

О.В. Нестеренко, ас., Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук, В.П. Якімцов, студ.

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Обґрунтування раціональної форми направляючої поверхні живильного пристрою для пневмосепарації зерна

В статті проведено теоретичне обґрунтування основних параметрів багаторівневого гравітаційного живильного пристрою для підвищення продуктивності та зменшення опору повітряному потоку в пневмосепаруючому каналі (ПСК).

**багаторівневий живильний пристрій, ПСК, зернова суміш, опір повітряному потоку**

За останні роки в Україні збільшився обсяг вирощування зернових культур. Це вимагає від господарств швидкої підготовки зерна до подальшої обробки та зберігання.

Однією із основних операцій до підготовки зерна є попереднє очищення його від легких домішок та пилу, що зменшує ризик його самозігрівання, дозволяє зберегти продовольчу та товарну цінність. Для цього, як правило, використовуються комбіновані зерноочисні машини, які мають повітряну та решітну очистки.

Дослідженнями встановлено [1], що продуктивність повітряної очистки значно менша від решітної і це призводить до неузгодження їх продуктивностей та зменшення загальної технологічної ефективності роботи машини. Але незважаючи на велику кількість науково-технічних рішень [2-5], проблема зменшення питомих енерговитрат та підвищення продуктивності процесу очищення зерна від легких домішок залишається важливою і актуальною задачею.

Одним із перспективним напрямків зменшення опору повітряному потоку є використання багаторівневого живильного пристрою для введення зернової суміші в ПСК (рис.1), який рівномірно розподіляє матеріал в поперечному та поздовжньому перерізах ПСК і сприяє зниженню опору повітряному потоку в зоні введення та вирівнюванню епюри швидкостей [6].

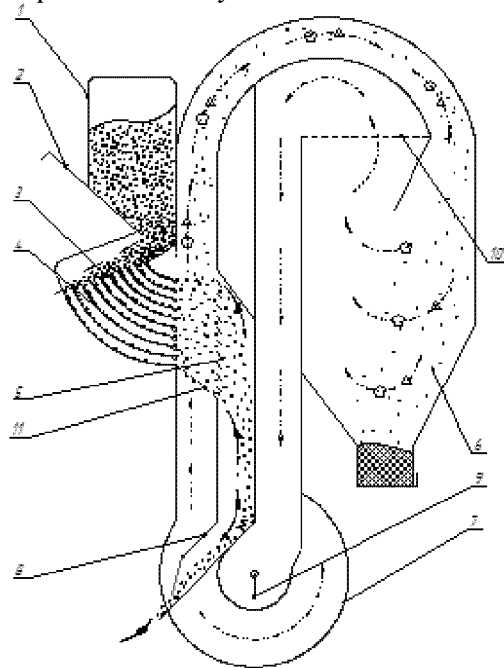
Основними перевагами гравітаційних живильних пристроїв пневмосепараторів є простота конструкції і налагоджування, надійність в роботі і порівняно невелика металоємність. Тому їх використання підвищує **загальну технологічну ефективність пневмосепараторів**.

Метою дослідження є математичне визначення параметрів багаторівневого живильного пристрою для забезпечення рівномірного розподілу зернового матеріалу в ПСК.

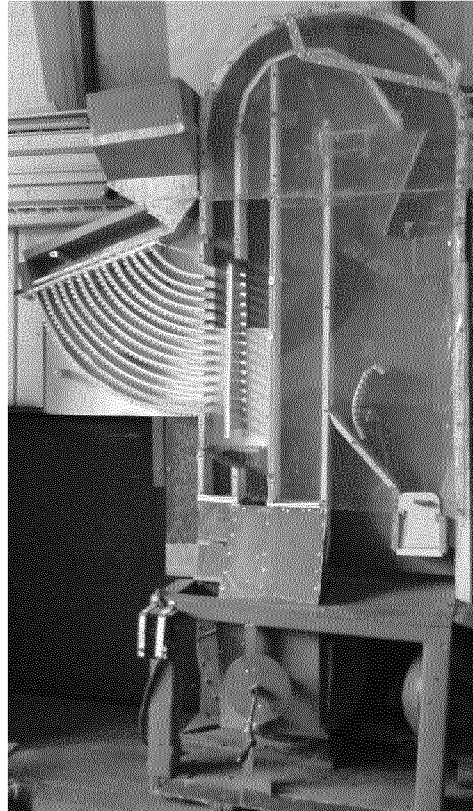
Для досягнення поставленої мети була розроблена і виготовлена експериментальна установка, схема і загальний вигляд якої представлені на рис.1. Вона дозволяє змінювати основні параметри і режими роботи в необхідних межах. Бокова стінка ПСК виготовлена прозорою із оргскла, що забезпечує можливість спостереження за процесом.

Основними складовими частинами установки є: бункер 1, ПСК 2, вентилятор 3, осадова камера 5 та розподільний пристрій 6.

Принцип роботи полягає у наступному. Зерновий матеріал із бункера 1 надходить до ПСК 2 квадратного поперечного перерізу (100x100мм) по лоткам 6, багаторівневого живильного пристрою, в якому він розділяється на рівномірні потоки та направляється в ПСК на різних рівнях по його висоті. Під дією повітряного потоку, створеного вентилятором 3, вихідний зерновий матеріал розділяється на дві фракції: легкі домішки, які виносяться в осадову камеру 5, та очищене зерно, яке через заслінки 8 і далі по лотку 9 виводиться з ПСК. Установа працює із замкненим циклом руху повітряного потоку.



а)  
 Умовні позначення:  $\cdots$  - Повітряний потік;  
 $\rightarrow$  - Зерновий матеріал;  $\circ$  - Легкі домішки  
 $\rightarrow$  - Очищене зерно;  $\triangle$  - Фуражні домішки;



б)

а) – схема, б)- загальний вигляд

Рисунок 1- Установа для дослідження ПСК з багаторівневим живильним пристроєм

Розподіл зернових часток в ПСК можна вважати задовільним, якщо в кожній елементарній ділянці його поперечного перерізу буде знаходитись однакова їх кількість.

Приймаючи кожену частинку зернової суміші за матеріальну точку, і нехтуючи опором повітря, диференційне рівняння руху запишеться у вигляді:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0;$$

(1)

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mg,$$

де  $m$  – маса зернової частинки, кг.

Після подвійного інтегрування рівняння (1) при початкових умовах руху, і виключивши з рівняння параметр  $t$ , отримаємо рівняння траєкторії руху зернової частки після сходу з направляючого лотка живильного пристрою:

$$z_{\text{тп1}} = (x_j - x_0) \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g(x_j - x_0)}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} + z_0, \quad (2)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість руху зернової частинки, м/с;  
 $\alpha_0$  – кут початкової швидкості  $v_0$  до горизонту, град.;  
 $z_0$  – відстань по висоті між кромкою сходу і точкою дотику з вертикальною стінкою ПСК, м;  
 $x_0$  – довжина проекції лотка на горизонтальну площину, ( $x_0 = R$ ), м.

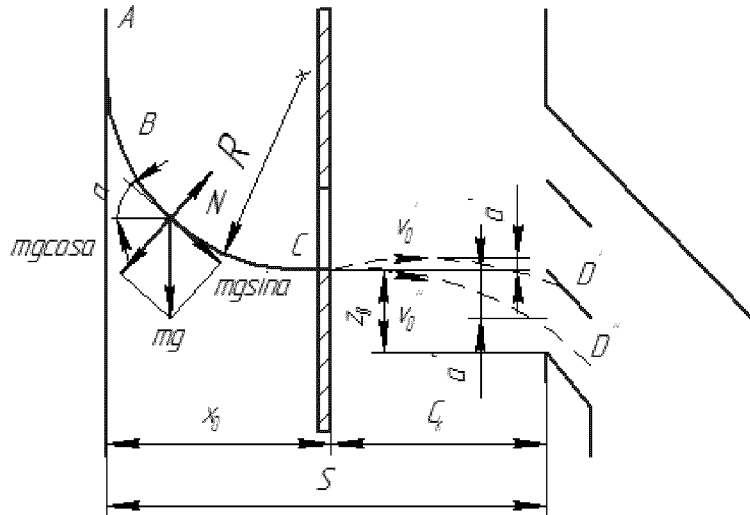


Рисунок 2 - Схема до обґрунтування раціональної форми направляючої поверхні живильного пристрою

ABCD' - траєкторія руху зернової частинки з ударом об протилежну стінку ПСК;  
 ABCD'' - траєкторія руху частинки без передачі імпульсу сил.

Абсциса точки перетину траєкторії польоту з площиною перерізу ПСК, що розглядається являється дальністю польоту частинки зернової суміші в межах глибини каналу, яка визначиться з рівняння (3), прийнявши  $z_0 = 0$ :

$$S = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0 + 2g \cdot z_0}{g} + x_0. \quad (3)$$

Відповідно, з урахуванням (3), умова задовільного розподілу частинок зернової суміші по площі ПСК запишеться у вигляді:

$$x_0 = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0 + 2g \cdot z_0}{g} \geq x_j \quad (4)$$

де  $x_j$  - відстань до елементарної  $j$ -ої ділянки поперечного перерізу ПСК.

Дальність польоту буде досягати максимального значення при умові, якщо зернові частинки не будуть ударятись об протилежну стінку ПСК.

Відповідно, політ зерна без удару в ПСК буде при умові, якщо:

$$(x_j - x_0) \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g(x_j - x_0)}{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0} + z_0 \leq x_j \quad (5)$$

Приймаючи до уваги, силу з якою повітряний потік діє на зернову частинку, враховуючи рівняння траєкторії її руху та дальність польоту, умова задовільного розподілу цих частинок суміші та з урахуванням їх вильоту без удару в ПСК можна представити у вигляді:

$$z_{\text{тп2}} = (x_j - x_0) \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g(x_j - x_0)}{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0} - \frac{k_c f_H c^2}{g l^2} + z_0; \quad (6)$$

$$S = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0 + 2g z_0}{2g} - \frac{k_c f_H c^2}{g l^2} + x_0; \quad (7)$$

$$x_0 + \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0 + 2g z_0}{2g} - \frac{k_c f_H c^2}{g l^2} \leq x_j; \quad (8)$$

$$(x_j - x_0)tg\alpha_0 - \frac{g(x_j - x_0)^2}{2v_0^2 \sin^2 \alpha_0} - \frac{k_c f_m c^2}{g l^2} + z_0 \leq x_j \quad (9)$$

де  $k_c > 0$  – коефіцієнт аеродинамічного опору;

$f_m$  – площа міделевого перерізу зерна, м<sup>2</sup>;

$c$  – відносна швидкість зерна, м/с;

$l$  – найбільший розмір зерна, м.

Як видно із формул (6-9) повітряний потік впливає на траєкторію зернової частинки, в однаково відхиляючи її від теоретичної траєкторії.

Теоретичне вирішення цієї задачі з використанням принципів варіаційного обчислення виконане Василенко П.М. [7].

Одним із основних факторів, які визначають дальність польоту зерна, а отже й параметри живильного пристрою і ПСК, є величина віддалення протилежної стінки.

Дальність польоту зернової частинки буде мати максимальне значення, коли траєкторія польоту їх буде в точці D (рис.2), протилежної стінки ПСК (без дії імпульсу сил). Ця умова описується рівнянням (9).

Крім того, за рахунок польоту зерна з дотиком об протилежну стінку ПСК, похідна функції польоту зернових часток повинна дорівнювати кутовому коефіцієнту прямої протилежної стінки:

$$\frac{dz_{TP}}{dx} = \frac{dz_{CT}}{dx} \quad (10)$$

або

$$(x_j - x_0)tg\alpha_0 - \frac{g(x_j - x_0)^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} - \frac{k_c f_m c^2}{g l^2} + z_0 \leq x_j \quad (11)$$

Тоді, рівномірний розподіл зерна по всій площі поперечного перерізу ПСК буде забезпечений за умови, коли  $dz_{TP} = dz_{CT} = 0$  при  $x = x_j$ .

Обґрунтуємо раціональні параметри живильного пристрою шляхом вирішення системи рівнянь (10) і (11).

Після спрощення приймаємо:

$$(x_j - x_0) = x; \quad \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} = a; \quad z_0 - \frac{k_c f_m c^2}{g l^2} = z_0; \quad tg\alpha_0 = b; \quad x_j = k.$$

Рівняння (2) і (6) прийме вигляд:

$$\begin{cases} z_{TP} = ax^2 + bx + z_0; \\ z_{CT} = k \end{cases} \quad (12)$$

Умова польоту з торканням об протилежну стінку ПСК без дії імпульсу сил запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} z_{TP} = z_{CT}; \\ z'_{TP} = z'_{CT} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2ax + b = 0; \\ ax^2 + bx + z_0 = k. \end{cases} \quad (13)$$

Після вирішення та перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} a &= -\frac{b}{2x}, \\ b &= -\frac{2k - z_0}{x}. \end{aligned} \quad (14)$$

Необхідна дальність польоту зернової частинки буде забезпечена при умові, коли  $M(k;0)$ :

$$\begin{aligned} a &= -\frac{b}{2k}, \\ b &= \frac{2(k - z_0)}{k}. \end{aligned} \quad (15)$$

З умов (15) можна визначити початкову швидкість польоту зернових частинок після сходу з направляючої поверхні живильного пристрою, яка необхідна для забезпечення заданої дальності польоту:

$$v_0 = \sqrt{\frac{g(x_j - x_0)}{\cos^2 \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}}, \quad (16)$$

а також визначити кут початкової швидкості  $\alpha_0$ , при якому забезпечується задана дальність польоту зернових часток в ПСК:

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{2(x_j - x_0 + \frac{kcf_{\text{пл}} c^2}{g l^2})}{(x_j - x_0)}. \quad (17)$$

Рівняння раціональної траєкторії польоту зернових частинок при подачі їх направляючими поверхнями в ПСК буде мати вигляд:

$$z = \frac{(x_j - x_0)(-b)}{2x_j} + \frac{2(x_j - x_0)(x_j - z_0)}{x_j} + z_0. \quad (18)$$

Використовуючи запропоновані вирази (16), (17), (18) при проектуванні повітряних сепараторів можна визначити початкову швидкість і напрямок швидкості польоту, при яких буде забезпечене рівномірне заповнення всієї площі поперечного перерізу ПСК.

## Список літератури

1. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г., Тенденції розвитку конструкції машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. – Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 33. Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 53-59.
2. Туров А.К. Пневмосепаратор зерна с предварительной подготовкой в плоско-паралельном воздушном поле //Сибирский весник с-х науки.-1984. - №2.- С.86-90.
3. Сабашкин В.А. Разделение зернового вороха в струйном воздушном потоке//Интенсификация процесса совершенствования послеуборочной обработки зерна: ВАСХНИЛ. Сиб. отд.-Новосибирск, 1985.- С. 101-106.
4. Мякин В.Н., Урюпин С.Г./Совершенствование пневматических сепараторов семян «Техника в сельском хозяйстве», №4, 2000г.
5. Тавтилов И.Ш. Совершенствование процесса работы пневмосепаратора за счет рациональной подачи зерновой смеси в воздушный поток: автореф. дис. на присв. науч. степ. канд техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»/И.Ш. Тавтилов. – Челябинск, 2008. – 22 с.
6. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Повітряний сепаратор.- Пат. (11) 8058 А Україна, МКІ В 02 В 1/00 (Україна).- № u200500190; Заявл. 10.01.05; Опубл. 15.07.2005.- Бюл. №7.
7. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. 1960.- 286с.

*О.Нестеренко, Д.Богатырёв, В.Онопа, В.Якимцов*

### **Обоснование рациональной формы направляющей поверхности питательного устройства для пневмосепарации зерна**

В статье проведено теоретическое обоснование основных параметров многоуровневого гравитационного питателя для увеличения производительности и уменьшения сопротивления воздушному потоку в пневмосепарирующем канале (ПСК).

*O. Nesterenko, D.Bohatyrov, V. Onopa, V. Jkimcov*

### **Justification rational form guide surface feeding device for pneumatic separation of grain**

In this paper a theoretical justification of the basic parameters of a multi-level gravity feeder for increased productivity and reduced resistance to air flow in the channel of pneumatic separation.

Одержано 24.10.12