

УДК 631.362.3

© Б.І. Котов, д. т. н.

Вінницький національний аграрний університет

© С.П. Степаненко к.т.н.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

ЗАКОНОМІРНОСТІ РУХУ ЧАСТИНОК В ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОМУ СЕПАРАТОРІ ПРИ ЗМІННІЙ ШВИДКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ

Наведений математичний опис руху частинок зернової суміші в камері гравітаційно-повітряного сепаратора при дії горизонтального потоку повітря змінної швидкості. Отримано траєкторії руху частинок з різним розміром. Теоретичними дослідженнями встановлена можливість підвищення ефективності розділення зернових матеріалів за аеродинамічними характеристиками, шляхом зміни швидкості горизонтального потоку в напрямку руху при протитечієвій подачі матеріалу.

СЕПАРАТОР, ПОВІТРЯНИЙ ПОТІК, ЗЕРНІВКА, ЗМІННА ШВИДКІСТЬ ПОВІТРЯ, ТРАЄКТОРІЯ, СИЛА ОПОРУ, КОЕФІЦІЄНТ ВІТРИЛЬНОСТІ.

Постановка проблеми. Повітряно-гравітаційні сепаратори зернових матеріалів використовуються в усіх галузях переробки зернових культур [1]. Практично усі типи відомих пневматичних сепараторів поділяють зернові продукти на дві-три фракції (з урахуванням пилової частини, тобто видалення запиленого повітря). При цьому, як показано у фундаментальних працях [2-4] при застосуванні вертикального каналу отримати регламентовану чистоту готового продукту практично неможливо. Закономірності руху матеріалу в горизонтальних потоках повітря досліджено недостатньо. Тому визначення параметрів і траєкторій руху частинок з різними властивостями на основі спрощених формул залишається актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відома достатня кількість наукових публікацій з питань дослідження руху зернового матеріалу в каналах зерносепараторів [2-8]. В роботі [4] розглянуто процеси переміщення частинок у вертикальному циліндричному каналі; в роботі [5] процеси сепарації у зигзагоподібному кільцевому каналі.

В роботі [6] отримані спрощені формули для визначення параметрів руху часток в нахиленому каналі .

В роботі [7] доведена ефективність попереднього розташування зерна перед подачею у горизонтальний повітряний канал. Але аналіз закономірностей руху часток в горизонтальному потоці при змінній швидкості повітря залишилися поза увагою.

Мета дослідження. Підвищення ефективності сепарування зернових сумішей шляхом визначення закономірностей переміщення часток в пневмогравітаційному сепараторі при дії повітряного потоку змінної швидкості.

Результати дослідження. Розглянемо прямокутний повітряний канал, площа поперечного перетину якого змінюється лінійно в напрямку руху горизонтального повітряного потоку. Вектор швидкості повітряного потоку V_0 приймаємо сталим і спрямованим вздовж стінок каналу. Траєкторію польоту часток будемо розглядати в прямокутній системі координат XOY (рис.1).

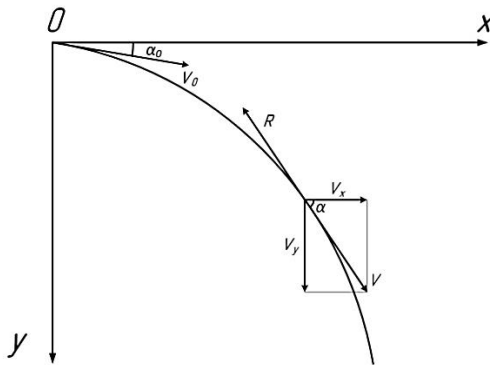


Рис. 1 - Розрахункова схема сепарації

Силу опору середовища руху частки запишемо у вигляді [2]:

$$R = \frac{1}{2} \cdot C(Re) \cdot \rho \cdot S \cdot (V_a + V_r)^2 \quad (1)$$

де $C(Re)$ – коефіцієнт аеродинамічного опору, як функція числа Рейнольдса;

ρ - густина повітря;

S – площа міделевого перетину частки;

V_r – швидкість руху частки;

V_a – швидкість повітряного потоку.

Враховуючи, що коефіцієнт опору залежить від форми частки, а величина S – від її орієнтації в напрямку руху, використовуємо для визначення сили взаємодії частки з рухомих повітряним потоком змінної швидкості $V(x)$ коефіцієнт вітрильності K_n .

Тоді рівняння (1) перепишемо у вигляді

$$R_x = K_n \cdot m \left[v(x) + \dot{x} \right]^2, \quad (2)$$

$$R_y = K_n \cdot m \cdot \dot{y}^2,$$

де $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$ $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$

Величина коефіцієнта K_n визначається експериментально в залежності від швидкості витання $V_{вум}$

$$K_n = \frac{q}{V_{вум}^2}.$$

Диференціальні рівняння руху частки в проєкціях на вісі OX та OY запишемо у вигляді:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -R_x \cdot \cos \alpha; \quad (3)$$

$$m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = mg - R_y \cdot \cos \alpha; \quad (4)$$

$$v \cdot \cos \alpha = \frac{dx}{dt}; \quad v \cdot \sin \alpha = \frac{dy}{dt}; \quad (5)$$

$$v = \sqrt{\left(v_a + \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2}, \quad v_a = v_a(x). \quad (6)$$

Подача матеріалу в канал сепаратора відбувається під кутом α_o до горизонту з початковою швидкістю V_o . Проєкції швидкості вводу часток в канал матимуть значення:

$$V_{ox} = v_o \cos \alpha_o, \quad V_{oy} = v_o \sin \alpha_o. \quad (7)$$

Початковий рух частки відбувається назустріч горизонтальному потоку повітря.

Швидкість повітря в горизонтальному напрямку в першому наближенні приймаємо змінною вздовж напрямку руху за лінійним законом:

$$v_a(x) = v - a \cdot x, \quad (8)$$

де a, ν – сталі коефіцієнти.

При цих припущеннях рух частки описується системою двох зв'язаних нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = k_n \left(\frac{dx(t)}{dt} + \nu - ax \right) \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} + \nu(x) \right)^2 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2}, \quad (9)$$

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = q - k_n \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} + \nu(x) \right)^2 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2}. \quad (10)$$

Початкові умови до системи рівнянь (9) і (10) запишемо у вигляді:

$$t = 0; x = y = 0; \dot{x}(0) = x_o; \dot{y}(0) = y_o; \dot{x}_o = \nu_{ox}; \dot{y}_o = \nu_{oy} \quad (11)$$

В прийнятій системі координат проекції руху часток є розв'язком системи рівнянь (9-10) при початкових умовах (11). Результати розв'язку проведеного числовим методом в програмному середовищі Math CAD наведено на рис.2 і рис. 3 та рис.4 у вигляді траєкторій руху часток з зрізними значеннями коефіцієнтів вітрильності K_{Π} , якими характеризуються різні аеродинамічні властивості окремих зернин (вага, розмір).

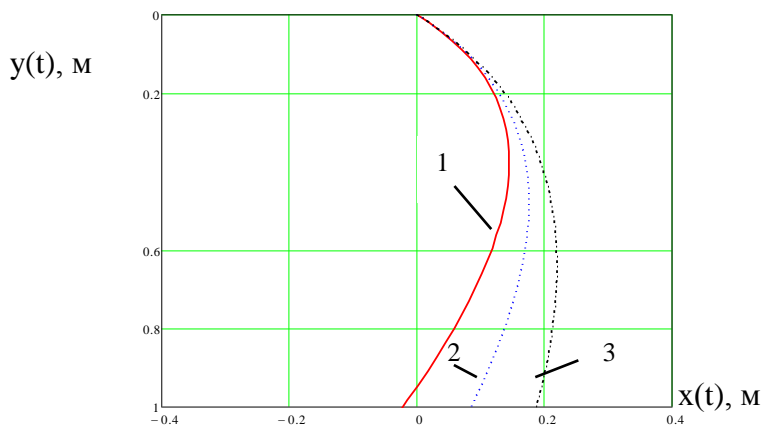


Рис.2 - Траєкторії руху фракцій при незмінній швидкості повітряного потоку: 1 – $K_{\Pi} = 0,212$; 1 – $K_{\Pi} = 0,174$; 1 – $K_{\Pi} = 0,174$.

Аналіз отриманих результатів показує, що використання зустрічного повітряного потоку зі змінною в напрямку руху швидкістю дозволяє суттєво збільшити величину розщеплення траєкторій руху часток і відповідно ефективність сепарації зернового матеріалу. В порівнянні з сепараторами які використовують вертикальні пневмоканали ефективність поділу зернового матеріалу збільшується на 20-24 %.

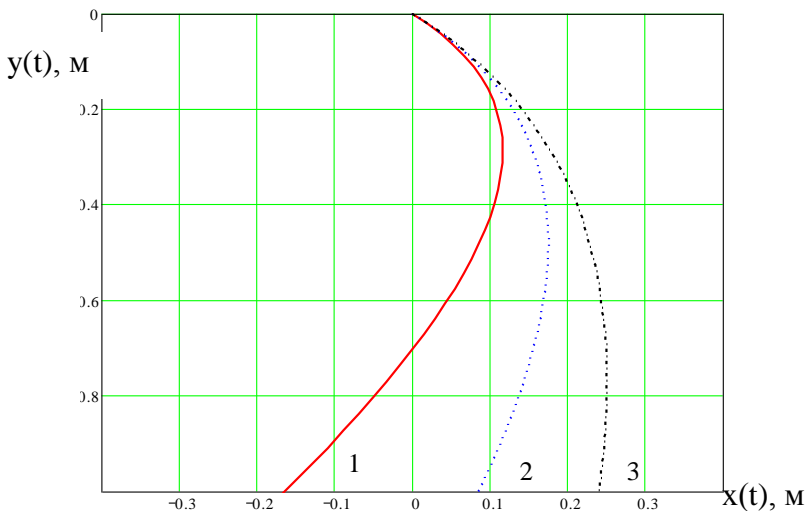


Рис.3 – Траєкторії руху фракцій при лінійному змінній швидкості повітряного потоку по висоті: 1 – $K_{\Pi} = 0,212$; 1 – $K_{\Pi} = 0,174$; 1 – $K_{\Pi} = 0,174$.

Висновки. В результаті аналізу проведених теоретично досліджень встановлена можливість підвищення ефективності розділення зернових матеріалів за аеродинамічними характеристиками, шляхом зміни швидкості горизонтального потоку в напрямку руху при протитечівій подачі матеріалу.

Література

1. Бурков А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет, испытания. / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов // - Киров. НИИСХ СВ. – 2000. – 261 с.

2. Малис А.Я. Машины для очистки зернавоздушным потоком / А.Я. Малис, А.Р Демидов // - М. Машгиз. 1962. - 240 с.
3. Нелюбов А.О. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А.О. Нелюбов, Е.Ф. Ветров//. - М. - Машиностроение. - 1977. - 192 с.
4. Колодій О.С. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника / О.С. Колодій // Автореф. дис. канд. техн. наук. - Мелітополь, ТДАУ. - 2015. - 23 с.
5. Степаненко С.П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С.П. Степаненко // Вісник ХНУСГ. - Харьков. - 2008. - Вип.75, т.1. - С. 59-65.
6. Бакум М.В. До обґрунтування ефективності використання пневматичного сепаратора з нахиленим повітряним каналом для сепарації насінневих сумішей / М.В. Бакум, М.М. Крекот, М.М. Абдуєв та інш. // Вісник ХНУСГ. - Харьков. - 2010. - Вип.103. - С. 267-274.
7. Єрмак В.П. Шляхи збільшення ефективності сепарування насіння у горизонтальному повітряному потоці /В.П. Єрмак // Зб.наук.праць ЛНАУ. - Луганськ, 2004. - №42. - С.66-72.
8. Гортинский В.В. Вопросы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин // - М. - Колос. - 1980. - 304 с.