

**В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук,
С.М. Лещенко, інж., М.І. Васильковський, доц., канд. техн. наук,
В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.-мат. наук**

Кіровоградський національний технічний університет

Передумови багатоструменевого способу введення матеріалів в пневмосепаруючі канали зернових сепараторів

В статті розглянуто багатоструменевий спосіб введення зернових матеріалів в пневмосепаруючі канали зерноочисних машин, наведено передумови його здійснення, аналізується доцільність встановлення багатоструменевих ділильників зернового матеріалу та наслідки, які за рахунок такого способу досягаються.

зерноочисна машина (ЗОМ), пневмосепарація, багатоструменевий спосіб введення, багатоструменевий ділильник, пневмосепаруючий канал (ПСК)

Видалення із зернового матеріалу легких домішок будь-якого походження відбувається в ПСК повітряним потоком. При цьому незалежно від цільового призначення та технічних засобів для здійснення очистки зернових сумішей якісні показники роботи пневмосистем ЗОМ залишаються низькими [1, 2, 3]. В більшості існуючих ЗОМ сепарація повітряним потоком (розділення за аеродинамічними властивостями) відбувається разом з решітним очищенням (розділення за розмірами), а тому загальне підвищення продуктивності ЗОМ неминуче пов'язане з підвищенням продуктивності кожного з етапів очищення, і як виявляється, стримує загальне зростання продуктивності ЗОМ [1, 6] саме повітряна частина.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності роботи ПСК ЗОМ є інтенсифікація введення зернового матеріалу в зону дії повітряного потоку. Так В.Ф. Веденьєв [1] пропонує попереднє розшарування зернового матеріалу перед його введенням за допомогою аеролотка. А.К. Туров [2] рекомендує проводити попереднє розшарування зернової суміші перед її введенням в ПСК зустрічним повітряним потоком з допоміжного повітряного каналу, при цьому швидкість повітряного потоку встановлювалась в 1,5 рази вищою за швидкість витання компонентів зернової суміші, що сприяє більш ефективному винесенню легких домішок у верхні шари. В.А. Сабашкін відмічає необхідність не лише розрихлення та часткового розшарування зернового матеріалу перед введенням в ПСК, а й введення його з різними швидкостями та під різними кутами. В.Л. Злочевський [2] пропонує інтенсифікувати процес аеродинамічного розділення матеріалу за рахунок закрутки зернівок в полі повітряного потоку зі стаціонарною періодичною нерівномірністю. Але складність здійснення кожного з запропонованих способів вдосконаленого введення матеріалу в ПСК зернових сепараторів значно обмежили їх практичне застосування.

Для покращення взаємодії повітряного потоку з зерною сумішшю у місцях введення зернового матеріалу в ПСК, а саме зменшення опору в цій частині каналу та виключення можливості перерозподілу поля швидкостей по поперечному перерізу каналу, пропонуємо проводити введення зернового матеріалу не суцільним потоком, а багатоструменевим [4]. Попередні дослідження вказаного способу введення зернового матеріалу в активну зону ПСК доводять його високу ефективність [5].

Метою даної роботи є аналіз передумов здійснення багатоструменевого способу введення зернового матеріалу в ПСК зернових сепараторів, та наслідки, які досягаються з допомогою такого способу введення.

Оскільки зерновий матеріал вводиться в ПСК не одиничним потоком, а з деякою товщиною h_z , яка в поєднанні з концентрацією зернової суміші створює певний опір повітряному потокові, то увесь процес повітряної сепарації повітряним потоком можна поділити на дві фази:

- перша – шар зернової суміші рухається під дією повітряного потоку, в той час як повітря намагається його продути і розшарувати (фільтрація);
- друга – фаза безпосередньої сепарації, коли відстань l між частинками в потоці перевищує п'ятикратний розмір самих частин, що сприяє їх вільному продуванню і виносу.

Для цих двох фаз сепарації повітряним потоком в залежності від швидкості U повітряного потоку, змінюється висота h_z , концентрація ε (відношення ваги зерна до всього об'єму зерноповітряної суміші) і перепад тиску ΔP зернового шару. Опір зернового шару, що відповідає першій фазі, має лінійну залежність із швидкістю повітряного потоку і виходячи з рівняння Дарсі [2] можна записати у вигляді:

$$\Delta P_I = \frac{U \cdot \mu \cdot h_z}{k}, \quad (1)$$

де μ – в'язкість потоку, кг·с/м;

k – проникність зернового шару (має розмір квадрату довжини).

Під час другої фази перепад тиску визначається з рівняння Дарсі-Вейсбаха і практично залишається постійним:

$$\Delta P_{II} = \lambda \cdot \frac{h_z}{R_r} \cdot \frac{\rho_{II} \cdot U^2}{2} = \frac{G}{S} = const, \quad (2)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного опору;

R_r - гідравлічний радіус, м;

ρ_{II} - густина повітря, кг/м³;

G - вага зернового шару, кг;

S - площа перерізу каналу, м².

Коефіцієнт аеродинамічного опору в інженерних розрахунках можна визначити за емпіричною формулою А.Д. Альтшуля [2]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

де K_e - абсолютна еквівалентна шорсткість поверхні ПСК (для ПСК з листової сталі приймають $K_e = 0,0001 \dots 0,00015$;

d - еквівалентний діаметр ПСК;

Re - число Рейнольдса $Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

З врахуванням цього перепад тиску, що відповідає другій фазі процесу можна записати так:

$$\Delta P_{II} = 0,11 \left(\frac{K_e}{d} + \frac{68 \cdot \nu}{U \cdot d} \right)^{0,25} \cdot \frac{h_z}{R_r} \cdot \frac{\rho_{II} \cdot U^2}{2}. \quad (4)$$

Тоді загальний перепад тиску по перерізу ПСК напряму залежить від того, в якій частині ПСК відбувається фаза фільтрації, в якій фаза сепарації. Під впливом

компонентів зернової суміші та зміною опору повітряного потоку, особливо в зоні введення, і відбувається перерозподіл швидкостей. Теоретично одержати залежності перепаду тиску по площі перерізу каналу та закономірності зміни швидкостей неможливо. Дослідження цих факторів можливе експериментальним шляхом.

За результатами експериментальних досліджень [1, 2, 5] встановлено, що в залежності від товщини шару зернового матеріалу h_3 та початкової швидкості подачі V_0 в режимі нормальної роботи ПСК приблизно $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$ частина каналу працює в фазі фільтрації, яка характеризується зменшенням швидкостей повітряного потоку, а отже застосовується неефективно.

Тому для зменшення опору в зоні подачі зернового матеріалу в ПСК застосуємо багатоструменевий спосіб введення зернового матеріалу, з врахуванням якого секундну продуктивність сепаратора можемо записати як:

$$Q_c = V_0 \cdot h_3 \cdot a \cdot n_c \cdot \rho, \quad (5)$$

де a - ширина зернового струменя, м (рис. 1);

n_c - кількість струменів по ширині вихідного отвору бункера.

Або максимальну секундну продуктивність ПСК з врахуванням властивостей матеріалу та умов введення виразимо так:

$$Q_{\max} = V_0 \cdot h_3 \cdot (B - \sum b) \cdot \rho, \quad (6)$$

де $\sum b$ - сумарна ширина багатоструменевих ділильників, прийнявши що крайні ділильники дорівнюють $b/2$.

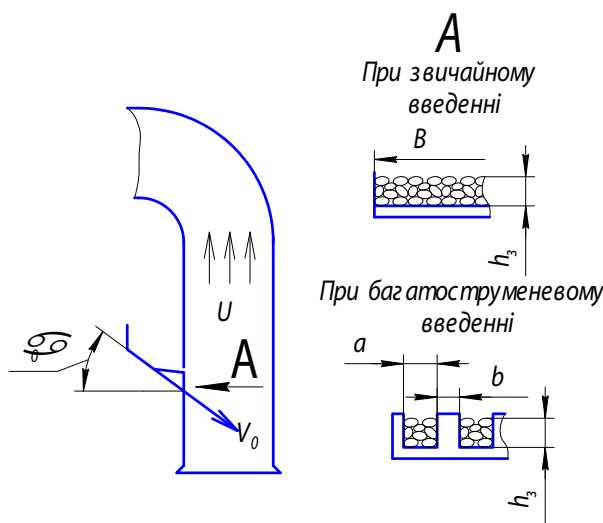


Рисунок 1 – Схема пневмосепаруючого каналу з традиційним та багатоструменевим введенням зернового матеріалу

Ширина зернового струменя a повинна бути якнайменшою (оптимально одна насінина) для забезпечення максимальної взаємодії повітря з зерном. Ширину зернового струменя визначаємо як:

$$a = l_n + 2 \dots 4 \text{ мм.}, \quad (7)$$

де l_n - максимальна довжина насінини (для пшениці 8,6 мм, для ячменя 18,6 мм, для соняшника 15,0 мм [1])

Згідно рівняння Бернуллі:

$$P_n = P_{cm} + P_o = const. \quad (8)$$

Після зіткнення повітряного потоку з зерною сумішшю, величини статичного та динамічного тиску різко змінюються: статичний – збільшується по мірі збільшення опору зернового струменя, динамічний – збільшується в зонах найменшої концентрації зернового матеріалу, і діє тільки в напрямку повітряного потоку. Його величина залежить від швидкості потоку:

$$P_d = \frac{\rho \cdot U^2}{2}. \quad (9)$$

Тому, при введенні зернового матеріалу в канал, в зоні його введення створюється перепона повітряному потоку, при цьому статичний тиск P_{cm} різко збільшується, величина якого буде майже рівна повному, а динамічний буде наближатися до нуля. Потім матеріал розсівається і створюється простір повітряному потоку, при цьому, в цій зоні різко збільшується величина динамічного тиску P_d , який витрачається на створення швидкості потоку.

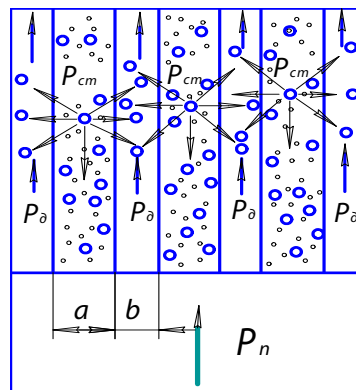


Рисунок 2 – Схема дії статичного P_{cm} та динамічного P_d тисків при багатоструменевому введенні матеріалу в ПСК

При встановленні багатоструменевих ділильників, величина статичного тиску в зонах зернового струменя достатня для того, щоб виштовхнути легкі домішки в повітряні проміжки із зоною дії підвищеного динамічного тиску, що буде сприяти пневмосепараційному процесу вже в зоні введення матеріалу.

У зв'язку з складністю аналітичного визначення параметрів багатоструменевих ділильників встановити їх раціональні параметри можливо лише шляхом експериментальних досліджень [5]. Використання одержаних досліджень дає можливість при внесенні мінімальних змін в конструкцію існуючих пневмосепаруючих машин, а саме встановленні пасивних багатоструменевих ділильників зернового потоку перед його введення в ПСК з початковою шириною зернових струменів $a = 10 - 15$ мм та шириною ділильника $b = 6 - 8$ мм, значно підвищити питоме навантаження та продуктивність пневмосепарації при первинному очищенні $\eta \geq 60\%$ з 1250 до 2000 кг/дм., тобто в 1,6 рази. При цьому, за рахунок одночасного зменшення опору матеріалу повітряному потокові в зоні введення вдається зменшити необхідний тиск повітря в пневмосистемі, а отже і енергоємність вентилятора на 15-20%.

З врахуванням дослідних даних можемо ввести поняття коефіцієнта багатоструменевого способу введення матеріалу, який запишемо так:

$$\zeta = \frac{q_B'}{q_B}, \quad (10)$$

де q_B' - питоме зернове навантаження на одиницю ширини каналу при багатоструменевому способі введення, кг/дм·год;

q_B - питоме зернове навантаження на одиницю ширини каналу при звичайному введенні, кг/дм·год.

Коефіцієнт багатоструменевого способу введення зернового матеріалу показує, в скільки разів питоме зернове навантаження на одиницю ширини каналу при вдосконаленому способі введення матеріалу вище від звичайного.

Висновки:

1. Відомі способи інтенсифікації введення зернових матеріалів в ПСК ЗОМ пов'язані зі зменшенням опору зернового матеріалу в зоні введення та часткового розшарування зернової суміші, але складність здійснення кожного з них значно обмежили їх практичне застосування.

2. Пропонуємо проводити введення зернових матеріалів в ПСК за допомогою пасивних багатоструменевих ділильників, які забезпечують продування повітряним потоком зернового матеріалу вже в зоні введення, а отже і призводить до збільшення активної зони ПСК.

3. Одержані закономірності секундності продуктивності ПСК з врахуванням багатоструменевого введення зернового матеріалу, та введено поняття коефіцієнту багатоструменевого способу введення матеріалу.

Список літератури

1. Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследования, расчет и испытание. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261с.
2. Ямпиллов С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.
3. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов. / З.Л. Тиц, В.И. Анискин, Г.А. Баснакьян и др.; под. ред. З.Л. Тица. – М.: Машиностроение, 1967. – 447 с.
4. Спосіб введення зернового матеріалу в аспіраційний канал повітряного сепаратора: Патент України № 65067 МКВ В 02В1/00 // М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, Р.В. Кісільов, С.М. Лещенко, С.М. Мороз. – 4 с.
5. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М. Нестеренко О.В. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна. // Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. – Мелітополь, 2006 – вип. 39. – С.161-165.
6. Васильковський М.І., Гончарова С.Я., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 111-114.

В статье рассмотрен многоструйный способ введения зерновых материалов в пневмосепарирующие каналы зерноочистительных машин, приведены предпосылки его осуществления, анализируется целесообразность установки многоструйных делителей зернового материала и результаты достижимые за счет такого введения.

In the article the multi-jet method of introduction of corn materials is considered in the ductings of grain cleaners. Navedeny of pre-condition of his realization. The analysis of establishment of multi-jet delimiter is conducted. Results which are given by such method of introduction are given.