

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ В ПНЕВМОСЕПАРУЮЧОМУ КАНАЛІ ПРИ БАГАТОРІВНЕВОМУ ВВЕДЕНІ ЗЕРНА

О.В. Нестеренко, асистент, С.М. Лещенко, к.т.н., доцент,  
Д.І. Петренко, к.т.н., доцент

*Кіровоградський національний технічний університет*

*В статті наведені результати експериментальних досліджень поля швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепаруючому каналі (ПСК) з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу. Одержані статистичні математичні моделі закономірностей розподілу поля швидкостей повітряного потоку в залежності від конструктивних параметрів та режимів роботи живильного пристрою пневмосепаратора.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Однією із основних операцій при підготовці зерна до зберігання та подальшої переробки є його якісне очищення від легких домішок та пилу, що зменшує ризик самозігрівання, дозволяє зберегти продовольчу та товарну цінність.

Нажаль, незважаючи на підвищення ефективності зерноочисних машин (ЗОМ), на сьогоднішній день залишаються невирішеними питання узгодженості продуктивностей решітних та повітряних систем. Питома продуктивність решітних машин п'ятого покоління на порядок вища ніж можуть забезпечити існуючі повітряні машини [1]. Це призводить до зменшення загальної технологічної ефективності роботи зерноочисних комплексів.

Саме тому актуальною задачею є пошук нових підходів до створення умов для більш якісної взаємодії повітряного потоку з зерновим матеріалом в пневмосистемах ЗОМ з метою підвищення їх питомої продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з головних причин погіршення ефективності повітряної сепарації при підвищенні питомого навантаження є негативний перерозподіл швидкостей повітряного потоку в робочій зоні пневмосепаруючого каналу (ПСК), що значно зменшує повноту розділення зернової суміші та збільшує виніс повноцінного зерна у відходи [2].

Аналіз досліджень [3, 4] показує, що для зменшення впливу цього негативного явища необхідно використання відповідних технічних засобів, що значно зменшують взаємодію компонентів та, відповідно, покращують структуру та ефективність дії повітряного потоку. Але використання таких засобів призводить, в одних випадках, до підвищення енергоємності процесу за рахунок використання додаткових повітряних каналів [3, 4], в інших до обмеження продуктивності ПСК [5, 6].

Для усунення вищевказаного недоліку необхідно розвантажувати ті зони

ПСК, де опір повітряному потоку максимальний, а саме, зони введення та виведення зерна. Досягти цього можливо за рахунок забезпечення рівномірної подачі та розподілення зернового матеріалу в робочій зоні ПСК.

Для цього нами було запропоновано нову конструкцію пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна в ПСК [7]. 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, що сприяє зниженню опору повітряному потоку і в зоні виведення зернового матеріалу та вирівнюванню епюри швидкостей.

Проведені попередні дослідження пневмосепаратора на імітаційній моделі підтверджують, що використання запропонованої конструкції живильного пристрою з багаторівневим введенням зернового матеріалу дозволяє зменшити опір повітряному потоку в 1,8...2 рази, збільшити його рівномірність в зоні сепарації [8].

Для встановлення раціональних параметрів роботи ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу необхідно провести комплексну оцінку факторів, які є визначальними для забезпечення якісного процесу пневмосепарації.

Метою досліджень є отримання закономірностей впливу основних параметрів ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна на рівномірність поля швидкостей повітряного потоку.

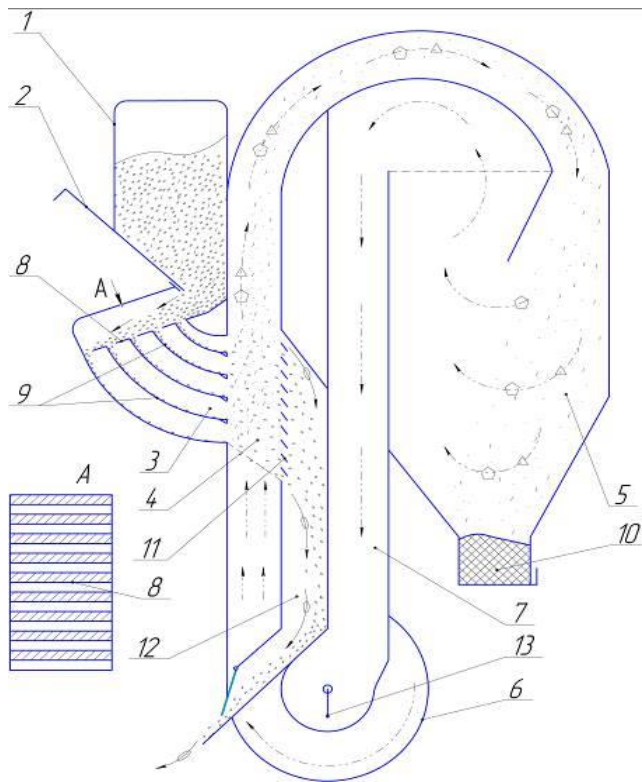
Виклад основного матеріалу досліджень. Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження їх раціональних значень було виготовлено експериментальну установку, яка дозволяє змінювати її основні параметри і режими роботи в необхідних межах (рис. 1). Бокова стінка установки виготовлена прозорою, що забезпечує можливість спостереження за процесом.

Експериментальна установка складається з бункера 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, які встановлені одна над одною, 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.



а)

б)

а) – схема експериментальної установки; б) – загальний вигляд;

Рис. 1 – Експериментальна установка

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.

Попередні пошукові експериментальні і теоретичні дослідження дозволили визначити вплив окремих факторів та визначити їх рівні. До основних факторів, що мають значний вплив на процес пневмосепарації, віднесли наступні: питоме зернове навантаження  $i$ -того рівня на одиницю ширини каналу  $q_{bi}$ , початкова швидкість введення зернового матеріалу в ПСК  $V_0$ , глибина каналу  $C$  та відстань між рівнями  $h_{m,p}$ . Параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів, наведені в таблиці 1.

За критерій оптимізації було обрано коефіцієнт варіації  $\delta$ , який характеризує нерівномірність швидкостей повітряного потоку в робочій зоні ПСК.

Аеродинамічну характеристику в робочій зоні ПСК визначали по всьому периметру в перерізах I-I, який розташований між задіяними рівнями, та II-II, що розміщений на відстані 30 мм над верхнім рівнем (рис. 2).

Таблиця 1. Рівні варіювання факторів експериментальних досліджень

№ п.п.	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Питоме зернове навантаження $i$ -того рівня живильника $q_{bi}$ , кг/дм·год.	$x_1$	500	300	100
2	Швидкість введення зернового матеріалу в ПСК $V_0$ м/с	$x_2$	0,7	0,3	0,2
3	Глибина каналу $C$ , мм	$x_3$	120	80	20
4	Відстань між рівнями $h_{м,р}$ , мм	$x_4$	45	25	10

Для оцінки аеродинамічної характеристики ПСК був виготовлений батарейний мікроманометр, який дозволяє вимірювати швидкості повітряного потоку одночасно в п'яти точках поперечного перерізу каналу.

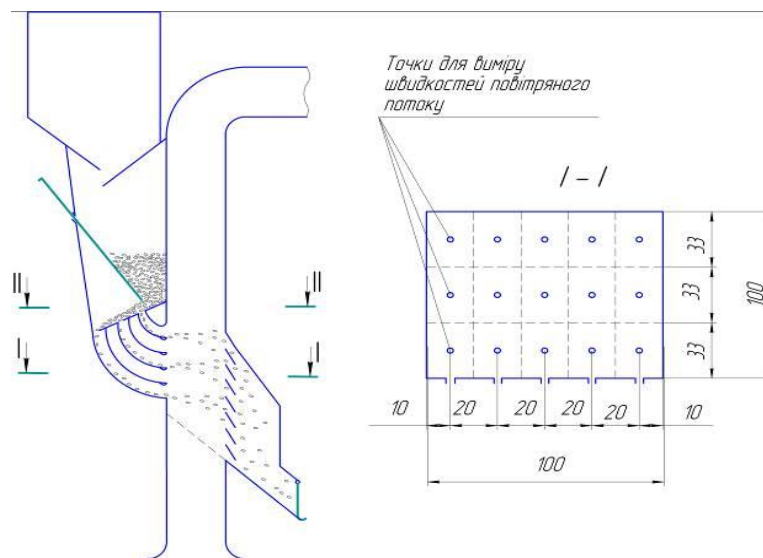


Рис. 2 – Схема для визначення аеродинамічної характеристики ПСК

Відносну нерівномірність поля швидкостей повітряного потоку в ПСК оцінювали коефіцієнтом варіації

$$\delta = \frac{\sigma_c}{\bar{v}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $\sigma_c$  – середньоквадратичне відхилення величини швидкості повітряного потоку (м/с), яка визначається за формулою:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$v_i$  – місцева швидкість в точці заміру, м/с;

$\bar{v}$  – середньоарифметична швидкість повітря в каналі, м/с;

$n$  – кількість точок заміру швидкості.

Отримання мінімального значення коефіцієнта варіації буде характеризувати максимально вирівняну епюру швидкостей повітряного потоку. Досягти цього можливо при раціональних співвідношеннях конструктивних параметрів розробленого ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення, чого неможливо зробити при окремому вивченні їх впливу.

Для дослідження взаємозв'язку між конструктивними та технологічними параметрами ПСК і отримання їх раціональних значень була застосована методика математичного планування експерименту, задачею якої є одержання статистичної математичної моделі об'єкту досліджень у вигляді рівняння регресії.

Можливість відтворюваності даних експериментальних досліджень визначали за допомогою критерію Кохрена ( $G$ ), а перевірку адекватності проводили за допомогою критерію Фішера ( $F$ ).

Процедуру планування експериментальних досліджень, визначення значимості факторів та обчислення виконували за допомогою пакету прикладних програм «STATISTICA 10» [9].

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використовували стандартизовану Парето-карту (рис. 3).

На карті Парето можна оцінити вплив факторів та їх взаємозв'язок, а також виділити ті фактори, які мають статистично-значимі ефекти. На рівень значимості факторів вказує перетин вертикальною лінією, яка являє 95% тест для визначення значимості, та порядок їх впливу на критерій оптимізації.

Після проведення серії дослідів та побудови поверхонь відгуків, було отримане рівняння регресії залежності коефіцієнта варіації від досліджуваних факторів в кодованих значеннях:

$$Y = 20,4 + 3,568x_1 - 3,756x_2 + 2,07x_3 - 1,221x_4 + 1,059x_1^2 + 2,256x_2^2 + 1,648x_3^2 + 1,982x_4^2 + 0,612x_1x_2 + 1,401x_1x_3 + 0,073x_1x_4 - 1,69x_2x_3 + 0,007x_2x_4 - 0,078x_3x_4 \quad (3)$$

Аналіз взаємного впливу факторів на коефіцієнт варіації  $\delta$  (рис.4) показав наступне. Збільшення питомої подачі в ПСК по рівнях погіршує рівномірність повітряного потоку, що пояснюється збільшенням аеродинамічному опору зернового матеріалу.

Раціональна відстань між рівнями живильного пристрою ( $h_{м.р.}$ ) знаходиться в межах 35...40 мм, що пояснюється необхідністю розшарування зернового потоку на певній відстані по рівнях з врахуванням питомої подачі. При таких значеннях допускається навіть збільшення питомого навантаження до  $q_{bi} = 450...500$  кг/дм·год, при цьому рівномірність поля швидкостей залишається задовільною.

Збільшення швидкості введення зернового матеріалу в ПСК ( $V_0$ ) сприяє зменшенню товщини шару матеріалу, що покращує рівномірність поля швидкостей завдяки зменшенню опору повітряному потоку.

Збільшення глибини каналу ( $C$ ) виявляє негативний вплив на рівномірність швидкісного поля повітряного потоку, що пояснюється зміною

структури зернової решітки матеріалу ближче до задньої стінки ПСК.

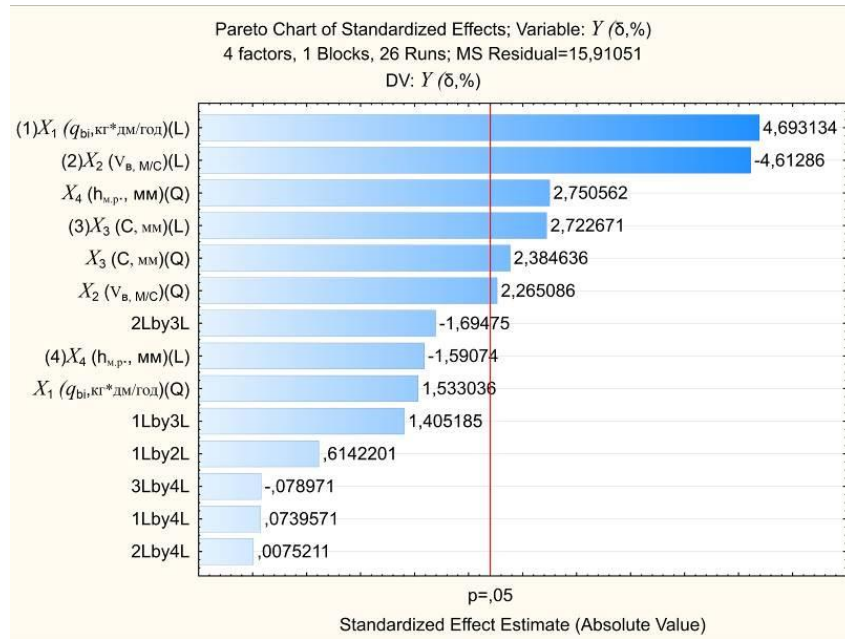


Рис. 3 – Парето-карта для визначення межі статистичного значення коефіцієнту математичного чекання для коефіцієнту варіації швидкостей повітряного потоку в ПСК

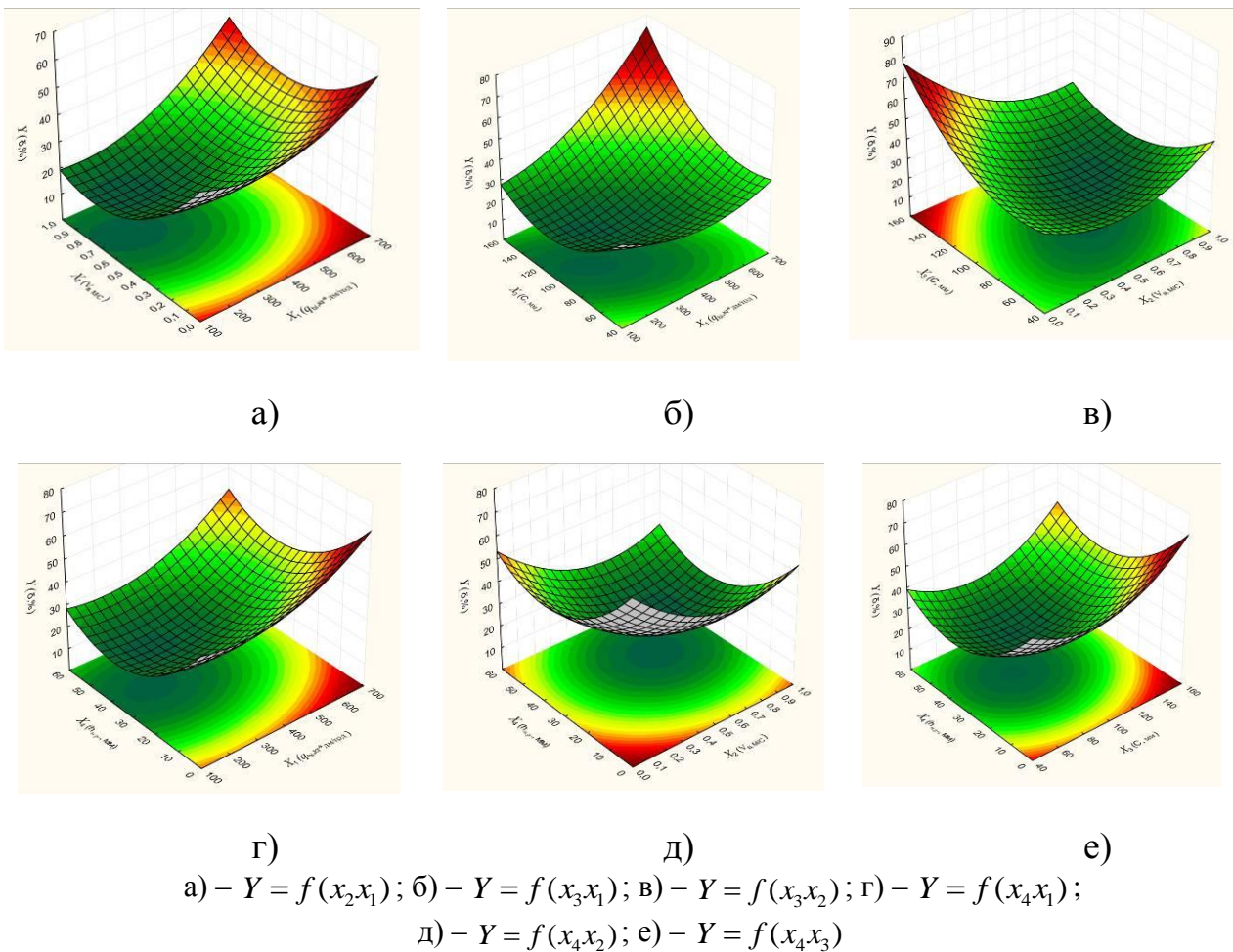


Рис. 4 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для коефіцієнту варіації Y(δ)

В той же час глибина каналу ( $C$ ) та швидкість введення зерна в ПСК ( $V_0$ ) взаємопов'язані величини і результати досліджень показують, що для питомого навантаження  $q_{bi} = 250...300$  кг/дм·год мінімальне значення коефіцієнта варіації  $\delta$  досягається при значеннях глибини каналу  $C = 90...110$  мм.

Висновки. В результаті проведених експериментальних досліджень отримані рівняння регресії та графічні залежності для коефіцієнта варіації  $\delta$ , які підтверджують робочу гіпотезу про вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку в робочій зоні ПСК при застосуванні живильного пристрою для багаторівневого введення зерна.

Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів і режимів роботи ПСК, при яких досягаються найменші показники коефіцієнта варіації:

- питоме зернове навантаження  $q_{bi} = 200...300$  кг/дм·год;
- швидкість введення зернового матеріалу в ПСК  $V_0 = 0,5...0,7$  м/с;
- глибина каналу  $C = 90...110$  мм;
- відстань між рівнями  $h_{м.р.} = 35...40$  мм.

### Список використаних джерел

1. Лещенко С.М. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей / С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, В.В. Гончаров // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. – Луцьк: ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. – С. 230-234.
2. Васильковський М.І. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2006 – Вип.36. – С. 111-114.
3. Туров А.К. Пневмосепаратор зерна с предварительной подготовкой в плоско-паралельном воздушном поле / А.К. Туров // Сибирский вестник с-х науки. – 1984. – №2. – С.86-90.
4. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.
5. Мякин В.Н. Совершенствование пневматических сепараторов семян / В.Н. Мякин, С.Г. Урюпин // «Техника в сельском хозяйстве». – №4. – 2000г.
6. 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.

7. 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.
8. Васильковський М.І. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В.Нестеренко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.
9. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA / В.П. Боровиков. – М.: Горячая линия - Телеком, 2013. – 288 с.

## **Аннотация**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩЕМ КАНАЛЕ ПРИ МНОГОУРОВНЕВОМ ВВЕДЕНИИ ЗЕРНА**

Нестеренко А.В., Лещенко С.Н., Петренко Д.И.

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований поля скоростей воздушного потока в вертикальном пневмосепарирующем канале с питательным устройством для многоуровневого введения зернового материала. Получены статистические математические модели закономерностей распределения поля скоростей воздушного потока в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы питательного устройства пневмосепаратора.*

## **Abstract**

### **STUDY OF AIRFLOW INEQUALITY IN THE ASPIRATING CHANNEL AT MULTILEVEL INTRODUCTION OF GRAINS**

Nesterenko, S. Leschenko, D. Petrenko

*In the article there are the results of airflow speed field experimental studies in a vertical aspirating channel with a feeding device for a multilevel introduction of grain material. We received statistical mathematical models of airflow speed field distribution dependency from design factors and operational conditions of the feeding device of the air separator.*