

М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук, Д.В. Богатирьов, канд. техн. наук,
В.В. Онопа, студ.

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування основних параметрів пульсатора пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною

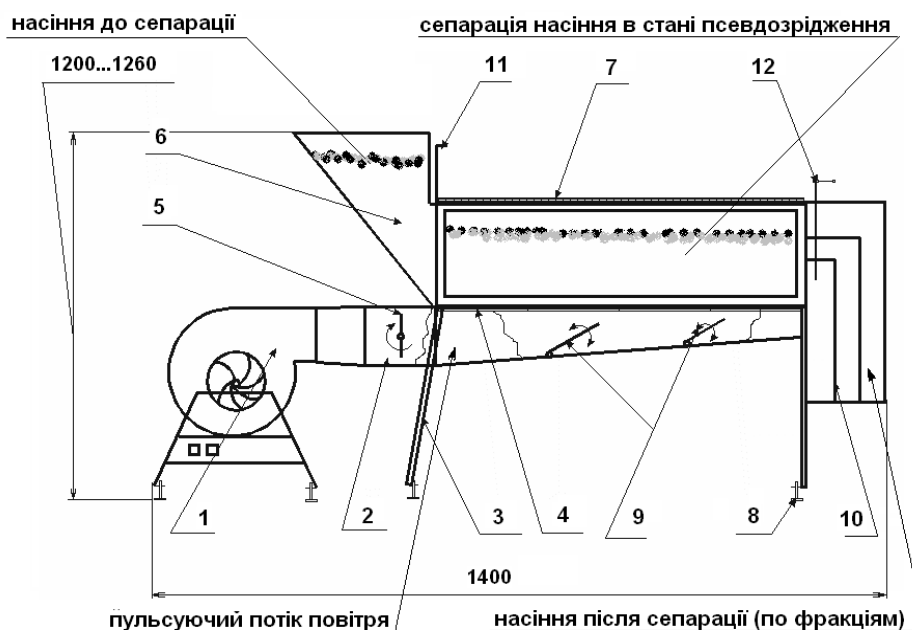
В статті наведено аналітичні формули для визначення основних параметрів та режимів роботи пульсатора пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною. Обґрунтовано отримані формули щодо визначення параметрів пульсатора, також подано порядок їх розрахунку з експериментальним підтвердженням у вигляді номограм.

процес сепарації в стані псевдозрідження, пневмоімпульсна машина, пульсуючий потік повітря, пульсатор

Один з найбільш ефективних способів підвищення якості насінневого матеріалу – сепарація в псевдозрідженому шарі, що реалізується в пневматичних сортувальних столах (ПС). Але вони не забезпечують стійкої сепарації при незначній зміні фізико-механічних властивостей початкового насінневого матеріалу, а також мають високу питому енергоємність – 2,2...3,1 кВт·год/т. Висока енергоємність пояснюється тим, що тільки на 1/3 площі деки відбувається активне розшарування матеріалу, а на іншій – вибірне транспортування розшарованого матеріалу, а також привід деки, для створення коливального руху. Підвищення продуктивності ПС супроводжується збільшенням площини деки, та, відповідно, коливальних мас, зниженням рівномірності швидкості повітряного потоку по площі, що порушує стійкість сепарації та її ефективність [1–3].

Об'єктом дослідження в даній роботі є пневмоімпульсна машина для сепарації насіння за густиною (рис. 1). Предметом дослідження є параметри та режими роботи пневмоімпульсної машини. Мета дослідження – зниження трудомісткості, енергоємності, підвищення якості та стійкості процесу сепарації насіння за густиною.

Процес сепарації відбувається таким чином [3–5]. Насіння завантажують в повітряний канал 2 (рис. 1) через бункер 6. Товщину шару насіння регулюється регулятором 11. Вентилятор 1 нагнітає повітря повітряний канал 2 через пористу перегородку 4. Пульсатор 5 створює змінний потік повітря, який проходячи через перегородку 4 пронизує шар насіння. Відбувається сепарація в псевдозрідженому шарі насіння за густиною, тобто важкі (з найбільшим значенням густини) опускаються до дна перегородки 4, легкі (з найменшим значенням густини) піднімаються вгору, а середні займають місце між важкими та легкими. Далі класифікований за густиною шар насіння рухається до блоку дільників 10. Повітря виходить через сітку 7, яка сполучається з системою вентиляції або з циклоном. Для інтенсифікації процесу сепарації машина має пульсатор 5, що обертається з меншою кутковою швидкістю ніж вентилятор і призначений для зміни швидкості фільтрації ω_{ϕ} в межах, які не дозволяють перейти псевдозрідженому стану в киплячий – при якому неможлива сепарація, так як це є режим пневмотранспорту [4], тобто створює пульсуючий потік повітря.



- 1 – вентилятор з приводом та блоком керування; 2 – повітряний канал; 3 – рама; 4 – пориста перегородка; 5 – пульсатор з приводом та лопаттю яка має змінний діаметр; 6 – бункер; 7 – сітка для виходу повітря; 8 – регулятор кута нахилу повітряного каналу; 9 – регульовані заслінки; 10 – блок дільників; 11 – регулятор висоти шару насіння в каналі; 12 – регулятор висоти встановлення дільників.

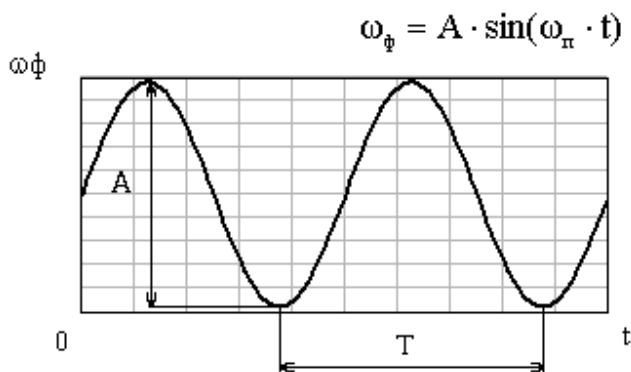
Рисунок 1 – Пневмоімпульсна машина для сепарації насіння за густиною (ПІМ)

Частота пульсації повітряного потоку є одним з основних параметрів, що істотно впливає на якісні показники роботи ПІМ. Тому отримання аналітичної формули для її визначення було одним із завдань нашої роботи.

Для вирішення цієї задачі зробили наступні допущення:

- швидкість фільтрації представляємо як хвилю, що змінюється в часі, за аналогією з дослідженнями М.А.Лаврентьєва згідно рівняння $\omega_{\phi} = A \cdot \sin(\omega_n \cdot t)$;

- для запобігання виникнення сплесків повітря по робочій довжині каналу L приймається умова $L = \lambda$, де λ - довжина хвилі.



A – ріст амплітуди; T – період одного повного оберту лопатевого колеса пульсатора, с.

Рисунок 2 – Зміна швидкості фільтрації в часі

Згідно рис. 2 період одного повного оберту лопатевого колеса пульсатора:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_n}, \quad (1).$$

Тоді

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi}{T}, \quad (2)$$

де T – представимо як час, за який хвиля повітряного потоку з швидкістю V та довжиною λ пройде певний шлях в шарі насіння, тобто $T = \frac{V}{\lambda}$.

Для запобігання виникнення сплесків повітря по робочій довжині каналу L приймаємо умову $L = \lambda$. Швидкість повітряного потоку V буде меншою за швидкість фільтрації і буде дорівнювати:

$$V = \omega_\phi \cdot \frac{\rho}{\rho_c + \rho}, \quad (3)$$

де ρ, ρ_c – густина частки та середовища, кг/м^3 ;

ω_ϕ – табличне значення швидкості фільтрації (для пшениці $\omega_\phi = 1,2 \dots 1,6$ м/с).

Підставимо значення V (3) та λ ($L = \lambda$) в рівняння (1) і отримаємо значення періоду:

$$T = \frac{\omega_\phi}{L} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho + \rho_c} \right).$$

Після підстановки отримаємо аналітичну формулу для визначення частоти пульсації:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_\phi}{L} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho + \rho_c} \right). \quad (4)$$

Отримана формула (4) дозволить визначити кутову швидкість лопатевого колеса пульсатора (ω_n) в залежності від густини найважчої з часток матеріалу та довжини перегордки.

Пульсація потоку формується спеціальним пульсатором, що під час роботи створює опір, який дорівнює тиску повітря в каналі, що приходиться на площу заслінки S_n . Тоді вважаючи, що відношення між проекцією площі заслінки пульсатора S_n на вертикальну площину (рис. 3) до вертикального перерізу каналу S_k і буде складовою коефіцієнту опору пульсатора (коефіцієнтом пропорційності k), а так як пульсатор обертається, то його опір буде змінним у часі. Зміна величини проекції площі заслінки пульсатора S_n буде підпорядкована закону синуса, який обрано з наступних міркувань: при вертикальному положенні заслінки пульсатора значення S_n буде максимальним, а при горизонтальному – найменше.

Площа поперечного перетину повітряного каналу

$$S_k = a \cdot b. \quad (5)$$

Площа лопатевого колеса пульсатора

$$S_n = a_n \cdot D_n. \quad (6)$$

Площа проекції S_n на поперечний перетин S_k у деякий момент часу t

$$S_n = a_n \cdot D_n \cdot \sin|\omega_n \cdot t|. \quad (7)$$

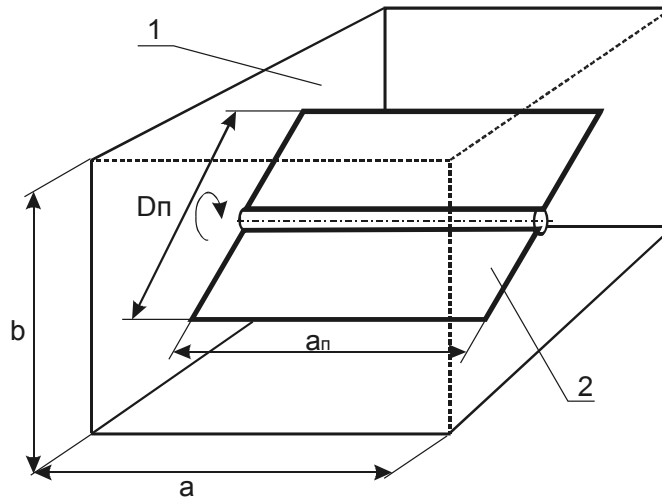
Тоді опір пульсатора

$$P_n = (\xi + k) \cdot P_b, \quad (8)$$

де P_b – тиск який створює вентилятор, Па;

k – коефіцієнт пропорційності:

$$k = \frac{a_n \cdot D_n}{a \cdot b} \cdot |\sin(\omega_n \cdot t)|. \quad (9)$$



1 – повітряний канал; 2 – лопатеве колесо пульсатора;
 a, b – відповідно, ширина та висота каналу, м;
 a_п, D_п - відповідно, ширина та діаметр лопатевого колеса пульсатора, м.
 Рисунок 3 – Схема для визначення опору лопатевого колеса пульсатора

Теоретично отримали графік опору пульсатора в часі скориставшись формулою (8) підставивши в неї значення $\omega_n=10,47$ рад/с (100 об/хв), $a=0,13$ м, $a_n=0,12$ м, $b=0,14$ м, $D_n=0,12$ м, $\xi=0,01$, $P_b=1,5$ кПа.

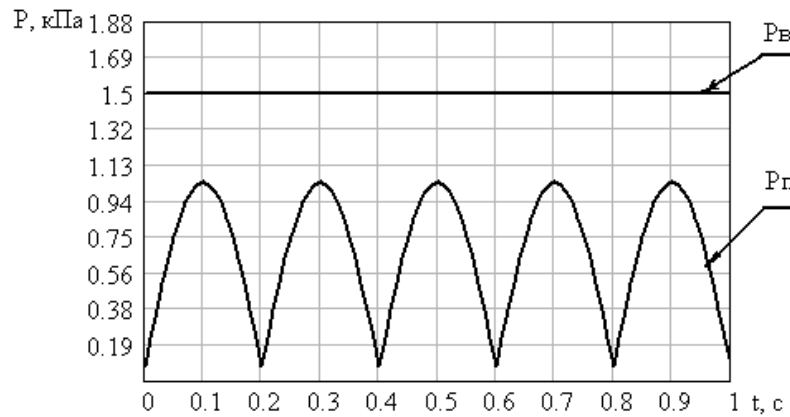


Рисунок 4 – Графік зміни опору пульсатора у часі

Найбільше значення опору пульсатора не перевищує тиск, що створює вентилятор, тоді робочу швидкість фільтрації, в залежності від параметрів ПІМ визначаємо за формулою:

$$\omega_\phi = \sqrt{P_b / \left((1-\varepsilon) \cdot (\rho_s - \rho_c) \cdot \left(1 + \frac{a_n \cdot D_n}{a \cdot b} \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \right) + \rho_c \cdot k_T \cdot L \cdot \frac{(a+b)}{a \cdot b} \right)}, \quad (9)$$

де ε – порозність шару; h – висота шару насіння, м; k_T – коефіцієнт тертя;
 ρ_c, ρ_b – відповідно густина середовища та важкої насінини, кг/м³.

На основі експериментальних даних побудовано номограму для визначення технологічного ефекту сепарації (ТЕС) в залежності від параметрів ПІМ.

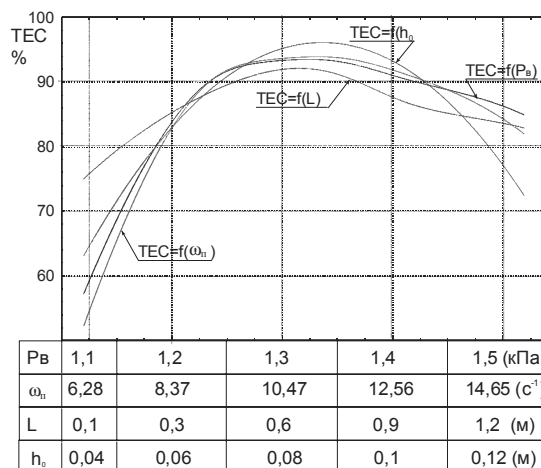


Рисунок 5 – Номограма для визначення ТЕМ в залежності від основних параметрів

Проведені експериментальні дослідження дослідної ПІМ показали наступне:

1. Стійка роботи ПІМ спостерігається при наступних значеннях найбільш впливових параметрів $P_v=(1,3...1,4)$ кПа, $\omega_n=(10,47...12,56)$ рад/с, $L=0,6$ м, $h=(0,1...0,12)$ м. При цьому значення технологічного ефекту сепарації (ТЕС) та продуктивності (Q) знаходяться в інтервалі $ТЕС = 89...93\%$ і $Q = 1,6...1,9$ кг/с.

2. Сепарація насіння за густиною в стані псевдозрідження з використанням пульсуючого повітряного потоку дозволяє підвищити продуктивність на $1,1...1,2$ кг/с та покращити технологічний ефект сепарації на $8...13\%$.

3. Експериментальні дослідження підтвердили доцільність використання пульсатора шляхом встановлення його в повітряний канал і заміни коливальний рух деки на пульсуючий потік повітря, що дозволило:

- зменшити робочу площу деки;
- зменшити потужність електричного двигуна;
- істотно покращити якісні показники роботи.

Список літератури

1. Дринча В.М. Исследование вибропневмосепараторов с плоскими цилиндрическими деками. // Механизация и электрификация сельского хозяйства – №5 – 2001 – С. 6-9.
2. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації після збиральної обробки зерна. – К.: Урожай, 1990. – 194 с.
3. Петренко М.М., Богатирьов Д.В. Теоретичні дослідження пневмоімпульсної сепарації за густиною. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 32. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – С. 140-146.
4. Петренко М.М., Богатирьов Д.В. Експериментальні дослідження пневмоімпульсної сепарації за густиною // Вісник ТДТУ Випуск 1. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – С. 23-34.
5. Пневмоімпульсна машина для сепарації насіння за густиною: Патент 54279 С2 Україна, МПК 7 В07В4/08, 7/12//В11/04 / М.М. Петренко, Д.В. Богатирьов; Кіровоградський державний технічний університет. - №2002075688; Заяв. 10.07.2002.

The thesis is developed the problem to pneumatic-impulsive separation according to density. Analytical researches are conducted and the determined mathematical model of motion of particle is got during pneumatic-impulsive separation and formula for determination of resistance of pulsator, frequency of pulsation, height of establishment of divisors, and also speed of filtration. Experimental researches confirmed expedience of the use of pulsator by setting of him in a pneumatic channel for replacement of swaying motion of sounding board on a pulsating blast.

В статье приведены аналитические формулы для определения основных параметров и режимов работы пульсатора пневмоимпульсной машины для сепарации семян по плотности. Обосновано полученные формулы относительно определения параметров пульсатора, также подан порядок их расчета с экспериментальным подтверждением в виде номограммы.