

УДК 631.362.3

© О.В. Нестеренко, С.М. Лещенко, к.т.н., Д.І. Петренко, к.т.н.  
Кіровоградський національний технічний університет

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПНЕВМОСЕПАРАЦІЇ ПРИ БАГАТОРІВНЕВОМУ ВВЕДЕННІ ЗЕРНА**

*В статті наведені результати експериментальних досліджень якісних показників пневмосепарації в вертикальному пневмосепаруючому каналі (ПСК) з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу. Отримані статистичні математичні моделі залежності повноти розділення та кількості повноцінного зерна в відходах від конструктивних параметрів та режимів роботи живильного пристрою пневмосепаратора.*

#### **ПНЕВМОСЕПАРАЦІЯ, ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ, РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ, ПНЕВМОСЕПАРУЮЧИЙ КАНАЛ.**

**Постановка проблеми.** З метою підвищення ефективності зберігання та подальшої переробки зерна при дотриманні відповідних вимог по якості є необхідним забезпечення його своєчасного попереднього очищення, що вимагає використання високопродуктивних зерноочисних машин (ЗОМ).

Попередній аналіз [1] дозволив констатувати, що коефіцієнт корисної дії існуючих ЗОМ в виробничих умовах досить низький, а це призводить до зменшення технологічної продуктивності (порівняно з паспортною) при забезпеченні якісних показників, що відповідають агротехнічним вимогам.

Однією з головних причин цього є невідповідність питомих продуктивностей повітряної та решітної систем ЗОМ, що в свою чергу, погіршує їх якісні показники та впливає на загальну технологічну ефективність.

Тому актуальною задачею є підвищення питомої продуктивності повітряної сепарації шляхом створення умов для

ефективної взаємодії повітряного потоку з зерновим матеріалом в робочій зоні пневмосепаруючого каналу (ПСК).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з головних стримуючих факторів підвищення питомої продуктивності пневмосепарації є негативний перерозподіл швидкостей повітряного потоку в робочій зоні ПСК, що значно зменшує повноту розділення зернової суміші та збільшує виніс повноцінного зерна у відходи [2].

Аналіз досліджень свідчить [3,4,5], що для уникнення цього негативного явища необхідно створити такі умови, які б дозволили зменшити опір зерновому матеріалу при його введенні в ПСК та покращити умови взаємодії з повітряним потоком. Використання відповідних технічних засобів дозволяє суттєво підвищити величину питомого навантаження та зменшити опір повітряному потоку в зоні введення матеріалу, але їх використання призводить до підвищення енергоємності процесу за рахунок використання додаткових повітряних каналів [3], або до обмеження продуктивності ПСК [4,5].

Для вирішення цієї проблеми нами було запропоновано нову конструкцію пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна в ПСК [6]. Дана конструкція пневмосепаратора забезпечує розділення зернового матеріалу на декілька обмежених за продуктивністю потоків, які поступають в різні робочі зони по висоті ПСК та дозволяє рівномірно їх заповнити. При цьому, виведення очищеного зерна відбувається через жалюзійну стінку, яка встановлена напроти місця введення, що сприяє зниженню опору повітряному потоку і в зоні виведення зернового матеріалу та вирівнюванню епюри швидкостей.

**Метою досліджень** є отримання закономірностей впливу основних параметрів ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна на якісні показники процесу сепарації.

**Результати досліджень.** Для дослідження впливу визначених факторів на цільові функції та знаходження їх раціональних значень було виготовлено експериментальну установку, яка дозволяє змінювати її основні параметри і режими роботи в необхідних межах (рис. 1). Для забезпечення можливості спостереження за процесом бокова стінка установки виготовлена прозорою.

Експериментальна установка складається з бункеру 1 з дозуючою заслінкою 2, живильного пристрою 3, ПСК 4, осадової камери 5 та вентилятора 6.

Живильний пристрій 3 складається з направляючих поверхонь 9, встановлених одна над одною, верхні кінці яких з'єднано з

розподільчою пластиною 8, в якій виконано отвори прямокутної форми, а їх нижні кінці з'єднані з передньою стінкою ПСК 4.

Технологічний процес роботи пневмосепаратора наступний. Вихідний матеріал з бункера 1 поступає на розподільчу пластину 8 живильного пристрою 3, в якій зерновий матеріал просипається крізь отвори та потрапляє на направляючі поверхні 9 і тонкими шарами вводиться в робочу зону ПСК 4. Продуктивність пневмосепаратора регулюється заслінкою 2.

Під дією повітряного потоку зерновий матеріал розділяється на дві фракції: легкі домішки виносяться в осадову камеру 5 і видаляються через приймальник 10, а очищене зерно через жалюзійну стінку 11 потрапляє в герметичний вивідний канал 12 і також виводиться з пневмосепаратора.

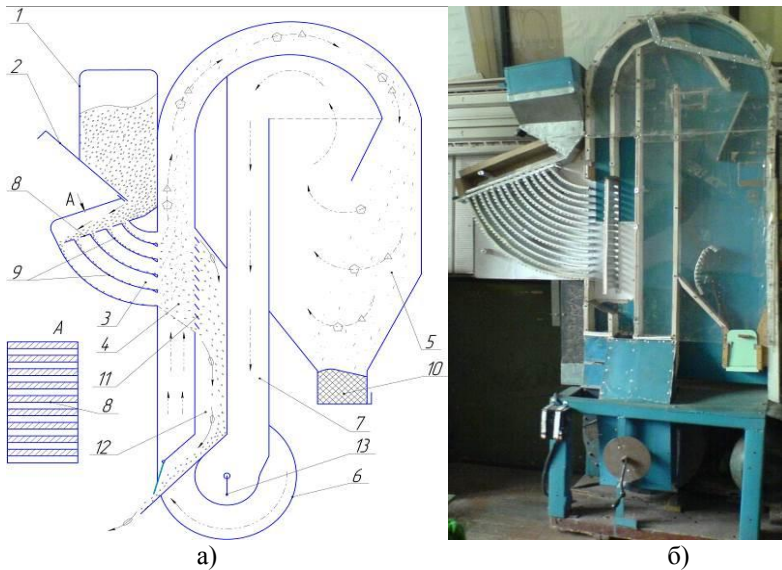


Рис. 1 – Схема (а) та загальний вигляд (б) експериментальної установки: 1 – бункер; 2 – дозуюча заслінка; 3 – багаторівневий живильний пристрій; 4 – ПСК; 5 – осадова камера; 6 – вентилятор; 7 – повітряний канал; 8 – розподільча пластина; 9 – направляючі поверхні; 10 – приймальник легких домішок; 11 – жалюзійна стінка; 12 – герметичний вивідний канал; 13 – регулювальна заслінка

Установка має замкнений цикл циркуляції повітряного потоку, який з осадової камери 5 через повітряний канал 7 всмоктується вентилятором 6 та повторно нагнітається в ПСК. Швидкість повітряного потоку регулюється конусоподібною заслінкою 13.

На основі попередніх експериментальних досліджень [7], в яких було визначено вплив основних факторів на рівномірність поля швидкостей повітряного потоку та встановлено область їх раціональних значень, отримано рівні та інтервал варіювання для даної серії дослідів, які представлено в таблиці. Критеріями оптимізації прийнято повноту розділення  $\varepsilon(Y_1)$ , % та кількість повноцінного зерна в відходах  $z(Y_2)$ , %, які й характеризують якість очищення зернового матеріалу.

Таблиця – Рівні та інтервал варіювання факторів

№ з.п.	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Ниж-ній (-)	Основ-ний	Верх-ній (+)	
1	Навантаження, $q_{bi}$ , кг·дм/год	$x_2$	200	250	300	50
2	Глибина каналу $C$ , мм	$x_1$	90	100	110	10
3	Кількість рівнів $m$	$x_3$	3	5	7	2
4	Швидкість повітряного потоку, $U_{сер}$ , м/с	$x_4$	6,5	7,5	8,5	1

Для визначення основних конструктивних та технологічних параметрів ПСК та отримання їх раціональних значень була застосована методика математичного планування експерименту.

Процедуру планування експериментальних досліджень, визначення значимості факторів та обчислення виконували за допомогою пакету прикладних програм «STATISTICA 10» [8].

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використовували відображення стандартизованої Парето-карти (рис.2).

Після проведення серії дослідів та побудови поверхонь відгуків, були отримані рівняння регресії залежностей для повноти розділення,  $\varepsilon(Y_1)$ :

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 79,17 - 2,488x_1 - 1,922x_2 - 2,859x_3 + 3,847x_4 - 1,490x_1^2 + 1,920x_2^2 - \\
 & - 0,287x_3^2 - 3,279x_4^2 - 0,118x_1x_2 + 0,006x_1x_3 - 0,156x_1x_4 - 0,055x_2x_3 - \\
 & - 0,393x_2x_4 - 0,168x_3x_4 ;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

та для кількості повноцінного зерна в відходах,  $z$  ( $Y_2$ ):

$$Y_2 = 1,09 + 0,246x_1 + 0,212x_2 + 0,466x_3 + 0,472x_4 + 0,408x_1^2 + 0,248x_2^2 + 0,122x_3^2 + 0,858x_4^2 - 0,016x_1x_2 - 0,006x_1x_3 - 0,038x_1x_4 - 0,07x_2x_3 - 0,005x_2x_4 + 0,005x_3x_4. \quad (2)$$

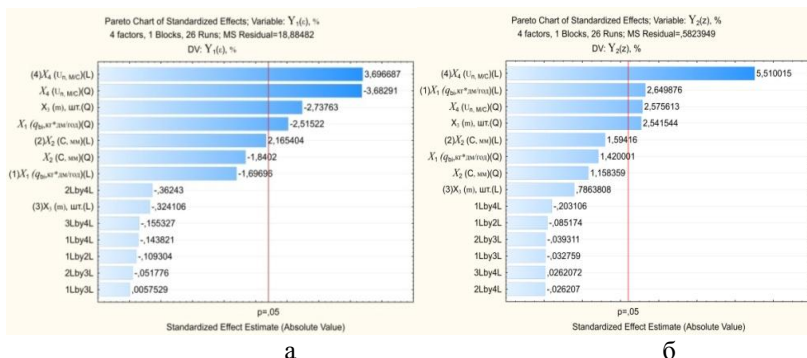
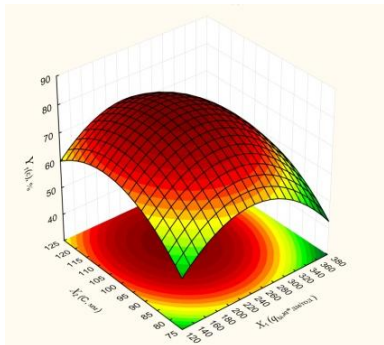


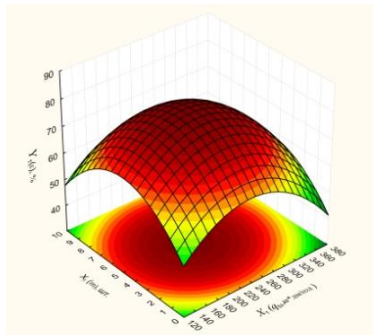
Рис. 2 – Парето-карта для визначення межі статистичного значення коефіцієнту математичного чекання: а – для повноти розділення зернового матеріалу  $Y_1(\epsilon)$ ; б – для кількості повноцінного зерна в відходах  $Y_2(z)$

Аналіз взаємного впливу факторів на величину повноти розділення  $Y_1(\epsilon)$  (рис.3) та кількість повноцінного зерна в відходах  $Y_2(z)$  (рис.4), дозволив зробити наступні висновки. При встановленні кількості рівнів менше чотирьох спостерігається неефективне розшарування зернового матеріалу, що призводить до збільшення товщини шарів, і відповідно, погіршення обробки їх повітряним потоком. При збільшенні кількості рівнів більше шести зростає вірогідність потрапляння легких часток з нижніх рівнів в фракцію очищеного зерна вище розташованих рівнів, що підвищує вірогідність їх засмічення, зменшуючи при цьому величину повноти розділення  $\epsilon$  та підвищуючи втрати повноцінного зерна у відходи  $z$ .

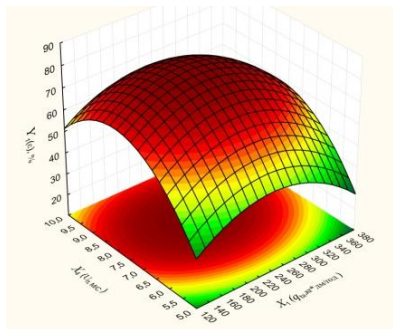
В той же час, кількість рівнів і питома подача є взаємозалежними факторами. При цьому, для досягнення повноти розділення зернового матеріалу  $\epsilon = 70...75\%$  та мінімізації втрат зерна  $z \leq 2\%$ , область раціональних значень зазначених параметрів повинна знаходитись в межах: кількість задіяних рівнів живильного пристрою 4...6 шт. при питомому навантаженні  $q_{bi} - 220...260$  кг·дм/год.



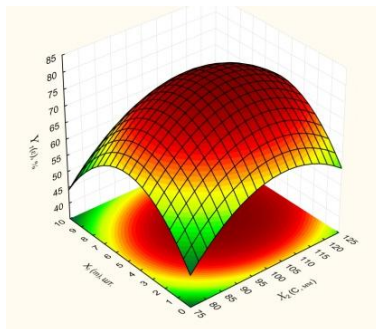
а



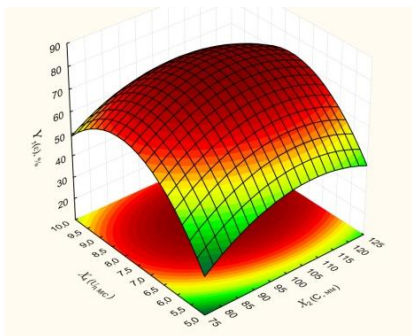
б



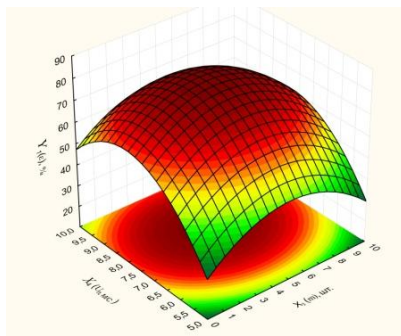
в



г



д



е

Рис. 3 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для повноти розділення  $Y_1(\epsilon)$ : а  $-Y_1 = (x_2 \cdot x_1)$ ; б  $-Y_1 = (x_3 \cdot x_1)$ ; в  $-Y_1 = (x_4 \cdot x_1)$ ; г  $-Y_1 = (x_3 \cdot x_2)$ ; д  $-Y_1 = (x_4 \cdot x_2)$ ; е  $-Y_1 = (x_4 \cdot x_3)$

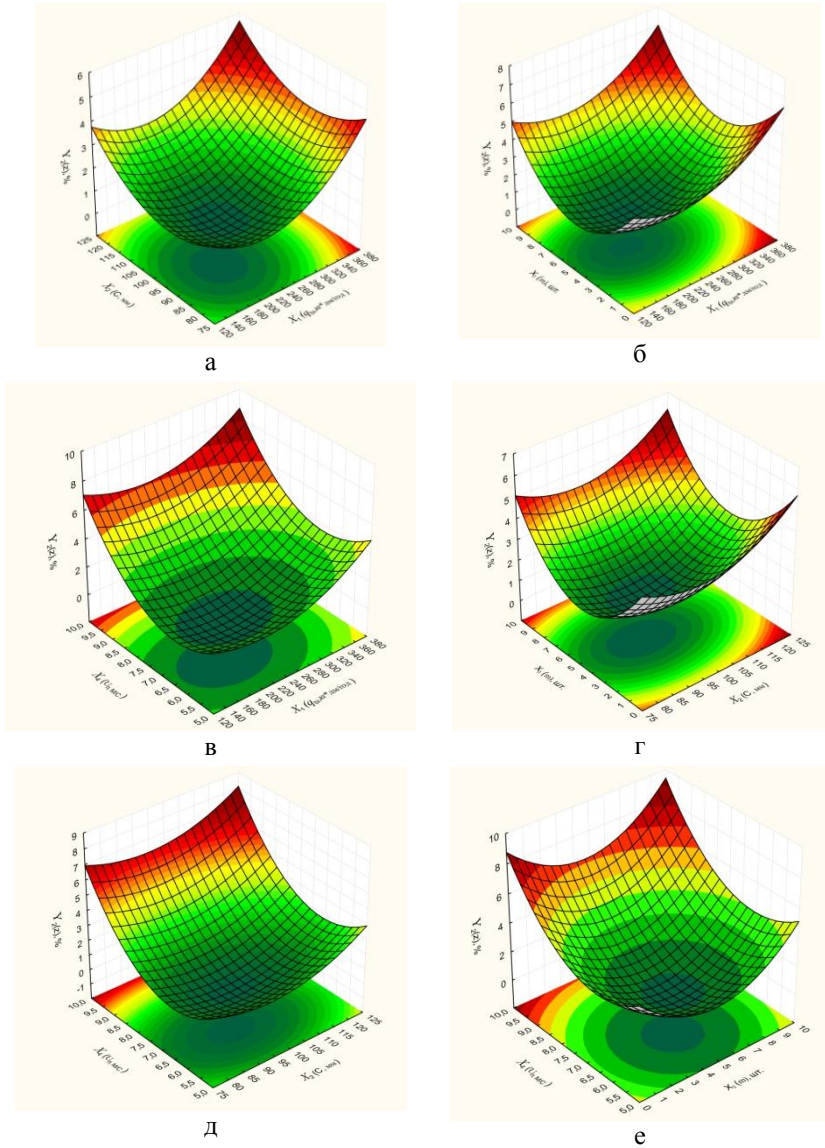


Рис. 4 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для кількості повноцінного зерна в відходах: а  $-Y_2 = (x_2 \cdot x_1)$ ; б  $-Y_2 = (x_3 \cdot x_1)$ ; в  $-Y_2 = (x_4 \cdot x_1)$ ; г  $-Y_2 = (x_3 \cdot x_2)$ ; д  $-Y_2 = (x_4 \cdot x_2)$ ; е  $-Y_2 = (x_4 \cdot x_3)$

Аналізуючи вплив глибини каналу  $C$  на ефективність процесу сепарації зернового матеріалу зазначимо, що збільшення часу перебування частки в полі дії повітряного потоку покращує повноту розділення, але при цьому збільшує вірогідність виносу повноцінного зерна у відходи. До того ж, при  $C > 110$  мм відбувається перерозподіл поля швидкостей повітряного потоку, що й призводить до зменшення ефекту очистки. Тому, межа раціональних значень глибини каналу  $C$ , при якій забезпечується рівномірне поле швидкостей повітряного потоку, лежить в межах 100...110 мм.

Підвищення середньої швидкості повітряного потоку  $U_{сеп}$  в ПСК сприяє покращенню повноти розділення зернової суміші, але в той же час призводить до збільшення кількості повноцінного зерна у відходах. Однак, при застосуванні багаторівневого введення зернового матеріалу в ПСК, за рахунок вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку, досягається наближення середньої швидкості повітряного потоку до швидкості витання повноцінного зерна. Таким чином область раціональних значень цього показника в межах 7...8 м/с забезпечує мінімальні втрати зерна при підвищенні повноти розділення.

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що використання багаторівневого введення дозволяє вирівняти поля швидкостей повітряного потоку в робочій зоні ПСК, за рахунок чого наблизити середню швидкість повітряного потоку до швидкості витання повноцінного зерна. Це дозволяє збільшити повноту розділення без значної втрати повноцінного зерна у відходи.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволив встановити область раціональних значень параметрів і режимів роботи ПСК, при яких отримані максимальні значення показників якості:

- питоме зернове навантаження  $q_{bi} = 220...260$  кг/дм·год;
- глибина каналу  $C = 100...110$  мм;
- кількість рівнів  $m = 4...6$  шт.;
- швидкість повітряного потоку в ПСК  $U_{сеп} = 7...8$  м/с.

#### Література

1. Бурков А.И. Повышение эффективности функционирования пневмосистем зерно и семяочистительных машин совершенствованием их технологического процесса и основных рабочих органов: автореф. дисс. на соискание науч. степени доктора техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / А.И. Бурков. – Санкт-Петербург–Пушкин, 1993. – 38 с.



2. Нестеренко О.В., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Петренко Д.І., Богатирьов Д.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна. О.В. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. (Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 25. ч.1– Кіровоград: КНТУ, 2012. – С.49-53.

3. Корнеев С.В. Интенсификация рабочего процесса зерноочистительной машины предварительной очистки путём фракционирования зернового материала: автореф. дис. на присв. науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / С.В. Корнеев. – Киров, 2002. – 18 с.

4. Лещенко С.М. Результати експериментальних досліджень багатоструменевого способу введення матеріалу в повітряно-інерційних зерноочисних машинах замкнутого типу / С.М. Лещенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2008. – Вип. 38. – С. 199 – 205.

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. Пат. (11) 9586 А Україна, МКИ В 02 В 1/00. Спосіб введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал повітряного сепаратора./ Васильковський М.І., Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В.; заявник і патентотримач Кіровоградський державний технічний університет. – № а200500209; заявл. 10.01.05; опубл. 17.10.2005.- Бюл. №10.

7. Нестеренко О.В. Дослідження нерівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні зерна /О.В.Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156 – С. 35–42.

8. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA / В.П. Боровиков. – М.: Горячая линия - Телеком, 2013. – 288 с.

*Рецензент д.т.н., проф. В.М. Сало*