right) \\ S_2 = \alpha t_2 - \frac{m}{k_c} (\alpha - V_0) \left(1 - e^{-\frac{k_c t_2}{m}} \right) \end{cases} \quad (11)$$

з якої визначимо величини k_c та α . Після цього із співвідношення (10) визначимо величину коефіцієнта аеродинамічного опору частинки в шарі k_{Π} .

Висновки

1. Отримана математична модель просіювання зернівок у вібропневмомозридженому шарі соломистого вороху, що пересувається вздовж поверхні жалюзійної решітки.

2. Визначені залежності переміщення зернівки від часу при встановленому кінематичному і



повітряному режимам решета, які дають можливість визначити коефіцієнти вібраційного та аеродинамічного опору.

Список літератури

1. Кузьмич А.Я. Обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючих поверхонь повітряно-решітних очисток комбайнів / А.Я. Кузьмич. Автореф. дис. канд. техн. наук. Глеваха.: 2013 – 18 с.
2. Алферов С.А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов / С.А. Алферов. М.: Агрпромиздат. – 1987. – 159 с.
3. Богуславський В.П. До питання обґрунтування параметрів уніфікованих сепаруючих поверхонь очисток зернозбиральних комбайнів / В.П. Богуславський, А.Я. Кузьмич // Вісник Львівського державного аграрного університету. – 2001, №5. С.74–79.
4. Кузьмич А.Я. Дослідження процесу сепарації дрібного зерносолостого вороху в повітряно-решітних очистках / А.Я. Кузьмич // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. – 2000. Вип.83, С.196–199.
5. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. М.: Наука. – 1964 – 410 с.
6. Котов Б.И. Вибропневматичне розділення насінневих сумішей / Б.И. Котов // Вісник аграрної науки. – 2004. №5. – С.55–58.
7. Котов Б.И. Ідентифікація параметрів сипкого середовища у віброзрідженому стані за експериментальними даними / Б.И. Котов // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – К.: 2003. Том XV. С.161–163.
8. Баркан Д.Д. Виброметод в строительстве / Д.Д. Баркан М.: Госстройиздат. – 1959. – 313 с.

References

1. Kuzmich A.YA. Obhruntuvannya parametriv ta rezhimiv roboty separuyuchikh poverkhon povitryano-reshitnikh ochystok kombayniv / A.YA. Kuzmich. Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Hlevakha. : 2013 – 18 s.
2. Alferov S.A. Vozdushno-reshetnyye ochistki zernouborochnykh kombaynov / S.A. Alferov. M. : Agropromizdat. – 1987. – 159 s.
3. Bohuslavskyy V.P. Do pytannya obhruntuvannya parametriv unifikovanih separuyuchikh poverkhon ochystok zernozbyralnyy kombayniv / V.P. Bohuslavskyy, A.YA. Kuzmich // Visnyk Lvivskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu. – 2001, №5. S.74–79.
4. Kuzmich A.YA. Doslidzhennya protsessa separatsiyi dribnoho zernosolomistoho vorokhu v povitryano-reshitnikh ochystkakh / A.YA. Kuzmich // Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya silskoho hospodarstva. Hlevakha. – 2000. Vip.83, S.196–199.
5. Blekhmana I.I. Vibratsionnoye peremeshcheniye / I.I. Blekhmana, G.YU. Dzhanelidze. M.: Nauka. – 1964 – 410 s.
6. Kotov B.I. Vibropnevmatichne rozdilennya nasinnyevikh sumishey / B.I. Kotov // Visnyk ahrarnoyi nauky. – 2004. №5. – S.55–58.
8. Barkan D.D. Vibrometod v stroitel'stve / D.D. Zabor M. : Gosstroyizdat. – 1959. – 313 s.
7. Kotov B.I. Identyfikatsiya parametriv Sypko seredovyshcha u vibrozridzhenomu stani za eksperymentalnoho danimi / B.I. Kotov // Zbirnyk naukovykh prats natsionalnoho ahrarnoho universytetu. – K. : 2003. Tom XV. S.161–163.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МЕЛКОГО ВОРОХУ ВИБРАЦИОННО–ВОЗДУШНЫМИ ОЧИСТИТЕЛЯМИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Аннотация: представлены математическая модель и расчетные формулы для определения траектории перемещения зерновки в слое зерносолостого вороха который движется на колеблющейся поверхности воздушно–решетной очистки комбайна.

Ключевые слова: сепарация, зерносолостый ворох, вибрационное перемещение, воздушный поток, зерно, решетная очистка, комбайн.

MODELING AND IDENTIFICATION OF WOROCH SEPARATION OF SMALL VIBRATING AIR CLEANING COMBINE HARVESTERS

Summary: the mathematical models and formulas to determine the trajectory of a seed layer grain solomystoho Woroch for purification of air–reshitnyh combine

Keywords: separation, grain solomystyy voroch, vibrating movement, air flow, grain cleaning.