



Степаненко С. П.

Швидя В. О.

Національний науковий  
центр "Інститут  
механізації та  
електрифікації  
сільського  
господарства"

УДК 631.362.3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА В ПНЕВМОВІБРОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ З УДОСКОНАЛЕНОЮ АСПІРАЦІЙНОЮ КАМЕРОЮ

*Изложены результаты экспериментальных исследований технологического процесса работы различных по конструкции разбрасывателей. Получено уравнение регрессии эффективности и четкости процесса пневмосепарации от режимных параметров аспирационной камеры.*

*Results of pilot studies of technological process of work of various spreaders on a design are stated. The equation of regression of efficiency and clearness of process of pneumoseparation from regime parameters of the aspiration chamber is received.*

### **Проблема.**

Універсальні пневмовібровідцентрові зернові сепаратори широко використовують в господарствах України, як машини попереднього і первинного очищення, завдяки їх високій питомій продуктивності і незначній питомій матеріалоемності. Їх використання дозволяє втричі зменшити потребу у виробничій площі в порівнянні з традиційними сепараторами.

Як правило, універсальні пневмовібровідцентрові сепаратори складаються з двох частин: пневмовідцентрової і вібровідцентроворешітної. При високій продуктивності і компактності робота даних сепараторів показала незадовільне очищення зернової суміші від легких домішок (полова, частини стебел і т.д.), що пов'язано з недоліками конструкції пневмовідцентрової частини. Тому актуальною науково-технічною задачею є подальше технічне вдосконалення пневмовідцентрової частини пневмовібровідцентрового сепаратора зерна.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Дослідження [1, 3, 5] встановили, що причиною незадовільного очищення зернової суміші від легких домішок є нераціональна подача зерна у висхідний повітряний потік

розкидачем. В ході виконання технологічного процесу розкидач подає зернову суміш щільним шаром в повітряний потік. Так як в нижній частині серійного розкидача встановлені лопатки, то це сприяє нерівномірній (по периметру) подачі зерна у аспіраційний канал за рахунок того, що лопатки направляють зерно у вигляді "струменів", тим самим забезпечуючи зони з підвищеною щільністю зерна. Іншим недоліком пневмосепаруючої частини пневмовібровідцентрового сепаратора є завихрення в зоні з'єднання повітропроводу з верхньою циліндричною частиною аспіраційної камери, що знижує швидкість повітряного потоку в окремих зонах камери.

В роботі [1] були висунуті гіпотези, які дозволяють усунути вказані недоліки. Їх суть зводиться до подачі зерна перпендикулярно напрямку руху повітряного потоку. Це забезпечується нахилом стінок аспіраційного каналу під кутом близьким до 45°, так що аспіраційний канал набуває форми усіченого полого конусу, співвісно якому всередині встановлений розкидач, виконаний у вигляді усіченого конусу, оберненого більшою основою вгору.

Теоретичними дослідженнями [6] були обґрунтовані основні показники режиму роботи пневмосепаруючої частини



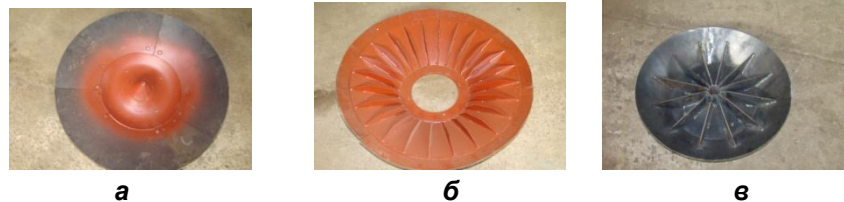
пневмовібровідцентрового сепаратора. Проте більшість положень вимагає експериментального підтвердження.

**Мета досліджень** – виявлення та оцінка впливу режимних параметрів удосконаленої пневмосепаруючої частини на якісні показники очищення зернової суміші.

**Результати досліджень.**

Згідно гіпотез, висунутих в роботі [1] та теоретичних положень, розроблених в роботі [6] були розроблені, 2 розкидачі (рис 1 а, б).

Перший з них представляє собою усічений конус, обернений більшою основою вгору діаметром 720 мм. Причому значна частина бокової поверхні розкидача виготовлена з гуми і має розподільчий конус в центрі (рис 1 а). Другий розкидач на відміну від першого, має вузьку гумову верхню частину бокової поверхні, яка приєднана до конічної металічної частини, що має лопатки (рис 1 б), але не містить розподільчого конусу в центрі. Третій розкидач за конструкцією подібний до серійного (рис 1 в).



а

б

в

**Рис. 1. Загальний вигляд розкидачів, на яких виконували експериментальні дослідження:**  
а – конічний розкидач без лопаток; б – конічний розкидач з лопатками;  
в – серійний розкидач

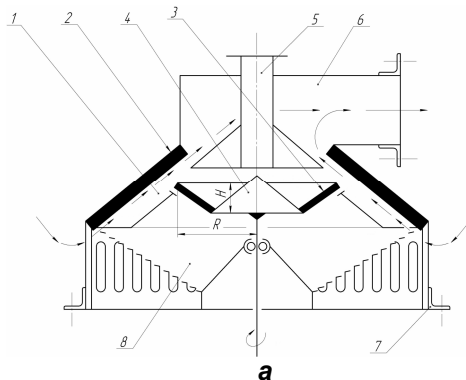
Експериментальні дослідження описаних розкидачів проводили в удосконаленій аспіраційній камері (рис. 2. а).

Вона представляє собою конструкцію, що складається з кільцевого каналу 1, утвореного двома конічними стінками. В центрі аспіраційної камери розміщується розкидач 4, над яким розміщується дозатор 5. До верхньої частини кільцевого каналу 1 приєднується патрубок 6. До нижньої частини кільцевого каналу

приєднується фланець 7, що представляє циліндричну ребристу поверхню і аерожолоб 8, який представляє жалюзійний конус.

Для виконання експериментальних досліджень удосконалена аспіраційна камера встановлювалась на експериментальну установку, розробленій в роботі [4] (рис. 2 б).

Технологічний процес на удосконаленій аспіраційній камері відбувається наступним чином.



а

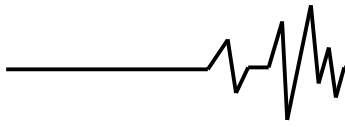


б

**Рис. 2. Конструкційна схема удосконаленої аспіраційної камери (а) та її загальний вигляд у складі експериментальної установки (б):** 1 – кільцевий канал; 2 – внутрішня поверхня каналу; 3 – внутрішня поверхня розкидача зерна; 4 – розкидач зерна; 5 – дозатор; 6 – патрубок; 7 – фланець; 8 – аерожолоб

Зерновий матеріал надходить через дозатор 5 на розкидач 4, де під дією відцентрової сили переміщується до краю внутрішньої поверхні розкидача зерна 3 і з деякою початковою швидкістю вводиться в повітряний потік, який проходить через кільцевий канал 1. Легкі домішки під дією

аеродинамічної сили захоплюються повітряним потоком і через повітропровід 6 видаляються за межі аспіраційної камери. Очищене зерно, відбиваючись від внутрішньої стінки каналу 2, попадає на аерожолоб 8. Скочуючись по аерожолобу 8, зерно додатково очищується



струменями повітря, що дмуть з жалюзійних отворів і надходить на додаткову очистку.

Експериментальні дослідження велись на предмет впливу режимних параметрів аспіраційної камери:  $q$  – подача зернового матеріалу;  $u$  – швидкість висхідного повітряного потоку;  $n$  – частота обертання розкидача на якісні показники пневмосепарації: ефективність сепарації  $E$  та чіткість  $Z$  сепарації.

Ефективність та чіткість сепарації удосконаленої аспіраційної камери визначали за ступенем виділення сміттєвих домішок, тобто відносного вмісту прохідної фракції [7].

Для досягнення визначення впливу вищезазначених режимних параметрів на якісні показники пневмосепарації була застосована

методика багатофакторного експерименту. Було реалізовано трьохфакторний експеримент по D-оптимальному плану Бокса-Беніка [8, 9].

Керуючись проведеними раніше теоретичними дослідженнями [6] процесу пневмосепарації зерна, можливо встановити найбільш впливові фактори та визначити межі їх варіювання. До таких факторів слід віднести: швидкість висхідного повітряного потоку  $u$ , подача зерна  $q$ , частота обертання розкидача  $n$ . Значення запропонованих факторів наведено в таблиці 1.

За параметр оптимізації прийнято ефективність сепарації у відсотках  $E$  та чіткість пневмосепарації  $Z$ . Експериментальні дослідження проводили на зерні пшениці.

Таблиця 1

Рівні незалежних факторів експериментальних досліджень

№	Впливові фактори		Рівні варіювання факторів			Інтервал варіювання
	Назва фактора	Позначення	Верхній (+1)	Нульовий (0)	Нижній (-1)	
1	Швидкість висхідного повітряного потоку, м/с	$u$	9	7	9	2
2	Подача зернового матеріалу, т/год	$q$	25	15	5	10
3	Частота обертання розкидача, об/хв	$n$	160	130	100	30

Після аналізу на значимість, відтворюваність та адекватність [8, 9] були отримані наступні рівняння регресії

ефективності та чіткості пневмосепарації для 3 типів розкидачів.

Рівняння ефективності сепарації (1):

$$\begin{aligned}
 E_1 &= -68,79 - 0,2 \cdot n - 2,29 \cdot q + 44,6 \cdot v + 0,063 \cdot q^2 - 2,56 \cdot v^2 \\
 E_2 &= 22,38 + 7,38 \cdot v - 0,011 \cdot q \cdot n + 0,027 \cdot q^2 \\
 E_3 &= -49,75 - 0,43 \cdot n - 0,41 \cdot q + 36,45 \cdot v + 0,053 \cdot n \cdot v - 2,53 \cdot v^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Рівняння ефективності сепарації (2):

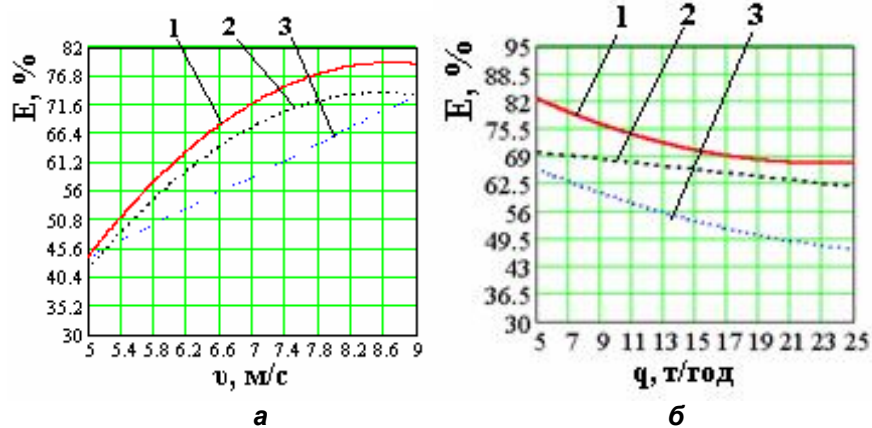
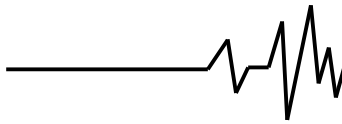
$$\begin{aligned}
 Z_1 &= 73,83 + 9,31 \cdot v - 0,83 \cdot v^2 \\
 Z_2 &= 68,9 - 0,49 \cdot q + 11,49 \cdot v + 0,083 \cdot q \cdot v - 1,07 \cdot v^2 \\
 Z_3 &= 72,12 + 0,285 \cdot n - 0,001 \cdot n^2 + 3,64 \cdot v - 0,006 \cdot n \cdot v - 0,27 \cdot v^2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Аналіз даних рівнянь регресії показує, що суттєвий вплив має швидкість висхідного повітряного потоку  $u$ , менш значущим є подача зерна  $q$  і незначний вплив здійснює частота обертання розкидача  $n$ .

На основі рівнянь регресії (1), побудовані графічні залежності (рис. 3) ефективності сепарації  $E$  від швидкості повітряного потоку  $u$  (при  $n = 130$  об/хв,  $q = 15$  т/год) та від подачі зернового матеріалу  $q$  (при  $n = 130$  об/хв,  $u = 7$  м/с).

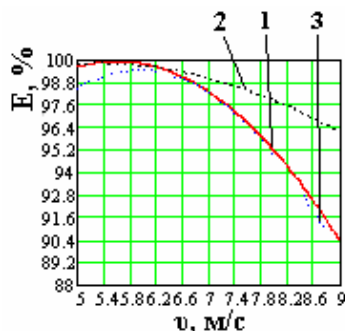
Аналіз даних залежностей показує, що збільшення швидкості повітряного потоку  $u$  підвищує ефективність процесу пневмосепарації  $E$  (рис. 3 а) і зменшує

ефективність процесу пневмосепарації  $E$  при збільшенні подачі зерна  $q$ . Найбільша ефективність досягається при використанні кінцевого розкидача без лопаток. Це пояснюється тим, що даний розкидач не створює так званих «струменів» зон локального згущення зерна. Таким чином, це підтверджує теоретичні гіпотези. Найбільша ефективність 80% досягається при швидкості повітряного потоку  $u = 8,7$  м/с та подачі зернового матеріалу  $q = 6$  т/год кінцевим розкидачем без лопаток. Серійний розкидач показав найнижчу ефективність, так як він не забезпечує перпендикулярне введення зерна у повітряний потік.



**Рис. 3. Графічні залежності ефективності сепарації  $E$  від швидкості повітряного потоку  $u$  (а) та подачі зерна  $q$  (б): 1 – конічний розкидач без лопаток; 2 – конічний розкидач з лопатками; 3 – серійний розкидач**

На основі рівнянь регресії (2), побудовані графічні залежності (рис.4) чіткості сепарації  $Z$  від швидкості повітряного потоку  $u$  (при  $n = 130$  об/хв,  $q = 15$  т/год).

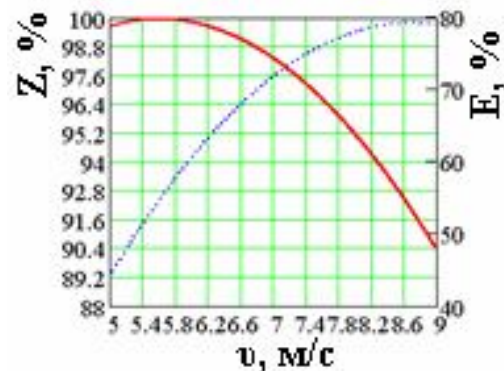


**Рис. 4. Графічні залежності чіткості сепарації  $Z$  від швидкості повітряного потоку  $u$ : 1 – конічний розкидач без лопаток; 2 – конічний розкидач з лопатками; 3 – серійний розкидач**

Дані залежності показують, що зі збільшенням швидкості повітряного потоку  $u$  зменшується чіткість сепарації  $Z$ . Найбільшу чіткість сепарації показує конічний розкидач з лопатками. Це пов'язано з тим, що при значному діаметрі розкидача 720 мм та завдяки ефекту «струменів», який викликають встановлені лопатки умови захоплення повітряним потоком частинок зерна значно гірші, ніж коли зерно вводиться в повітряний потік серійним розкидачем (менший діаметр 540 мм) чи конічним розкидачем без лопаток (рис. 1.). Графічні залежності, показані на рис. 4 показують, що конічний розкидач без лопаток і серійний розкидач забезпечують майже однакову чіткість сепарації  $Z$ , так як ними створюються однакові умови для захоплення частинок зерна повітряним потоком: серійним

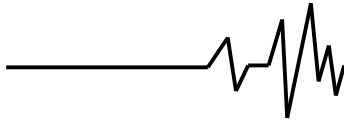
розкидачем за рахунок меншого діаметра, ніж у конічних розкидачів, що збільшує час руху частинок зерна у повітряному потоці; конічним розкидачем без лопаток за рахунок відсутності ефекту «струменів».

Підсумувавши графічні залежності, показані на рис. 3-4, можна зробити висновок, що найбільш раціональною конструкцією являється конічний розкидач без лопаток. З метою встановлення раціонального значення швидкості був побудований порівняльний графік, в якому по двом осям побудовані чіткість  $Z$  і ефективність сепарації  $E$  при  $n = 130$  об/хв,  $q = 15$  т/год (рис. 5).



**Рис. 5. Порівняльний графік чіткості  $Z$  та ефективності сепарації  $E$  від швидкості повітряного потоку  $u$  для конічного розкидача без лопаток**

В результаті перетин графіків чіткості  $Z$  і ефективності сепарації  $E$  дає точку оптимуму, в якій спостерігається найбільша ефективність і найбільша чіткість сепарації. Найбільшу ефективність сепарації  $E = 76\%$  і найбільшу чіткість сепарації  $Z = 98\%$  одночасно можна досягти при швидкості повітряного потоку  $u = 7,2$  м/с.



**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження підтвердили теоретичні дослідження та гіпотези. Отримані нові рівняння регресії ефективності та чіткості процесу сепарації, а також їх графічну інтерпретацію. Експериментально доведено раціональність використання конічного розкидача без лопаток. Встановлено, що оптимальні режимні параметри аспіраційної камери, за яких збільшується ефективність сепарації (76-78%) та чіткість сепарації (98,0-98,8%), знаходиться в межах:

- швидкість повітряного потоку  $u = 7,2 - 7,4$  м/с;
- подача зерна  $q = 6-7$  т/год;
- частоті обертання розкидача  $n = 100 - 130$  об/хв.

### Література

1. Степаненко С.П., Прилуцький А.Н., Коваль Ю.Г. До обґрунтування шляхів підвищення інтенсифікації процесу пневмосепарації і конструкційної схеми пневмосепаруючої частини вібровідцентрового сепаратора зерна // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник – ННЦ «ІМЕСГ» НААН України. – Глеваха, 2010. – Вип.94. – С. 216-220.

2. Патент на корисну модель № 55866 Україна (UA), МПК (2011) B07B1/28. Сепаратор зерна / Степаненко С.П., Прилуцький А.Н., Швидя В.О.; заявник і патентоутримувач ННЦ «ІМЕСГ» НААН (Україна) — № U2010 07976, Заявл. 25.06.2010. Опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24, – 4 с.: іл.

3. Швидя В.О. Теоретичне дослідження аеродинамічного процесу сепарації зерна / В.О. Швидя // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь: ТДАТУ, 2010. — Вип. 10, Т. 5. — С. 56 – 63.

4. Котов Б.І. Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету – Вип. 23. — Кіровоград: КНТУ, 2010. — С. 250 – 257.

5. Гончаров Є.С. Резерви удосконалення пневматичної сепарації зернових матеріалів / Є.С. Гончаров // Механізація и електрифікація сільського господарства, 1971 г., № 18. — С. 30 – 37.

6. Гончаров Е.С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных вибрационных зерновых сепараторов / Автореф. дис. ... докт. техн. наук, – М.: 1986. – 33 с.

7. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М., Колос. 1973. – 295 с.

8. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. – Ленинград: Колос, 1980. – 168 с.

9. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. «Металлургия», М.: 1969. – 256 с.