

М.І. Васильковський, доц., канд. техн. наук, О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук, С.М. Лещенко, асистент, Д.І. Петренко, інженер
Кіровоградський національний технічний університет

Попередні дослідження альтернативних джерел створення повітряного потоку в пневмоінерційних зерноочисних машинах

В статті проведено огляд та аналіз джерел повітряного потоку, які працюють в схемах ЗОМ загального призначення, відмічені їх основні переваги та недоліки, окреслені напрямками подальшого вдосконалення. Запропоновано використання лопатевого ротора, як багатофункціонального робочого органу, який, крім функції створення повітряного потоку, пересуває зерно по підсівному решеті та вивантажує його із машини. Визначені основні конструктивні особливості запропонованого робочого органу та приведені елементи розрахунку деяких параметрів ротора. Представлені результати попередніх досліджень запропонованого робочого органу при створенні ним повітряного потоку.
зерноочисна машина (ЗОМ), пневмосепарація, вентилятор, лопатевий ротор, пневмосепаруючі канали (ПСК), багатофункціональний робочий орган

Виділення із основного зерна та насіння легких домішок відбувається в повітряних системах ЗОМ. При цьому робочим середовищем є повітряний потік, відповідна швидкість якого дозволяє проводити процес пневмосепарації за рахунок різниці аеродинамічних властивостей культури, що очищається та домішок. В більшості існуючих ЗОМ джерелом повітряного потоку є вентилятори, серед яких найбільш поширеними є відцентрові, осьові, діаметральні та вихрові [1, 2, 3, 4].

Осьові вентилятори [1] бувають одно-, дво- та багатоступеневими і можуть виготовлятися як правого, так і лівого обертання. Теорія лопаті осьового вентилятора адекватна теорії крила літака. Під дією набігаючого потоку на крило будуть діяти підйомна сила та сила лобового опору, а отже при обертанні робочого колеса вентилятора підйомна сила буде створювати тягову силу потоку повітря. Осьові вентилятори мають досить високий ККД (80-84%) та мають значний інтервал швидкохідності. Слід відмітити, що у зв'язку із значною нерівномірністю повітряного потоку, осьові вентилятори у пневмосистемах ЗОМ майже не використовуються.

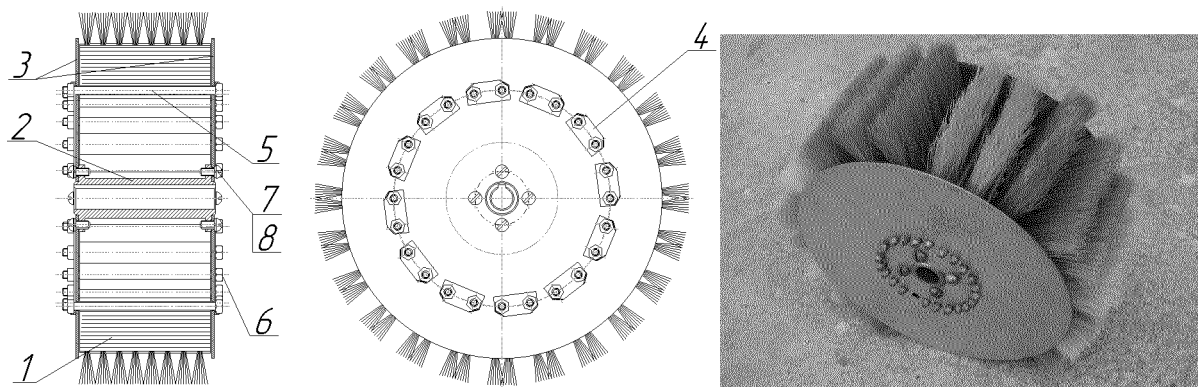
Діаметральні вентилятори [2, 3] складаються з робочого колеса, на якому розміщені похилі лопаті, яке встановлено в коліноподібному кожусі. Іноді в центральній частині таких вентиляторів розміщують спеціальний направляючий апарат, який сприяє правильній організації вхідного потоку повітря. При обертанні колеса навколо нього утворюється ексцентричне вихрове поле, а у зовнішній половині кругової решітки виникає розрідження, що і обумовлює потік повітря в поперечному (діаметральному) напрямку. Діаметральні вентилятори здатні забезпечити більш рівномірне поле швидкостей, але мають невисоку економічність, підвищений рівень шуму і відрізняються нестійкою роботою. Все-ж при раціональному виборі конфігурації кожуха і направляючого апарата, що забезпечують створення центру вихру поряд (поблизу) вхідних кромek лопатей, можна значно покращити якісні показники роботи таких повітродувних систем.

Найбільшого використання в сільськогосподарському машинобудуванні, в тому числі і в системах очищення зерна повітряним потоком, набули відцентрові вентилятори [2, 4]. Такі вентилятори бувають як із одностороннім, так і двостороннім підводом повітря, а робочий процес перебігає наступним чином: повітря, яке потрапляє у міжлопатевий простір, закручується при силовій взаємодії з робочим колесом, при цьому виникає відцентрова сила, яка направлена по радіусу від внутрішнього кола колеса до зовнішнього, а форма корпусу забезпечує збір повітря і його нагнітання через патрубок у мережу. У сучасних відцентрових вентиляторів ККД коливається від 48 до 70% (у окремих випадках при вдалому конструктивному виконанні 85-90%). Слід відмітити, що відцентрові вентилятори здатні створити найбільш рівномірну структуру повітряного потоку, зручно компонуються при роботі замкнених повітряних систем, хоч і мають значні габаритні розміри та значну шумність роботи.

У вихрових вентиляторах [4] відбувається перемішування повітряного середовища під впливом лопатей, що рухаються. Вони використовуються для створення значного тиску у мережі при малих подачах. Такі вентилятори відрізняються майже безшумною роботою.

Більшість світових досліджень джерел повітряного потоку направлена саме на вивчення зазначених вентиляторів, та роботу пневмосистем від централізованих пневмомагістралей. Поряд з цим виникла необхідність створення універсального багатофункціонального робочого органу, який і дозволяє створити нову серію пневмоінерційних ЗОМ [5, 6]. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження [6, 7, 8] доводять їх високу ефективність роботи при зниженій енергоємності.

Джерелом повітряного потоку у пневмоінерційних ЗОМ є лопатевий ротор, загальний вигляд якого наведено на рис.1. Лопатевий ротор в такій схемі роботи [6] призначений для спрямування зернового матеріалу на пруткову решітку тонким шаром (товщиною в одне зерно), очищення каналів останнього від застряглих в них часток, інерційного відвантаження очищеного зерна з машини та створення повітряного потоку, який спрямовується до ПСК. Він складається із маточини 2, на якій закріплено два диски 3 з отворами. Між дисками 3 знаходяться щітки 1, які закріплюються на осях 5, що в свою чергу вставлені в отвори дисків 3. Відносно дисків вісі фіксуються гайками 6 та пластинами-фіксаторами 4. Встановлюватись лопатевий ротор може як безпосередньо на вал електродвигуна (пневмоінерційні машини низької продуктивності 1 – 3 т/год), так і на привідний вал із закріпленням на ньому шківом (машини продуктивністю 5–10 т/год).



1 – еластична щітка з кронштейном; 2 – маточина; 3 – диск; 4 – пластина-фіксатор; 5 – вісь;
6 – гайка; 7 – гвинт; 8 – шайба

Рисунок 1 – Лопатевий ротор

Виходячи з теорії барабана масу повітря, що витискається планками ротора за секунду, можна знайти із співвідношення:

$$m_{\Pi} = \gamma_{\Pi} \cdot S_{\Pi} \cdot i \cdot V_{\Pi}, \quad (1)$$

де γ_{Π} – щільність повітря, кг/м³;

S_{Π} – лобова площа однієї планки, м²;

i – кількість планок ротора, шт;

V_{Π} – лінійна швидкість центру лобової площини, м/с.

В свою чергу лобову площу однієї планки лопатевого ротора можна виразити як

$$S_{\Pi} = a \cdot b, \quad (2)$$

де a , b – відповідно довжина та висота робочої частини щітки лопатевого ротора, м.

Для визначення лінійної швидкості центру лобової площини скористаємося залежністю

$$V_{\Pi} = \omega_p \cdot r_{\Pi} = \frac{\pi \cdot n_p}{60} \cdot \left(D_p - \frac{b}{2} \right), \quad (3)$$

де ω_p – кутова швидкість обертання ротора, рад/с $\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30}$;

r_{Π} – радіус лобової площини щітки лопатевого ротора, м $r_{\Pi} = \frac{D_p}{2} - \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D_p - \frac{b}{2} \right)$.

Підставивши залежності (2) та (3) в рівність (1) отримаємо:

$$m_{\Pi} = \gamma_{\Pi} \cdot a \cdot b \cdot i \cdot \frac{\pi \cdot n_p}{60} \cdot \left(D_p - \frac{b}{2} \right). \quad (4)$$

Отримане рівняння (4) дозволяє, знаючи вихідні параметри лопатевого ротора, а саме розміри робочої поверхні щіток, їх кількість, діаметр та частоту обертання ротора, визначити масу повітря, яка буде ним витіснятись.

Для знаходження швидкості повітряного потоку, яку буде створювати ротор, слід визначити показник його кінематичного режиму

$$k = \frac{\omega_p^2 \cdot R_p}{g}, \quad (5)$$

де R_p – радіус лопатевого ротора, м.

Витісненому повітрю ротор надає швидкість $V_{нов}$, яка пропорційна швидкості центру лобової площини V_{Π} :

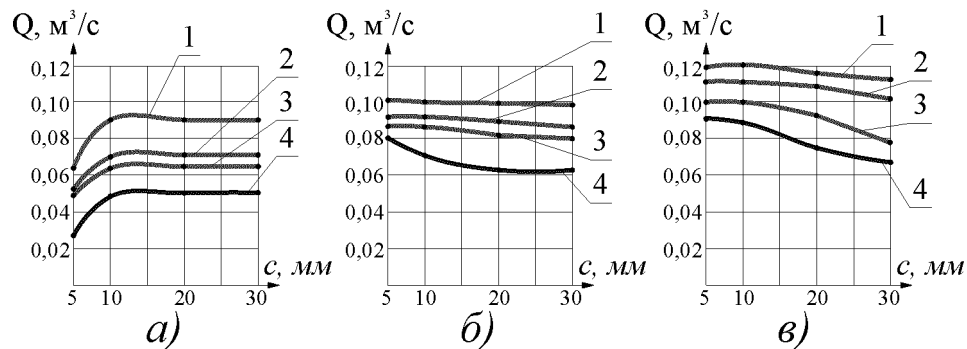
$$V_{нов} = \varepsilon \cdot V_{\Pi} = \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot n_p}{60} \cdot \left(D_p - \frac{b}{2} \right), \quad (6)$$

де ε – коефіцієнт пропорційності, який залежить від показника кінематичного режиму ротора та кількості лопатей. Експериментально встановлено, що для $i = 24$ та $k = 262,5$ – $\varepsilon = 0,58$.

Під час проведення попередніх експериментальних досліджень визначали вплив конструктивних параметрів та режимів роботи лопатевого ротора, як джерела створення повітряного потоку. При цьому визначали вплив відстані від ротора до

кожуха та вплив кута обхвату кожуха на продуктивність повітродувної системи. Крім цього, визначили аеродинамічну характеристику лопатевого ротора.

Результати проведених досліджень представлені на рис. 2, 3, 4.



а) кут обхвату кожухом робочої зони ротора $\alpha=90^\circ$; б) кут обхвату кожухом робочої зони ротора $\alpha=180^\circ$;

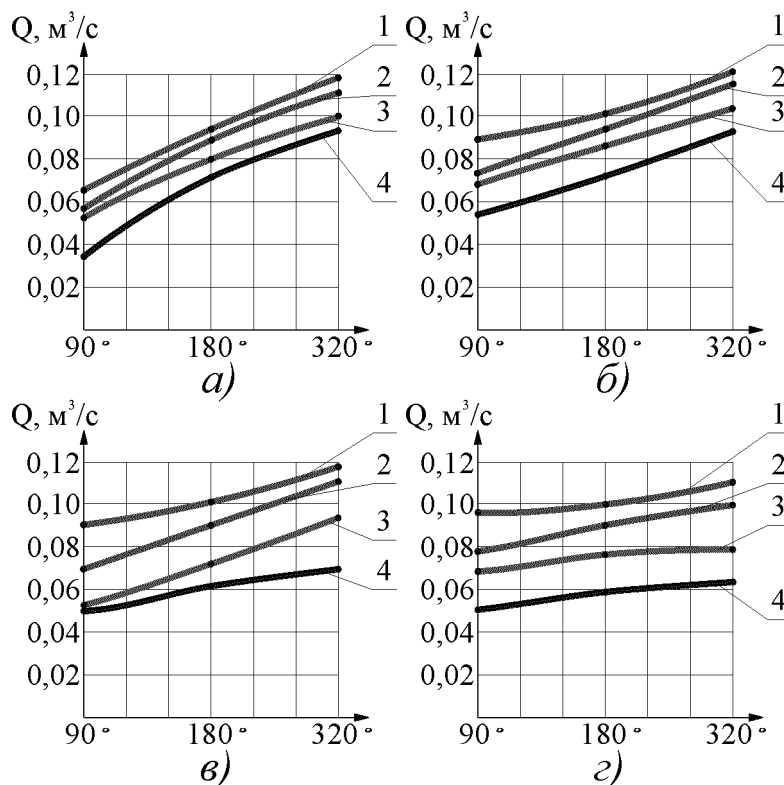
в) кут обхвату кожухом робочої зони ротора $\alpha=320^\circ$

1 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=6000 \text{ мм}^2$; 2 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=4500 \text{ мм}^2$; 3 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=3000 \text{ мм}^2$; 4 – при площі вихідного отвору вентилятора $S=1500 \text{ мм}^2$

Рисунок 2 – Графіки залежності продуктивності ротора від відстані до кожуха

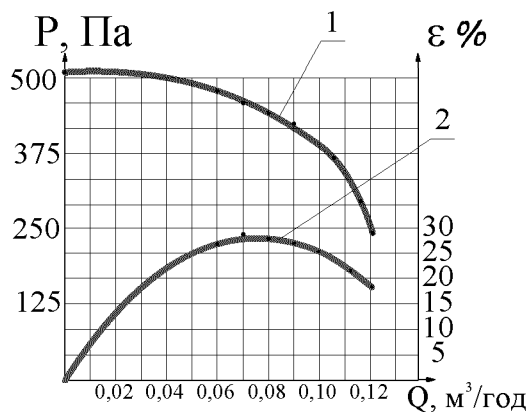
Проаналізувавши графіки впливу зазору між ротором і його кожухом (рис.2) можна відмітити, що поступове збільшення зазору призводить до помірному зниженню продуктивності. Така тенденція спостерігається при будь-якому куті обхвату робочої зони та вихідного отвору ротора. Стабільної продуктивності роботи ротора, незалежно від вихідних конструктивних особливостей, вдається досягти при зазорі близько 10 мм.

Аналізуючи вплив кута обхвату кожухом ротора на продуктивність (рис. 3) очевидно, що його збільшення призводить до підвищення продуктивності при будь-якому зазорі та площі вихідного отвору. Та цей параметр не завжди вдається забезпечити максимальним. Конструктивно, для роботи інерційно-пневматичного сепаратора [6], кут обхвату не може перевищувати 320° .



а) зазор між ротором та кожухом $c=5$ мм; б) зазор між ротором та кожухом $c=10$ мм; в) зазор між ротором та кожухом $c=20$ мм; з) зазор між ротором та кожухом $c=30$ мм;
 1 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=6000$ мм^2 ; 2 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=4500$ мм^2 ; 3 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=3000$ мм^2 ; 4 – при площі вихідного отвору лопатевого ротора $S=1500$ мм^2

Рисунок 3 – Графіки залежності продуктивності ротора від кута обхвату кожухом робочої зони



1 – повний тиск; 2 – коефіцієнт корисної дії

Рисунок 4 – Аеродинамічна характеристика лопатевого ротора

Результати експериментального визначення аеродинамічної характеристики лопатевого ротора (рис. 4) дозволяють відмітити відносно низький коефіцієнт корисної дії запропонованого робочого органу (не перевищує 30%) у порівнянні з аналогічними параметрами існуючих вентиляторів. Але в цьому випадку проводили оцінку ротора

лише як джерела повітряного потоку, при цьому не враховували ще ряд функцій, які він виконує, а саме: пересуває зерно по підсівному решету та вивантажує його з машини.

Зважаючи на фізико-механічні властивості зернового матеріалу, приведені вище операції неможливо виконувати жорсткими лопатями існуючих вентиляторів, оскільки це призведе до пошкодження зерна, а тому використання лопатевого ротора у повітряно-інерційних зерноочисних машинах є їх невід'ємною функціональною та конструктивною особливістю.

Висновки

1. Джерелом повітряного потоку у більшості існуючих ЗОМ служать відцентрові, діаметральні, осьові та вихрові вентилятори, при цьому, вибираючи раціональні параметри їх роботи, вдається досягти високого ККД (70-80%) і відносно рівномірної структури повітряного потоку.

2. Невід'ємним елементом повітряно-інерційних ЗОМ є багатфункціональний робочий орган – лопатевий ротор, який створює повітряний потік, пересуває очищуваний матеріал по підсівному решету та за рахунок сил інерції вивантажує останній із машини. Визначити масу повітря, яка витісняється планками ротора можна виходячи з теорії барабану, а використовуючи показник кінематичного режиму ротора та коефіцієнту пропорційності визначити швидкість повітряного потоку, яку він створює.

3. Експериментальні дослідження дозволяють відмітити, що раціональними параметрами ротора при створенні повітряного потоку є: відстань від кожуха до щіток ротора 5 – 10 мм; чим більший кут обхвату кожухом робочої зони ротора тим вищої продуктивності роботи можна досягти. Зазначимо, що конструктивно цей кут не може перевищувати 320°, при цьому досягається продуктивність роботи 0,12 м³/с (при ширині ротора 100 мм).

4. Повний тиск, який створює лопатевий ротор, дозволяє забезпечувати необхідні робочі швидкості повітряного потоку для аеродинамічного розділення зернових сумішей, при цьому ККД ротора, як джерела повітряного потоку, не перевищує 30%.

Список літератури

1. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин. Теория и технологический расчет. / Турбин Б.Г. – М.: Машиностроение, 1968. – 160 с.
2. Бурков А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание / А.И. Бурков, Н.П. Сычугов. – Киров: изд-во НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 258 с.
3. Поляков В.В. Насосы и вентиляторы. / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1990 – 335 с.
4. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії та застосування.: Навч. посібник. / Срібнюк С.М. – К.: Центр навчальної літератури, 2004 – 328 с.
5. 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. Випуск 36. – Кіровоград: КНТУ, 2006 – С. 111-114.
6. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. Вип. 59 – Харків, 2007 р. – С. 177-186.
7. Васильковський М.І., Глобенко Г.О., Лещенко С.М. Дослідження повітряно-інерційної зерноочисної машини з вдосконаленим способом введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал // Щоквартальний науково-виробничий журнал Одеської академії харчових технологій. Зернові продукти і комбікорми, №3, 2008 р. – С. 48-52.

8. Лещенко С.М., Васильковський О.М., Васильковський М.І., Гончаров В.В. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. – Луцьк: Ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. – С. 230-234.

М. Васильковский, А.Васильковский, С. Лещенко, Д. Петренко

Предварительные исследования альтернативных источников создания воздушного потока в пневмоннерционных зерноочистительных машинах

В статье проведен обзор и анализ источников воздушного потока, которые работают в схемах ЗОМ общего назначения, отмечены их основные преимущества и недостатки, намечены направления последующего совершенствования. Предложено использование лопастного ротора, как многофункционального рабочего органа, который, кроме функции создания воздушного потока, перемещает зерно по подсевному решету и выгружает последнее из машины. Определены основные конструктивные особенности предложенного рабочего органа и приведены элементы расчета некоторых параметров ротора. Представлены результаты предшествующих исследований предложенного рабочего органа при создании им воздушного потока.

M. Vasil'kovskiy, A. Vasil'kovskiy, S. Leschenko, D. Petrenko

Preliminary researches of alternative sources of creation of current of air in pneumatic inertial grain cleaning machines

A review and analysis of sources of current of air, which work in the charts of grain cleaners the general setting, is conducted in the article, marked their basic advantages and failings with the outlined directions of subsequent perfection. The use of blade rotor is offered, as a multifunction working organ which except for the function of creation of current of air moves grain after a sieve and the last unloads from a machine. The basic structural features of the offered working organ are certain and the elements of calculation of some parameters of rotor are resulted. The results of previous researches of the offered working organ are presented at creation by him current of air.

Одержано 08.09.09