

Oleksandr Kistechok, eng.

Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Zaporozhye region, Ukraine

Working indicators of arable machine-tractor unit which created according to the «push-pull» scheme

Receiving and analysis of experimental assessment results of trajectory, traction, power and agrotechnical indicators of operation of the arable unit working according to the scheme «push-pull» with «2+4» number of the bodies. When carrying out researches methods of machine using, field experiments and processing of their results with use of the correlation and spectral analysis are used. The obtained experimental data indicate that the working width of the aggregate which created according to the «push-pull» – «2+4» was by 20.9% greater than that of the aggregate created according to the scheme «0+5». Working speed of movement of first aggregate was by 1.5% lower, because of advantage in a working width productivity of its work was 19.5% higher. Therefore the specific fuel consumption by the aggregate created according to the scheme «2+4» turned out to be by 11.5% lower. The mean root square deviation in the depth of ploughing by both the compared aggregates did not exceed the agrotechnical requirements (± 2 cm); however the use of a ploughing aggregate, created according to the scheme «push-pull» – «2+4», ensures soil cultivation with more uniform plough by depth. The arable unit consisting of a tractor HTZ-16131 and front-mounted double-bodies and a rear-mounted four-bodies ploughs («2+4») in comparison with the machine-tractor unit consisting of a same tractor and five-bodies rear-mounted plough («0+5») has bigger on 19.5% work performance and lower by 11.5% specific fuel consumption. Use of the arable machine-tractor unit which works according to the scheme «2+4» allows to process the soil with bigger stability of plows bodies movement on depth.

machine-tractor unit, plowed land, aggregation, «push-pull», frontal plow, productivity, fuel consumption

Одержано 17.10.16

УДК 631.362.36; 633.1

Б. І. Котов, проф., д-р техн. наук

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., В.О. Швидя, канд. техн. наук

Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, с.м.т. Глеваха, Україна, E-mail: stepanenko_s@ukr.net

Технологічні аспекти сепарації зерна у вертикальному каналі

У статті розглянуто питання підвищення ефективності вібровідцентрового сепаратора з ступінчасто-конічним решето, шляхом дії примусового повітряного потоку. Наведені математичні моделі руху падаючих часток при дії бокового повітряного потоку.

зерновий матеріал, вертикальний канал, повітряний потік, вібровідцентровий сепаратор, решето

Б.И. Котов, проф., д-р техн. наук

Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница, Украина

С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр, В.А. Швыдя, канд. техн. наук

Национальный научный центр „Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”, п.г.т. Глеваха, Украина

Технологические аспекты сепарации зерна в вертикальном канале

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности виброцентробежного сепаратора с ступенчато-коническим решето, путём действия принудительного воздушного потока. Наведены математические модели движения падающих частиц при воздействии бокового воздушного потока.

зерновой материал, вертикальный канал, воздушный поток, виброцентробежный сепаратор, решето

© Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя, 2016

Постановка проблеми. Наявність у зернопродукуючих господарствах України сепараторів зерна вібровідцентрового типу достатньо високої продуктивності (15-25, 50 т/год.) і сучасні вимоги виробництва щодо збільшення продуктивності та ефективності їх використання висувають задачі їх подальшого вдосконалення з метою збільшення питомої продуктивності і якості розділення зернових матеріалів. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми, не змінюючи елементну базу серійних машин, є використання циліндричних решіт із ступінчасто-конічною формою поверхні, що дозволяє при незмінних розмірах конструкції сепаратора збільшити величину поверхні решета і інтенсифікувати процес розділення використовуючи додаткову складову вертикальних коливань [1]. Але при цьому задача інтенсифікації видалення дрібної (прохідної) фракції залишається поза увагою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми інтенсифікації процесу вібровідцентрової сепарації зернових матеріалів достатньо повно висвітлені в фундаментальній праці М.Л. Тищенка [2], а також інших дослідників [3-5]. Визначено, що основним фактором низької інтенсивності просіювання є перекриття отворів зернами крупних фракцій, а дрібні фракції залишаються на поверхні шару зерна і можуть потрапляти до сходової фракції. Перемішування шару зерна в процесі руху пропонується здійснювати за допомогою різних за формою інтенсифікаторів (пруток, гафр, штифт тощо) встановлених на опорній поверхні циліндричного решета.

Дослідження руху зерна по поверхні конічного ступінчастого решета висвітлені в роботах [6-8], як моделювання руху матеріальної точки, в тому числі і при дії примусового повітряного потоку, спрямованого радіально в напрямку до вісі ротора сепаратора. Аналізом існуючих досліджень встановлено, що при дії радіально спрямованого (від поверхні решета до поверхні шару зерна) потоку повітря, рух дрібної (легкої) частки по поверхні отвору гальмується. Для визначення дії повітряного потоку у вигляді струменю на зерно в зоні «переміщення» шару з однієї сходинки конуса на іншу необхідні додаткові дослідження.

На відміну від зазначених публікацій, у статті розглядається задача руху часток різного розміру і маси під дією струменю повітря, спрямованого до решета, після сходу із сходинки секційного решета.

Постановка завдання. Виявити аналітичним дослідженням можливість інтенсифікації процесу розділення зернового матеріалу повітряним потоком і отримання формул для наближеного розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Сутність підвищення якості розділення зернової суміші (збільшення просіюваності вібровідцентрового решета) при значних навантаженнях дією повітряного потоку на шар зерна, що пересипається з конуса на конус, полягає у тому, що при сході потоку зернового матеріалу з елемента опорної поверхні частки (зернівки) починають рухатись у повітряному просторі і під дією повітряного потоку їх траєкторії відхиляються з різною швидкістю і на різну відстань. При цьому, дрібні (легкі) зернівки досягають поверхні раніше за важкі (крупні) і таким чином відбувається перерозподіл місця розташування фракцій на решеті (дрібна фракція буде ближче до поверхні).

Далі, в рамках метода досліджень динаміки матеріальної точки подано математичний опис переміщення зернового матеріалу (часток різного розміру і маси) при наявності зустрічного (радіального) потоку повітря і квадратичному опорі руху частки.

Траєкторії полідисперсного зернового матеріалу, що сходять потоком з конічного елемента опорної поверхні зі швидкістю v_0 під кутом α_0 , представимо окремими лініями, вздовж яких рухаються окремі зернівки. Не враховуючи взаємодію

частинок в ході польоту, окремі лінії отримуємо варіюванням коефіцієнту парусності K_n , який за визначенням враховує опір, розмір і масу кожної частки.

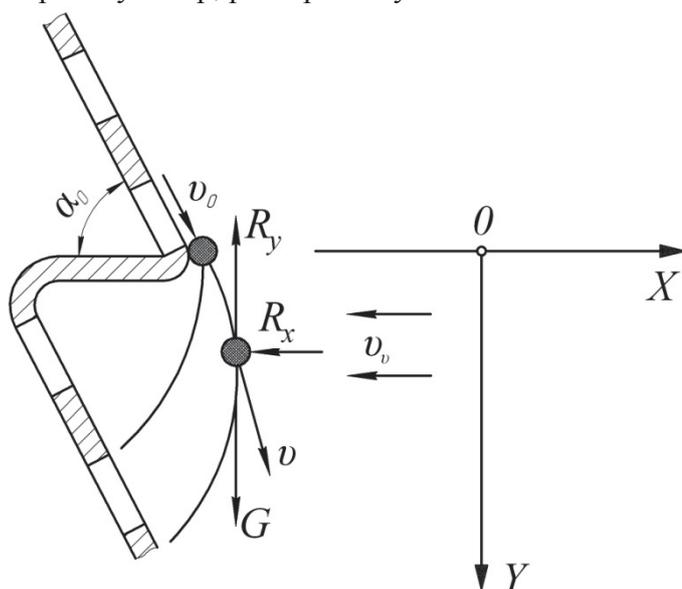


Рисунок 1 — Технологічно-розрахункова схема сходу частки з кінчного елементу опорної поверхні решета

Для розрахунку координат $x(\tau)$ і $y(\tau)$, визначаючих положення частки на траєкторії в момент часу τ , використовуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2 x(\tau)}{d\tau^2} = -K_n \left(\frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right) \sqrt{\left(\frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right)^2 + \left(\frac{dy(\tau)}{d\tau} \right)^2}, \quad (1)$$

$$\frac{d^2 y(\tau)}{d\tau^2} = g - K_n \left(\frac{dy(\tau)}{d\tau} \right) \sqrt{\left(\frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right)^2 + \left(\frac{dy(\tau)}{d\tau} \right)^2}. \quad (2)$$

Як початкову умову, прийmemo:

$$x(0) = y(0) = 0; \quad \frac{dx}{d\tau}(0) = u_{0x}; \quad \frac{dy}{d\tau}(0) = u_{0y};$$

$$u_{0y} = u_0 \cdot \sin \alpha_0; \quad u_{0x} = u_0 \cdot \cos \alpha_0. \quad (3)$$

Коефіцієнт парусності в рівнянні (1) і (2) визначається з формули:

$$K_n = \frac{s_v}{m} \cdot C_0(Re) \cdot \frac{s_M}{0.5}, \quad (4)$$

де $m = \frac{\pi \cdot 4 \cdot d_e^3 \cdot \psi}{3 \cdot \rho_p}$ — маса частки, кг;

d_e — еквівалентний діаметр частки;

ρ_p — густина матеріалу частки, кг/м³;

ψ — коефіцієнт форми частки;

u_v — швидкість повітряного потоку, м/с;

$C_0(Re)$ – коефіцієнт опору повітряному потоку;

Re – критерій Рейнольдса;

$S_M = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$ – площа міделевого перетину частки, м²;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

α_0 – кут сходу частки з поверхні (кут розкриття твірної конуса), град;

$u_0 = \sqrt{u_{0x}^2 + u_{0y}^2}$ – швидкість сходу частки з опорної поверхні.

Швидкість сходу частки з опорної поверхні, яка дорівнює початковій швидкості руху частки у повітряному просторі можна визначити з аналізу руху частки (матеріальної точки) по конічній поверхні, яка здійснює обертання навколо вісі Oy з коловою швидкістю Ω і коливальних гармонічних рухів у вертикальному напрямку вздовж вісі Ox [7,8]:

$$u_0 = \frac{\omega \cdot |\xi_H - \xi_B|}{2\pi} \quad (5)$$

Переміщення частки вгору та вниз за один оберт:

$$\xi_B = \frac{\cos(\varphi - \beta)}{\cos\varphi} \cdot \left\{ A \cdot (\cos\omega\tau_{B0} - \cos\omega\tau_B) - u_{0B} \cdot (\tau_B - \tau_{B0}) - \right. \\ \left. - g \cdot \left[K_{\Omega} \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \beta) + 1 - \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \cdot K_{\Omega} \right] \cdot \frac{(\tau_B - \tau_{B0})^2}{2} \right\}; \quad (6)$$

$$\xi_H = \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos\varphi} \cdot \left\{ R \cdot (\cos\omega\tau_{H0} - \cos\omega\tau_H) - u_{0H} \cdot (\tau_H - \tau_{H0}) - \right. \\ \left. - g \cdot \left[K_{\Omega} \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \beta) - 1 - \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi + \beta)} \cdot K_{\Omega} \right] \cdot \frac{(\tau_H - \tau_{H0})^2}{2} \right\}; \quad (7)$$

де ξ_B, ξ_H – переміщення частки по поверхні решета за одне коливання вгору та вниз, відповідно, м;

$K_{\Omega} = \frac{v_{0i}^2}{v_{0ir}^2}$ – коефіцієнт питомого тиску;

$K_{\Omega} = \frac{\Omega^2 \cdot R}{g}$ – коефіцієнт відцентровості;

v_{0im} – швидкість вітання частки, м/с;

R – середній радіус решета, м;

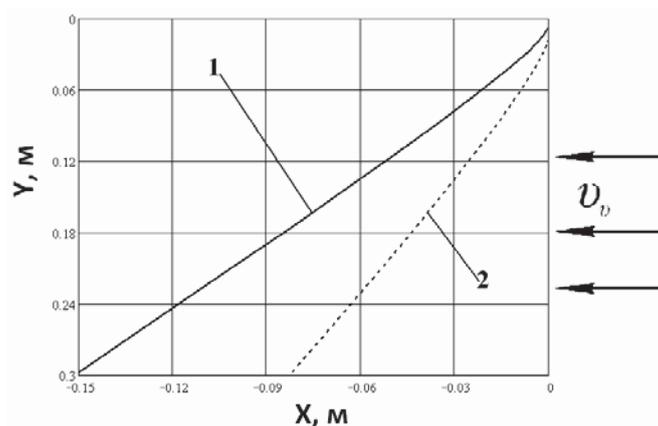
τ_{B0}, τ_{H0} – початковий момент руху частки вгору та вниз, відповідно, с;

τ_B, τ_H – кінцевий момент руху частки вгору та вниз, відповідно, с;

A, ω – амплітуда та частота вертикальних гармонічних коливань;

φ, β – кут тертя і кут нахилу твірної конічної поверхні решета до вертикальної вісі.

Траєкторії руху часток різного розміру наведено на рис. 2 (отримано при параметрах: $u_0 = 0,2$ м/с; $\alpha_0 = 60^\circ$; $v_v = 5$ м/с; $K_{\Omega 1} = 0,272$; $K_{\Omega 2} = 0,159$). Як можна визначити з графіків менша частка відхиляється крутіше і раніше досягає опорної поверхні, таким чином відбувається перерозподіл “малих і великих” часток на поверхні решета і тим самим досягається підвищення просіюваності і ефективності решітного розділення у вібровідцентровому полі.



1 – дрібні; 2 – крупні

Рисунок 2 — Траєкторії руху часток

Наближене аналітичне рівняння задачі [8] з визначення траєкторій руху часток можна отримати наступним наближенням.

Якщо записати рівняння (1), (2) у вигляді:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K_{\pi} \left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right) \cdot v^2 \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}, \\ \ddot{y} = g - K_{\pi} \cdot \frac{\dot{y}}{v} \cdot v \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}, \end{cases} \quad (8)$$

то величину $\varphi = \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}$ можна вважати сталою, яка в межах практичних режимів і реальних швидкостей переміщення часток змінюється від 1,02 до 1,12 [8].

Тому рівняння (8), з урахуванням припущення $\varphi = \text{const} = 1.07$, можна записати у вигляді:

$$\ddot{y} = g - K_0 \cdot v \cdot \dot{y}, \quad (9)$$

$$\ddot{x} = -K_0 \cdot v^2 - K_0 \cdot v^2 \cdot \frac{\dot{x}}{v}, \quad (10)$$

де $K_0 = K_{\pi} \cdot \varphi$, які можна проінтегрувати окремо.

Інтегруючи рівняння (9) і (10) при початкових умовах: $\tau = 0, x=y=0, \frac{dx}{d\tau} = u_{0x}, \frac{dy}{d\tau} = u_{0y}$ (u_{0x}, u_{0y} – проєкції початкової швидкості на вісі Ox і Oy), отримаємо аналітичні залежності для складових швидкості і переміщення часток зерноматеріалу при переході з верхнього елемента опорної поверхні до нижнього:

$$v_y = b_1 - (b_1 - u_{0y}) \cdot e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}, \quad (11)$$

$$u_x = (u_v + u_{0x}) \cdot e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau} - u_v, \quad (12)$$

$$y = \frac{g}{K_0 \cdot v} \cdot \tau - \frac{1}{K_0 \cdot v} \cdot \left(\frac{g}{K_0 \cdot v} - u_{0y}\right) \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}), \quad (13)$$

$$x = \frac{1}{K_0 \cdot v} \cdot (u_v + u_{0x}) \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}) - u_v \cdot \tau. \quad (14)$$

За допомогою формул (11-14) розраховуються траєкторії руху часток зерно матеріалу в будь-якій точці кінцевого елемента опорної поверхні решета.

Величина x кінцева точка траєкторії руху частки при цьому $x = l$, де l – ширина сходинки решета. Підставляючи значення $x = l$ у рівняння (14), визначається час падіння (переміщення) частки. Підставляючи отримане значення τ_x у рівняння (13),

визначається висота падіння $y=h$; за значенням h для найбільш крупної частки визначається висота струменя повітря і ширина лопатей вентилятора.

Висновки. У результаті проведених теоретичних досліджень визначено можливість перегрупування часток різного розміру у шарі спрямованим повітряним потоком при переході з одного елемента ступінчасто-конічного решета на другий.

Створена спрощена математична модель руху компонентів зернового матеріалу у падаючому шарі при дії бокового потоку повітря.

Для кількісної оцінки впливу повітря на рух часток з різним коефіцієнтом парусності необхідно додаткові числові експерименти.

Список літератури

1. Гончаров Е.С. Ступенчатое решето для виброцентробежных сепараторов [Текст] / Е.С. Гончаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1984. – Вып.30. – С.33-36.
2. Тищенко А.Н. Интенсификация сепарирования зерна [Текст] /Л.Н. Тищенко. – Х.: Основа, 2004. – 224с.
3. Котов Б.І. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння [Текст] /Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. –№ 3. – С. 61-63.
4. Котов Б.І. Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2012. – Вип.42. – С. 300-306.
5. Котов Б.І. Експериментальна оцінка процесу вібровідцентрового очищення зерна ступінчасто-конічним решетом [Текст] / Б.І. Котов, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2005. – Вип. 35. – С. 205-208.
6. Котов Б.І. Математичне моделювання руху частинки у віброспріженому шарі на поверхні конічної центрифуги [Текст] / Б.І. Котов, М.Г. Пастушенко // Сб. наукових праць Кіровоградського державного університету. 2004. – Вип.14. – С. 25-30.
7. Гончаров Е.С. Механико-математическая модель движения частиц семенной смеси по поверхности ротора центробежно-вибрационного сепаратора [Текст] / Е.С. Гончаров, С.И. Малюта // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Колос. – 1986. – Вип. 64. – С. 24-39.
8. Гортинский В.В. Вопросы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях [Текст] /В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – С. 303.
9. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів [Текст] / Б.І. Котов, Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2003. – Вип. 33. – С. 53-60.

Borys Kotov, Prof., DSc.

Vinitskii National Agrarian University, Vinnytsa, Ukraine

Sergiy Stepanenko, PhD tech. sci., Sen. Researcher, Viktor Shvidia, PhD tech. sci.

National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha, Ukraine

Technological aspects of grain separation in the vertical channel

The purpose of research — to identify analytical study the possibility of intensifying the process of separating the grain of the material air flow and obtain formulas for approximate calculation.

The system analyzes the forces that act on a piece at a gathering with stair-stepped conical sieve in a horizontal air flow. Thus we obtained nonlinear differential equations on the basis of which the numerical method constructed the trajectory of motion of particles with different sizes. Approximate analytical calculation of particles motion trajectories based on the fact that the value of the absolute velocity is assumed constant and equal to 1.02 to 1.12.

As a result of theoretical studies determined the possibility of rearrangement of particles of different sizes in the layer of the air flow direction in the transition from one element of the step-conical sieve into another. Created a simplified mathematical model of the motion of the grain of the material components in the incident layer when exposed to side airflow.

grain material, a vertical channel, airflow, vibrocentrifugal separator, sieve

Одержано 03.11.16