МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Нестеренко Олександр Вікторович**

УДК 631.362.3

# ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОСЕПАРУЮЧОГО КАНАЛУ З БАГАТОРІВНЕВИМ ВВЕДЕННЯМ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

Спеціальність 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Кропивницький – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент **Лещенко Сергій Миколайович**, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, доцент кафедри сільськогосподарського машинобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Котов Борис Іванович**, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці;

кандидат технічних наук, доцент **Бредихін Вадим Вікторович,** Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, доцент кафедри фізики, теоретичної механіки та деталей машин.

Захист відбудеться « 22 » вересня 2017 р. о $10^{\underline{00}}$ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 23.073.01 у Центральноукраїнському національному технічному університеті за адресою: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Центральноукраїнського національного технічного університету за адресою: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

Автореферат розісланий « 19 » серпня 2017р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради В.М. Каліч

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день Україна є одним з найбільших виробників зерна і входить в трійку світових експортерів зернових культур, що суттєво впливає на економічний стан держави та її продовольчу безпеку. Проте, незважаючи на збільшення обсягів вирощування зернових, забезпечення необхідної якості продовольчого зерна неможливо без впровадження інтенсивних технологій його виробництва.

Проблемним етапом доведення зерна до необхідних кондицій за чистотою є його післязбиральне очищення. Повітряним потоком виділяють легкі домішки практично на всіх етапах очищення зерна, а тому від ефективності пневмосепарації залежить якість готового продукту. Незважаючи на універсальність пневмосепарації, якісні показники її роботи у виробничих умовах залишаються низькими, а сепаратори, які використовуються для вказаних цілей в більшості господарствах є застарілими та енергоємними.

Аналіз роботи існуючих пневмосистем показав, що вагомим фактором, який впливає на якість пневмосепарації, є нерівномірність епюри поля швидкостей повітряного потоку, що виникає внаслідок збільшення аеродинамічного опору в зонах введення та виведення зерна. Вирішення означеної проблеми можливо шляхом застосування живильних пристроїв, які дозволять зменшити опір повітряного потоку шляхом рівномірної подачі зернового матеріалу в робочу зону пневмосепарації.

Отже, дослідження, спрямовані на підвищення якості роботи пневмосепаруючих каналів (ПСК) зерноочисних машин (ЗОМ) шляхом застосування нових живильних пристроїв, що дозволяють покращити рівномірність розподілу зернового матеріалу в зоні сепарації, є актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконана відповідно до «Державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі на період до 2015 року» (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. №863).

Тема роботи пов'язана з тематичним планом НДКР Центральноукраїнського національного технічного університету №24.Д108 «Підвищення ефективності роботи пневмосистем зерноочисних машин» (Державний реєстраційний номер 0108U010432) на 2010-2017 рр., з «Концепцією Державної цільової економічної програми впровадження в агропромисловому комплексі новітніх технологій виробництва сільськогосподарської продукції на період до 2016 року», а також відповідно до «Державної цільової програми розвитку українського села на період до 2015 року», затвердженої Кабінетом Міністрів України (Постанова №875 від 4.12.2013 р.).

Дослідження виконувалися згідно держбюджетної тематики з Міністерством освіти і науки України і комплексом робіт, які проводились в ЦНТУ за держбюджетною темою «Науково-технологічні основи та технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання» на 2012-2014 рр. (Державний реєстраційний номер 0112U001105).

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення якості пневмосепарації шляхом обґрунтування параметрів ПСК з багаторівневим введенням зернового матеріалу.

Для досягнення вказаної мети поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати принципову схему робочого органа з багаторівневим введенням, яка забезпечить рівномірний розподіл зернового матеріалу та підвищить рівномірність епюри поля швидкостей повітряного потоку в робочій зоні ПСК;
- дослідити взаємодію компонентів зернового матеріалу з повітряним потоком за умов однорівневого та багаторівневого введення;
- встановити закономірності впливу основних конструктивно-технологічних параметрів ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу на якісні показники процесу сепарації;
- визначити раціональні значення основних параметрів і режимів роботи запропонованої конструкції пневмосепаратора;
- встановити закономірності впливу фізико-механічних властивостей зернового матеріалу та величини питомого навантаження ПСК на основні технологічні показники його роботи;
- розробити методику інженерного розрахунку запропонованого ПСК та провести техніко-економічну оцінку ефективності його використання.

***Об'єкт дослідження*** – процес повітряної сепарації у вертикальному ПСК з багаторівневим введенням зернового матеріалу.

***Предмет дослідження*** – вплив конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи ПСК з багаторівневим введення зернового матеріалу на якість пневмосепарації.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень теоретичної механіки, диференціального та інтегрального числення, елементів теорії ймовірності, математичного аналізу і моделювання. Експериментальні дослідження виконувалися у лабораторних умовах з використанням математичного планування багатофакторних експериментів на розробленій експериментальній установці за стандартними та оригінальними методиками з використанням виготовлених моделей та натурних зразків робочих органів і приладів. Обробка результатів експериментальних досліджень проводилися з застосуванням математичної статистики за допомогою пакетів прикладних програм «MathCAD 15», «Microsoft Office 2010», «STATISTICA 10».

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше обґрунтовано можливість підвищення якості роботи вертикальних ПСК шляхом забезпечення багаторівневого введення зернового матеріалу та виведення очищеного зерна;
- дістав подальшого розвитку математичний аналіз процесу пневмосепарації, що враховує контактну взаємодію домішок з зерном при

багаторівневому введенні зернового матеріалу та дозволяє оцінити її вплив на якість очищення;

- розроблена математична модель, яка дозволяє аналітично визначити і кількісно оцінити вплив переміщення домішок на переміщення зерна та встановити залежність повноти розділення домішок від питомого навантаження ПСК;
- вперше отримані експериментальним шляхом закономірності впливу основних конструктивних параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу на якісні показники його роботи.

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами досліджень розроблені та виготовлені дослідні зразки живильних пристроїв, які встановлені на серійні зерноочисні машини: А1-БМС-6, ЗСМ-20 та «PETKUS K 531 GIGANT». Ці машини пройшли виробничі випробування та працюють в ТОВ «Тіньки» Чигиринського району Черкаської області, ФГ «ЛІК», с. Нова Прага Олександрійського району Кіровоградської області та ДП «ДГ «Ставидлянське» Кіровоградської державної дослідної станції Національної академії аграрних наук України.

За результатами випробувань визначено, що застосування живильного пристрою для багаторівневого введення зерна в дослідних сепараторах дозволяє підвищити якість очищення зерна в ПСК на 14…22%.

Новизна запропонованих технічних рішень підтверджена трьома патентами на корисні моделі. Запропонована розробка може бути використана як для створення нових, так і для ефективного вдосконалення існуючих пневмосистем ЗОМ з вертикальними ПСК.

Експериментальна установка «Пневмосепаратор з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу» використовується в навчальному процесі на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ під час виконання студентами практичних і лабораторних робіт.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувачем одержані самостійно. В роботах, написаних у співавторстві, авторові належить наступне: аналіз перспективних напрямків вдосконалення повітряних сепараторів [2]; обґрунтування раціональних умов введення зернового матеріалу в ПСК для досягнення максимального технологічного ефекту [1, 3]; аналітичне визначення закономірності процесу розділення зернового матеріалу в ПСК, що пов'язує його основні параметри з технологічними показниками роботи [6, 7, 8]; експериментальні дослідження, обробка результатів за допомогою ПК [4, 5].

**Апробація результатів дисертації**. Основні положення і результати роботи були заслухані й обговорені на IX-X Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Кіровоградський національний технічний університет, 2013, 2015 рр.), на XIII, XX Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві» (ННЦ «ІМЕСГ»), на V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК» (Луцький національний технічний університет,

2015 р.), на IV Міжнарожній науково-практичній конференції «Крамаровські читання» (Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2017 р.), на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу Кіровоградського національного технічного університету (2004-2017 рр.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному науковому семінарі кафедри сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету МОН України.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях України, 1 статті в закордонному виданні та в 4 тезах наукових доповідей. Отримано 3 патенти України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків та списку використаних джерел. Роботу викладено на 201 сторінці, з них 146 сторінок основного тексту, на яких розміщені 60 рисунків, 8 таблиць та 9 додатків. Список використаних джерел складається із 125 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, викладено її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі досліджень, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

**У першому розділі** «Сучасний стан наукових досліджень пневмосепарації зерна» проведено огляд основних результатів досліджень аеродинамічного розділення зернових матеріалів вітчизняних та іноземних авторів, проаналізовано конструкції технічних засобів ЗОМ та їх живильних пристроїв, запропоновані напрямки інтенсифікації процесу пневмосепарації.

Дослідженням питання пневмосепарації зерна присвячені роботи І.П. Безручкіна, А.Г. Демського, А.Я. Маліса, А.Р. Демідова, А.І. Нелюбова, Є.Ф. Вєтрова, А.С. Матвєєва, М.П. Сичугова, А.І. Буркова, С.С. Ямпілова, З.Л. Тіца, П.М. Заїки, М.М. Петренка, В.П. Єрмака, М. І. Васильковського, Б.І. Котова, М.В. Бакума, В.В. Бредихіна, О.М. Васильковського, С.П. Степаненка, Д.І. Петренка, М.М. Крекота та інш. Дослідженням введення зернового матеріалу в ПСК займались В.Ф. Веденьєв, В.Е. Саітов, С.В. Корнєєв, А.К.Туров, І.Ш. Тавтілов, С.М. Лещенко, В.О. Швидя, та інші.

Проаналізувавши результати досліджень зазначених авторів, було встановлено ступінь впливу основних технологічних, конструктивних та аеродинамічних факторів на ефективність пневмосепарації. Встановлено, що основною причиною низької якості пневмосепарації з підвищенням питомого навантаження є зменшення рівномірності поля швидкостей повітряного потоку через збільшення аеродинамічного опору в місцях введення і виведення зерна внаслідок нерівномірного розподілу матеріалу в робочій зоні ПСК. Існуючі технічні засоби, запропоновані для усунення вказаного недоліку, не повністю

вирішують означену проблему, обмежуючи продуктивність ПСК або підвищуючи їх енергоємність.

В процесі вирішення задачі покращення рівномірності заповнення робочої зони ПСК нами висунуто гіпотезу щодо можливості підвищення якості пневмосепарації за рахунок зменшення опору повітряному потоку в зонах введення та виведення зернового матеріалу шляхом застосування ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення.

Функціональна схема пневмосепаратора з запропонованим живильним пристроєм для багаторівневого введення матеріалу в ПСК представлена на рис. 1.

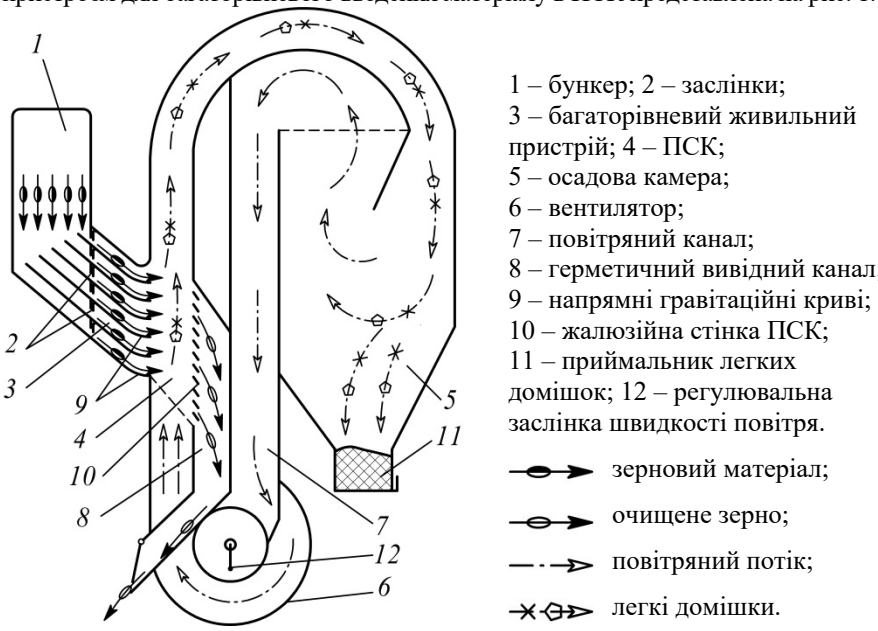



Рис. 1. Функціональна схема пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу в ПСК

Сепаратор працює наступним чином. Зерновий матеріал з бункера 1 через заслінки 2 потрапляє на направляючі поверхні 9 живильного пристрою 3, які спрямовують його рівномірними потоками в робочу зону ПСК 4 на різні рівні по висоті каналу. Під дією повітряного потоку, створеного вентилятором 6, вихідний зерновий матеріал розділяється на дві фракції: легкі домішки, які виносяться в осадову камеру 5, та очищене зерно, яке через жалюзійну стінку 10 потрапляє в герметичний вивідний канал 8 і далі по лотку виводиться з ПСК.

**У другому розділі** «Теоретичні дослідження процесу пневмосепарації з багаторівневим введенням зерна в ПСК» проведені аналітичні дослідження пневмосепараційного процесу, які дозволили встановити основні закономірності розділення зернового матеріалу та раціональні значення параметрів ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення.

На першому етапі рух зернової частинки розглянуто по напрямній гравітаційній кривій живильного пристрою (рис. 2), головною умовою якого було забезпечення горизонтального напряму та необхідної швидкості введення в ПСК $v_в$, яка визначається рівнянням:

$$v_в = \left\{ [2gL_p(\sin\alpha - f\cos\alpha) + v_n^2]e^{-2f\left(\varphi+\alpha-\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{2gr}{1+4f^2}\left\{3f\cos\varphi + \right.\right.$$

$$\left.\left. +(1-2f^2)\sin\varphi - [3f\sin\alpha + (1-2f^2)\cos\alpha]\cdot e^{-2f\left(\varphi+\alpha-\frac{\pi}{2}\right)}\right\}\right\}^{1/2}, \qquad (1)$$

де $v_n$ – початкова швидкість руху частинки, м/с; $f$ – коефіцієнт тертя; $L_p$ – довжина розгінної ділянки, м; $r$ – радіус дуги, м; $\alpha$ – кут її нахилу, град; $\varphi$ – кут, що визначає положення частки на кривій, град.

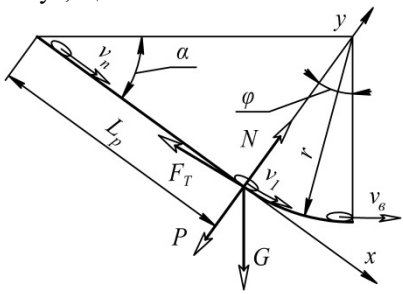



Рис. 2. Схема руху частинки по напрямній кривій живильника

Аналізуючи графічні залежності (рис. 3) та виходячи з режимів руху зернового матеріалу в ПСК, які будуть сприяти створенню найбільш сприятливих умов очищення зерна при його багаторівневому введенні ($v_в$ = 0,5…0,6 м/с), встановлені параметри напрямної гравітаційної кривої: довжина розгінної ділянки $L_p$ = 0,2 м, кут її нахилу $\alpha$ = 33°, радіус дуги $r$ = 0,15 м.

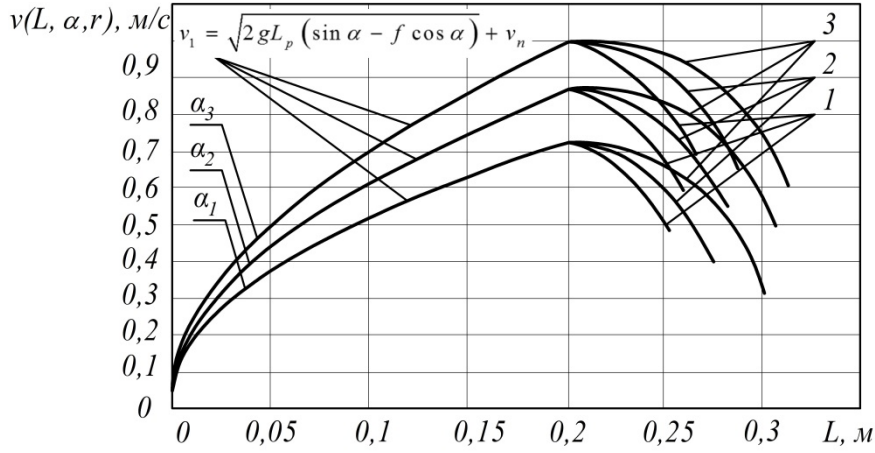



Рис. 3. Залежність швидкості руху зернового матеріалу від його положення на гравітаційній напрямній кривій, кута нахилу розгінної ділянки та радіуса дугоподібної ділянки (при $L_р$= 0,2): 1 – $r$ = 0,1 м; 2 – $r$ = 0,15 м; 3 – $r$ = 0,2м.

Рух зернового матеріалу в ПСК при багаторівневому введенні можна розділити на наступні складові: рух зернових часток, безконтактний рух домішок та контактний рух домішок та зерна. Тоді, за умови одношарового введення зернового матеріалу в ПСК, загальне рівняння руху зернової частинки в проекціях на осі координат OXY записується у вигляді системи (2):

$$\begin{cases} \ddot{x}_з = -V_n \dot{x} k_з; \\ \ddot{y}_з = k_з \left( V_n^2 - V_{в.з.}^2 \right), \end{cases} \tag{2}$$

та безконтактного руху домішки у вигляді системи (3):

$$\begin{cases} \ddot{x}_д = -\left( V_n - \dot{y} \right) \dot{x} k_д; \\ \ddot{y}_д = k_д \left[ \left( \dot{y} - V_n \right)^2 - V_{в.д.}^2 \right], \end{cases} \tag{3}$$

де $k_з$, $k_д$ – коефіцієнти, які враховують вплив засміченості повітряного потоку на швидкість витання зерна та домішок, відповідно; $V_n$ – швидкість повітряного потоку, м/с; $V_{в.з.}$, $V_{в.д.}$ – відповідно, швидкість витання зерна та домішок, м/с; $\dot{x}$, $\dot{y}$ – швидкість руху зерна та домішок відносно повітряного потоку, м/с; $\ddot{y}_з$, $\ddot{x}_з$, $\ddot{x}_д$, $\ddot{y}_д$ – відповідно, прискорення зерна та домішок в повітряному потоці, м/с$^2$.

Після аналітичного розв'язку системи (2) отримаємо швидкість руху для зернової фракції:

$$\begin{cases} x = \dfrac{\dot{x}_0}{V_n k_з} \left( 1 - e^{-V_n k_з t} \right); \\ y = k_з \left( V_n^2 - V_{в.з.}^2 \right) \dfrac{t}{2} + \dot{y}_0 t, \end{cases} \tag{4}$$

та системи (3) для домішок:

$$x = \begin{cases} x_0 - \left\{ \ln \left| \dfrac{e^{\sqrt{g k_д} t} + \sqrt{\dfrac{V_{в.д.} - V_n + \dot{y}_0}{V_{в.д.} + V_n - \dot{y}_0}}}{e^{\sqrt{g k_д} t} - \sqrt{\dfrac{V_{в.д.} - V_n + \dot{y}_0}{V_{в.д.} + V_n - \dot{y}_0}}} \right| - \ln \dfrac{V_{в.д.} + \sqrt{V_{в.д.}^2 - \left( V_n - \dot{y}_0 \right)^2}}{V_n - \dot{y}_0} \right\} \dfrac{\dot{x}_0}{k_д \sqrt{V_{в.д.}^2 - \left( V_n - \dot{y}_0 \right)^2}} & \text{при } V_{в.д.} - V_n + \dot{y}_0 > 0 \\ x_0 - \left\{ arctg \left( \sqrt{\dfrac{V_{в.д.} - V_n - \dot{y}_0}{V_{в.д.} - V_n - \dot{y}_0}} e^{\sqrt{g k_д} t} \right) - arctg \sqrt{\dfrac{V_n - \dot{y}_0 - V_{в.д.}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{в.д.}}} \right\} \dfrac{2\dot{x}_0}{k_д \sqrt{\left( V_n - \dot{y}_0 \right)^2 - V_{в.д.}^2}} & \text{при } V_{в.д.} - V_n + \dot{y}_0 \le 0. \end{cases} \tag{5}$$

$$y=\left(V_n-V_{в.д.}\right)t-\frac{1}{k_д}\left(\ln\left|1+\frac{V_{в.д.}-V_n+\dot{y}_0}{V_{в.д.}+V_n-\dot{y}_0}e^{-2\sqrt{gk_д}t}\right|-\ln\frac{2V_{в.д.}}{V_{в.д.}+V_n-\dot{y}_0}\right)+y_0. \qquad (6)$$

де $x_0$ – швидкість введення матеріалу в ПСК, м/с; $\dot{x}_0$, $\dot{y}_0$ – швидкість введення часток в ПСК по осі $X$ та $Y$ відповідно, м/с; $t$ – час руху частинки, с;

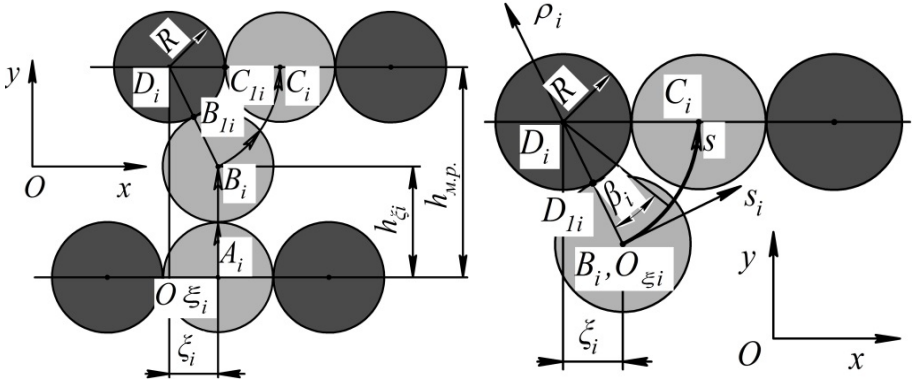
Отримані залежності (4) дозволяють визначити траєкторії руху часток зернових фракцій (рис. 5, а, криві 1з-6з) та безконтактного руху домішок (залежності 5, 6) (рис. 5, а, криві 1дб-6дб) при потраплянні в ПСК та їх віяло розсіювання, що відповідають значенням коефіцієнтів парусності для повноцінного зерна $0{,}75 \geq k_з \geq 0{,}14$ та легких домішок $0{,}55 \leq k_д \leq 2$.

Для розгляду контактного руху домішок при багаторівневому введенні матеріалу за критерій якості роботи (відносно кількості шарів зернового матеріалу) пневмосепаратора вибрано наступну умову:

$$T_{гор} > T_{вер} = \sum_{i=n}^{i=2n} T_i, \qquad (7)$$

де $T_{гор}$ – час, за який домішка з самого нижнього шару проходить до задньої стінки каналу, с; $T_{вер}$ – час, за який вказана домішка пройде через усі верхні шари, с; $T_i$, $/i=\overline{2,n}/$ – час, за який вказана домішка проходить через $i$ - ий шар, с; $n$ – кількість шарів зернового матеріалу, шт.

З усередненням по величині $\xi_i \in [0;2R]$, $/i=\overline{1,n}/$ (горизонтальне зміщення центрів мас домішки і зерна) на $i$–тому ступені ($/i=\overline{1,n}/$) рух центра мас $O_{\xi i}$ домішки складається з трьох послідовних етапів (рис. 4, а): 1) – безконтактний рух домішки між шарами – ланка $A_iB_i$; 2) – зіткнення домішки з зерном в точці $B_{1i}$; 3) – рух домішки по зерну, при цьому точка дотику описує траєкторію $B_{1i}\,C_{1i}$, а центр мас домішки – $B_iC_i$.




а) б)

Рис. 4. Схема руху домішки:
а) – при проходженні через зернові шари; б) – під час контакту з зерном.

Рівняння руху домішки по зерну в рухомій системі координат $O_{\xi i}s\rho$, $/i=\overline{2,n}/$ має вигляд:

$$m\ddot{s} = mk_o\left(V_n - \dot{s}\right)^2 - mgsin\beta, \tag{8}$$

де $\beta$ – кут контакту домішки по зерну, град; $\dot{s}$ – швидкість переміщення домішки по зерну, м/с; $m$ – маса домішки, кг; $\ddot{s}$ – прискорення домішки, м/с$^2$.

Після розв'язку (8) отримуємо наступне рівняння:

$$\ln\left|\left(R\dot{\beta}-V_n\right)^2 - V_{в.д.}^2\right| + \frac{V_n}{V_{в.д.}}\ln\left|\frac{R\dot{\beta}+V_n+V_{в.д.}}{R\dot{\beta}+V_n-V_{в.д.}}\right| - \ln\left|\left(V_{\xi i}^{(1)}-V_n\right)^2 - V_{в.д.}^2\right| + \\ + \frac{V_n}{V_{в.д.}}\ln\left|\frac{V_{\xi i}^{(1)}+V_n+V_{в.д.}}{V_{\xi i}^{(1)}+V_n-V_{в.д.}}\right| - 2k_oR\left(cos\beta-cos\beta_{\xi i}\right) = 0, /i=\overline{2,n}/, \tag{9}$$

де $V_{\xi i}^{(1)}$ – швидкість домішки після зіткнення з зерном, м/с; $\beta_{\xi i}$ – кут контакту домішки по зерну при зіткненні, град; $\dot{\beta}$ – кутова швидкість сходження домішки з зерна, с$^{-1}$; $R$ – радіус зерна, м.

Оскільки рівняння не розв'язується аналітично, його розв'язок знаходимо наближеними числовими методами, враховуючи початкову умову, яка в момент сходження зерна з попереднього шару $\left(t=t_{\xi i}^{(2)}, /i=\overline{2,n}/\right)$:

$$\beta\left(t_{\xi i}^{(2)}\right) = \frac{\pi}{2}, /i=\overline{2,n}/ \cdot$$

При цьому, час проходження домішки через $i$ - ий шар та лінійна швидкість при виході з цього зернового шару $V_i$, визначаються рівняннями:

$$T_i = \frac{1}{2R}\int_0^{2R} t_{\xi i}^{(2)} d\xi_i; V_i = \frac{1}{2}\int_0^{2R}\dot{\beta}(t_{\xi i}^{(2)})d\xi_i, \quad /i=\overline{2,n}/. \tag{10}$$

За результатами отриманих залежностей були побудовані усереднені траєкторії польоту легких часток при контактному русі через вище розміщені зернові шари (рис. 5, а, залежності 2дк – 5дк), які дозволяють визначити місце встановлення верхньої точки жалюзійної стінки вивідного каналу $h_{ж.в.}$.

Для визначення якісних показників сепарації при багаторівневому введенні в «MathCAD 15» було складена програма на основі алгоритму розподілу кінематичних характеристик домішок на виході з кожного шару, що залежать від положення ($\xi_i$, $/i=\overline{1,n}/$) точки контакту домішок із зерном з чергового верхнього шару. При цьому, область $\xi_i$ є [0;2R], $/i=\overline{1,n}/$ розбивалась на $N$ однакових рівноцінних інтервалів ($\xi_{i,j-1};\xi_{i,j}$), $/j=\overline{1,N}/$ довжиною $2R/N$.

Відповідно, домішки після проходження другого і кожного наступного зернових шарів розділяться на $N$ однакових по кількості груп, кожна з яких матиме свої кінематичні характеристиками – $V_{2,j}$, $t_{2,j}$, $/j=\overline{1,N}/$ (після другого шару), на $N^{n-1}$ груп – $V_{n,j}$, $t_{n,j}$, $/j=\overline{1,N^{n-1}}/$ ( після $i$ - го шару).

За результатами такого розподілу отримано відсотковий вміст домішок, які залишились в очищеному зерні для кожного рівня введення, та відповідно кількість домішок, які виділились в осадову камеру (рис. 5, б).

Аналіз графічних залежностей (рис. 5, б) дозволяє стверджувати, що збільшення кількості рівнів введення з 4 до 6 призводить до суттєвого зменшення якості очищення, що пояснюється збільшенням кількості вірогідних зіткнень частки з рухомим зерновим шаром.

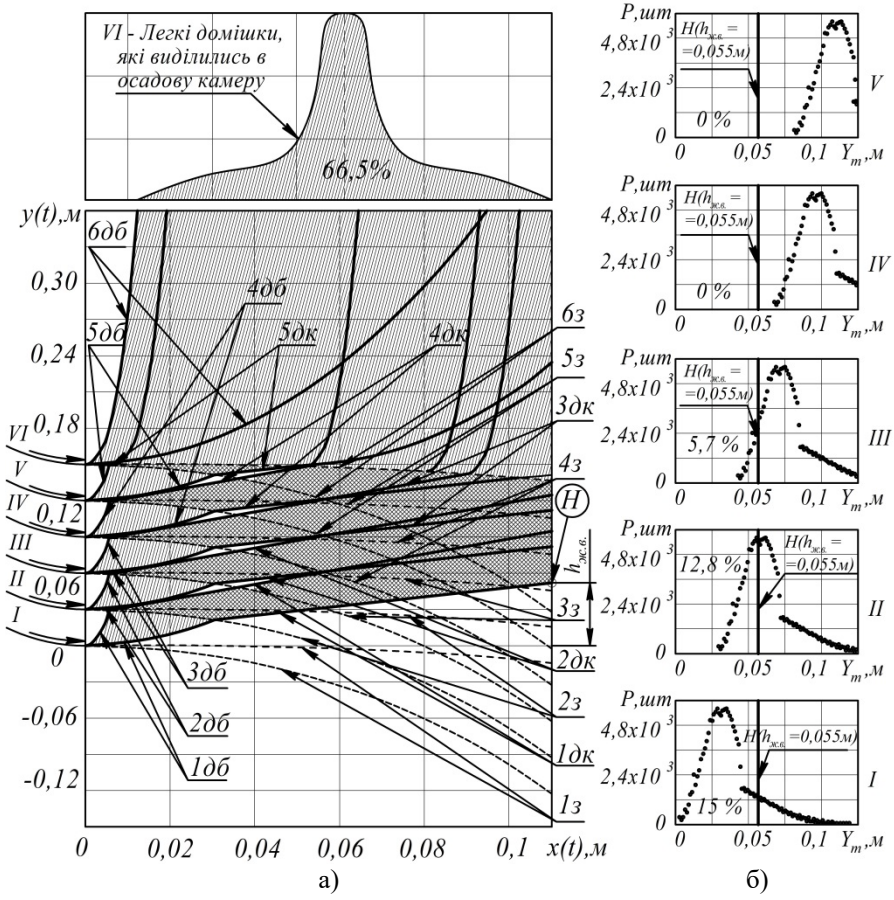



Рис. 5. Траєкторії контактного руху домішок (а) та їх кількісна характеристика в очищеному зерні (б) при багаторівневому введенні:
1*з* – 6*з* – траєкторії руху зерна відповідно з 1 по 6 рівень введення;
1*дб* – 6*дб* – траєкторії безконтактного руху домішок з 1 по 6 рівень;
1*дк* – 5*дк* – траєкторії контактного руху домішок з 1 по 5 рівень;
I – V – кількісна характеристика та відсотковий вміст домішок в важкій фракції з 1 по 5 рівень введення відповідно

Визначено, що при шестирівневій подачі зернового матеріалу з одношаровим розміщенням і максимальною щільністю в ПСК з інтервалом в 2*R*, повнота виділення легких домішок становить 66,5%, при цьому, кількість легких домішок, які потрапили до очищеного зерна – 33,5 %, з них 27,8 % з I та II рівнів введення.

Для визначення якісних показників сепарації при змінній величині питомого навантаження $q_B$ був введений коефіцієнт розрідженості $f_p$, з врахуванням якого продуктивність зернового потоку визначається виразом:

$$q_B = 3600\frac{\pi}{6}\left(B \cdot v_в \cdot n \cdot R \cdot \gamma\right)\frac{2}{1+f_p}, \qquad (11)$$

де $B$ – ширина каналу, м; $v_в$ – швидкість введення матеріалу в канал, м/с; $n$ – кількість рівнів введення, шт; $R$ – радіус зерна, м; $\gamma$ – об'ємна маса зерна, кг/м$^3$; $f_p$ – коефіцієнт розрідження зернового потоку в ПСК.

З урахуванням рівняння (11) в програмі «MathCAD 15» отримана кількісна характеристика розподілу домішок, за результатами якої побудовані залежності впливу величини питомого навантаження $q_B$ на повноту розділення зернового матеріалу $\varepsilon$ (рис. 6).

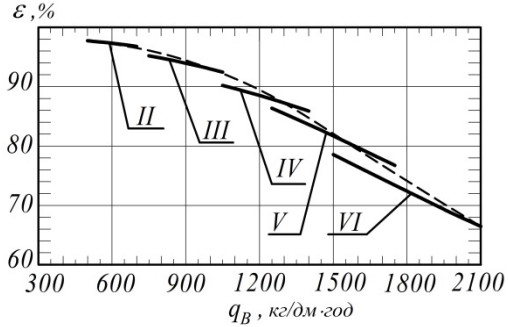



Рис. 6. Аналітична залежність повноти розділення зернового матеріалу від величини питомого навантаження ПСК, $\varepsilon = f(q_B)$: II – VI – порядковий номер задіяних рівнів введення

Аналіз графіків дозволяє стверджувати, що зменшення кількості задіяних рівнів сприяє підвищенню якості сепарації, але при цьому зменшується величина питомого навантаження на ПСК. Встановлено, що вибір раціональної кількості задіяних рівнів живильного пристрою $n$ та величини питомого навантаження $q_{bi}$ залежить від призначення очищення, при цьому необхідно виходити з умови: $q_B \rightarrow max$ при $\varepsilon \rightarrow opt$, $n \rightarrow opt$.

**У третьому розділі** «Програма і методика експериментальних досліджень» викладено програму та методику експериментальних досліджень, а також описано обладнання, що використовується при виконанні дослідів.

Програмою експериментальних досліджень передбачалось: визначити основні фізико-механічні властивості вихідного зернового матеріалу; дослідити вплив параметрів ПСК з живильним пристроєм для багаторівневого введення матеріалу на рівномірність поля швидкостей повітряного потоку та на якісні показники пневмосепараційного процесу; дослідити вплив засміченості і вологості зернового матеріалу на технологічні

показники сепарації; визначити аеродинамічну характеристику пневмосепаратора і отримати порівняльну оцінку багаторівневого та традиційного введення зернового матеріалу в ПСК.

Для проведення лабораторних досліджень та визначення параметрів пневмосепаратора розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис.7), яка представляє собою повітряний сепаратор для очищення зерна від легких домішок.

а) б)

Рис. 7. Загальний вигляд: а – експериментальної установки;
б – багаторівневого живильного пристрою

Експериментальна установка (рис. 7, а) складається з бункера, що має дозуючі пристрої, багаторівневого живильного пристрою (рис 7, б), вертикального ПСК, осадової камери, герметичного вивідного каналу, вентилятора, повітропроводів, регулювальних заслінок, приймальних камер легких домішок і очищеного зерна.

З метою встановлення раціональних конструктивних параметрів пневмосепаратора застосовувалася методика математичного планування експерименту. Досліди проводились в два етапи. Критерієм оптимізації на

першому етапі досліджень було вибрано ступінь нерівномірності поля швидкостей $Y$ в робочій зоні ПСК, який оцінювали коефіцієнтом варіації $\delta$. Під час другого етапу досліджень критеріями оптимізації прийнято: повноту розділення зернової матеріалу $\varepsilon$,% ($Y_1 = \varepsilon$) та кількість повноцінного зерна в відходах $z$,% ($Y_2 = z$).

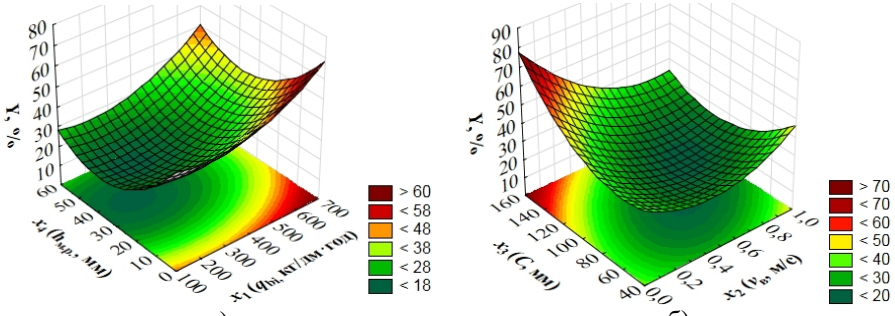
Обробка експериментальних даних виконувалась із застосуванням пакету прикладних програм «STATISTICA».

**У четвертому розділі** «Результати експериментальних досліджень процесу пневмосепарації з багаторівневим введенням зерна» визначено основні закономірності впливу параметрів живильного пристрою на аеродинамічну характеристику ПСК.

В ході проведення першої серії дослідів, метою якої було визначення найбільш рівномірного поля швидкостей повітряного потоку при взаємодії наступних факторів: питомого зернового навантаження $q_{bi}$ ($x_1$), швидкості введення матеріалу $v_в$ ($x_2$), глибини ПСК $C$ ($x_3$) та міжрівневої відстані $h_{м.р}$ ($x_4$), отримано статистичну математичну модель:

$$Y = 20{,}4 + 3{,}568x_1 - 3{,}756x_2 + 2{,}07x_3 - 1{,}221x_4 + 1{,}059x_1^2 + 2{,}256x_2^2 + 1{,}648x_3^2 + \quad (12)$$
$$+1{,}982x_4^2 + 0{,}612x_1x_2 + 1{,}401x_1x_3 + 0{,}073x_1x_4 - 1{,}69x_2x_3 + 0{,}007x_2x_4 - 0{,}078x_3x_4.$$

Аналіз експериментальних даних, які представлені поверхнями відгуку та лініями рівного виходу (рис. 8), дає можливість виявити характер зміни факторів та проаналізувати їх взаємний вплив на критерій оптимізації. Встановлено, що висота розміщення рівнів $h_{м.р}$ залежить від величини питомого навантаження на рівень живильника $q_{bi}$, та, відповідно, від концентрації зернового матеріалу в певному об'ємі повітря ПСК. При цьому, раціональне значення $h_{м.р}$ знаходиться в межах $h_{м.р.}$ = 30…40 мм.

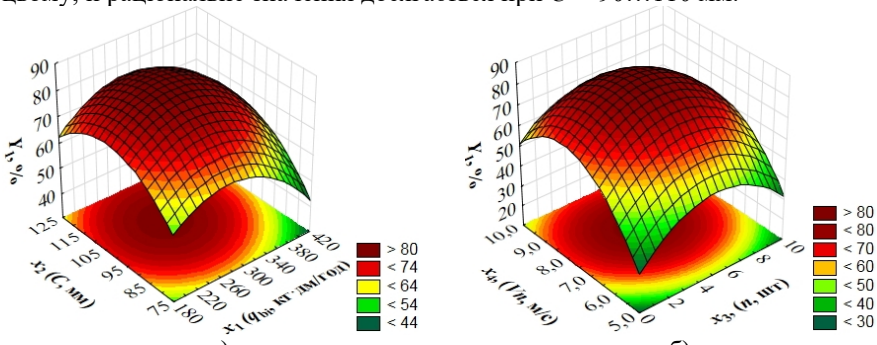



а) б)

Рис. 8. Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для рівномірності поля швидкостей $Y$: а) – $Y = f(x_4 \cdot x_1)$; б) – $Y = f(x_3 \cdot x_2)$.

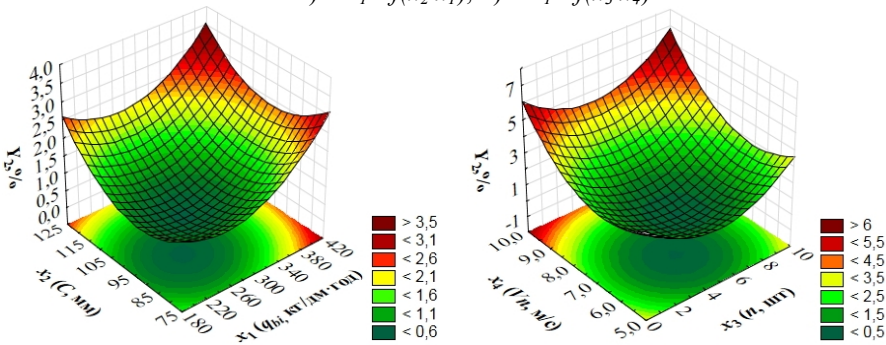
З аналізу взаємного впливу факторів на рівномірність поля швидкостей $Y$, можна зробити висновок, що підвищення питомого навантаження ПСК $q_{bi}$, погіршує рівномірність повітряного потоку, що пояснюється збільшенням аеродинамічного опору зернового матеріалу.

Збільшення швидкості введення матеріалу в ПСК, раціональне значення якого знаходиться в межах $v_в$ = 0,5…0,6 м/с (рис. 8), сприяє вирівнюванню швидкостей повітряного потоку за рахунок розрідження шару матеріалу, а збільшення глибини каналу *C,* навпаки, погіршує розподіл швидкостей, при цьому, її раціональне значення досягається при *C* = 90…110 мм.




а) б)

Рис. 9. Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для повноти розділення $Y_1(\varepsilon)$: а) – $Y_1 = f(x_2 \cdot x_1)$; б) – $Y_1 = f(x_3 \cdot x_4)$.




а) б)

Рис. 10. Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для кількості повноцінного зерна в відходах, $Y_2$ (*z*): а) – $Y_2 = f(x_2 \cdot x_1)$; б) – $Y_2 = f(x_3 \cdot x_4)$.

Метою проведення наступної серії досліджень було визначення впливу питомого зернового навантаження $q_{bi}$ ($x_1$), глибини ПСК *C* ($x_2$), кількості рівнів *n* ($x_3$) та середньої швидкості повітряного потоку $V_n$ ($x_4$) на ефект очистки $\varepsilon$ ($Y_1$) та чіткість сепарації *z* ($Y_2$).

За результатами досліджень отримані рівняння регресії залежностей для ефекту очистки $\varepsilon$ та для кількості повноцінного зерна в відходах, *z:*

$$Y_1 = 82{,}9 - 1{,}722x_1 + 2{,}308x_2 - 0{,}616x_3 + 3{,}2x_4 - 2{,}59x_1^2 - 2{,}17x_2^2 - 3{,}16x_3^2 - \\ -3{,}94x_4^2 + 0{,}4x_1x_2 - 0{,}5x_1x_3 - 0{,}662x_1x_4 + 0{,}287x_2x_3 - 0{,}1x_2x_4 - 0{,}47x_3x_4; \qquad (13)$$

$$Y_2 = 0,73 + 0,267x_1 + 0,16x_2 + 0,09x_3 + 0,589x_4 + 0,165x_1^2 + 0,155x_2^2 + 0,333x_3^2 + \quad (14)$$
$$+0,338x_4^2 - 0,003x_1x_2 + 0,016x_1x_3 - 0,047x_1x_4 + 0,016x_2x_3 - 0,022x_2x_4 + 0,021x_3x_4.$$

В результаті аналізу експериментальних даних, представлених поверхнями відгуку і лініями рівних виходів для кожного з критеріїв (рис. 9, 10), визначено, що найбільший вплив на показники якості очистки здійснює швидкість повітряного потоку у ПСК. Так, збільшення швидкості повітря $V_n$ від 6 м/с до 8 м/с покращує повноту розділення домішок на 13-17%, при цьому чіткість сепарації $z$ знаходиться в межах допустимих значень.

Експериментальні дані підтверджують аналітичні дослідження про те, що кількість рівнів і питома подача на рівень $q_{bi}$ є взаємозалежними факторами. При цьому, для досягнення повноти розділення зернового матеріалу $\varepsilon$ = 70…75% та $z \le 2$%, область раціональних значень кількості задіяних рівнів живильного пристрою знаходиться в межах $n$ = 4…6 шт. при питомому навантаженні $q_{bi}$ =250…350 кг/дм·год.

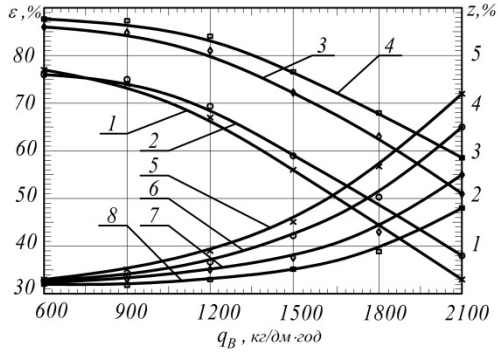



Рис. 11. Порівняльна характеристика способів завантаження: $\varepsilon = f(q_B)$ – залежності 1 – 4; $z = f(q_B)$ – залежності 5 – 8. 1, 5 – традиційне введення; 2, 6 – однорівневе введення з виведенням через жалюзійну стінку; 3, 7 – багаторівневе введення; 4, 8 – багаторівневе введення з виведенням через жалюзійну стінку.

Аналіз графічних залежностей (рис. 11) дозволяє зробити висновок про те, що найвищий ефект очистки спостерігається при застосуванні багаторівневого введення з виведенням очищеного зерна через жалюзійну стінку (криві 4, 8), при цьому до навантаження $q_B \le 2100$ кг/дм·год якісні показники залишаються в межах вимог до попереднього очищення зерна.

**У п'ятому розділі** «Практична реалізація результатів досліджень» розроблено методику інженерного розрахунку основних параметрів запропонованого пневмосепаратора.

За результатами виробничих випробувань дослідних зразків пневмосепараторів: А1-БМС-6, ЗСМ-20 та «PETKUS K 531 GIGANT». Ці машини пройшли виробничі випробування та працюють в ТОВ «Тіньки» Чигиринського р-ну, Черкаської області, ФГ «ЛІК» с. Нова Прага Олександрійського району Кіровоградської області та ДП «ДГ

«Ставидлянське» Кіровоградської державної дослідної станції Національної академії аграрних наук України.

За результатами випробувань визначено, що застосування живильного пристрою для багаторівневого введення зерна в дослідних сепараторах дозволяє підвищити якість очищення зерна в ПСК на 14…22%.

Розроблено технічну документацію на виготовлення пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу і передано на виробництво до ПП «Савицький М.І.» (м. Кропивницький) та впроваджено у навчальний процес на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ як лабораторну установку.

Розрахунки економічної ефективності показують, що очікуваний річний економічний ефект від впровадження запропонованої модернізації в машині А1-БМС-6 для споживача складає 20477 грн. (станом на 07 березня 2017 р.).

## ВИСНОВКИ

1. На основі огляду та аналізу сучасних результатів досліджень пневмосепарації, конструкцій технічних засобів та живильних пристроїв ПСК визначено, що величина їх питомої продуктивності обмежена при забезпеченні відповідної якості очищення. Перспективи подальшого підвищення якості пневмосепарації пов'язано з пошуком нових принципів обробки зерна повітряним потоком, зокрема, на основі багаторівневого введення зернового матеріалу.
2. Для забезпечення раціональної швидкості введення зернового матеріалу в ПСК $v_в$ = 0,5…0,6 м/с., параметри напрямних гравітаційних кривих живильного пристрою повинні мати наступні значення: довжина розгінної ділянки $L_р$ = 0,2 м, кут її нахилу $\alpha$ = 33°, радіус дуги криволінійної ділянки $r$ = 0,15 м.
3. Виділення домішок в осадову камеру залежить від часу та швидкості їх проходження через зернові шари, що змінюються залежно від кута контакту домішок з зерном та місця встановлення верхньої точки жалюзійної стінки. Так, при шестирівневому введенні з розміщенням зернових частинок за напрямком руху в ПСК з проміжком, рівним їх двом радіусам, місце встановлення верхньої точки жалюзійної стінки повинно знаходитись на висоті $h_{ж.в.}$ = 0,05…0,055 м відносно І-го рівня введення.
4. Збільшення відстані між зерновими частинками понад два радіуса в горизонтальному напрямку сприяє підвищенню якості розділення матеріалу, але при цьому зменшується його продуктивність. При шестирівневому введенні з максимальною щільністю розташування зерна в ПСК ($f_р$ = 1) повнота розділення становить ε = 66,5%.
5. Застосування багаторівневого введення зернового матеріалу дозволяє суттєво вирівняти поле швидкостей в робочій зоні ПСК та наблизити середню швидкість повітряного потоку $V_п$ до швидкості витання основного зерна $V_{в.з.}$, раціональне значеннях якої становить $V_п$ = 7,5…8 м/с. При цьому для забезпечення мінімальних втрат зерна в відходах $z \leq 2\%$, значення глибини каналу повинно бути в межах $C$ = 100…110 мм, а раціональне

значення міжрівневої відстані для питомих навантажень $q_{bi}$ = 250…350 кг/дм·год знаходиться в межах $h_{м.р.}$ = 30…40 мм.

6. Кількість рівнів $n$ і питома подача на рівень живильного пристрою $q_{bi}$ є взаємозалежними факторами. Для їх раціонального вибору необхідно виходити з умови: $q_B \rightarrow max$ при $\varepsilon \rightarrow opt$, $n \rightarrow opt$. При цьому:

- для попереднього очищення ($\varepsilon \geq 50\%$) доцільно встановлювати $q_{bi}$ = 350 кг/дм·год.($q_B$ = 2100 кг/дм·год) з кількістю задіяних рівнів $n$ = 6;
- для первинного очищення ($\varepsilon \geq 60\%$) найбільш раціональним є шестирівневе введення при $q_{bi}$ = 300 кг/дм·год ($q_B$ = 1800 кг/дм·год);
- для вторинного очищення ($\varepsilon \geq 70\%$) доцільно застосувувати п'ятирівневе введення при $q_{bi}$ = 350 кг/дм·год ($q_B$ = 1750 кг/дм·год);
- для високоякісного очищення ($\varepsilon \geq 80\%$) найбільш раціональним є застосування чотирьох рівнів при $q_{bi}$ = 300 кг/дм·год $q_B$ = 1200 кг/дм·год).

7. Використання багаторівневого способу введення зернового матеріалу порівняно з традиційним дає можливість збільшити якість пневмосепарації зерна в ПСК на 14…22%.

8. Підвищення вологості та засміченості зернового матеріалу призводить до зниження якості пневмосепарації. Але, застосування багаторівневого введення дозволяє отримати підвищення повноти розділення зернового матеріалу на 13…16% (при вологості $W$ = 20%) та на 12…18% (при засміченості $\tau$ = 40%) в порівнянні з традиційним способом введення.

9. Очікуваний економічний ефект споживача від застосування вдосконаленого пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу в машині А1-БМС-6 станом на 07.03.2017 р. складає 20477 грн. в рік.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Васильковський М.І. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Кіровоград: КНТУ, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.

2. Нестеренко О.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / О.В Нестеренко, О.М Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25. Ч.1. – С.49-53.

3. Нестеренко А. Теоретическое обоснование качественных показателей процесса пневмосепарации для многоуровневого введения зерна / А.Нестеренко, С.Лещенко, Д.Петренко, Д.Богатырёв, О.Кислун. //

MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. 2013. Vol.15. No.2. S. 93 – 98.

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

5. Нестеренко О.В. Дослідження якісних показників пневмосепарації при багаторівневому введенні зерна / О. В. Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2015. – Вип. 32. – С. 143–151.

6. Nesterenko O.V. Analytical study of separation efficiency of grain in vertical pneumatic separating channel / O.V. Nesterenko S. Leschenko, D. Petrenko, S. Honcharova // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45. Ч. 1. – С. 14 – 20.

7. Нестеренко О.В. Обґрунтування параметрів живильного пристрою для багаторівневого введення зернового матеріалу у вертикальний пневмосепаруючий канал / О.В. Нестеренко, Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М Васильковський, С.Я. Гончарова // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2016. – Вип. 34. – С. 92–103.

8. Нестеренко О.В. Дослідження безконтактного руху легких домішок у вертикальному пневмосепаруючому каналі / О. В. Нестеренко, Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М Васильковський, С.Я. Гончарова, Ю.В. Мельник // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2016. – Вип. 46. – С. 271 – 279.

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

9. Нестеренко О.В. Дослідження якісних показників роботи пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зерна // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції. Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 135–137.

10. Нестеренко О.В. Аналіз руху зернової частки в повітряному потоці // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 108–110.

11. Нестеренко О.В. Дослідження якісних показників пневмосепарації при багаторівневому введенні зерна // Тези V всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК». Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 84–86.

12. Нестеренко О.В. Дослідження основних параметрів направляючої поверхні живильного пристрою пневмосепаратора // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Крамаровські читання». К: НУБіП України, 2017. – С. 129 – 131.

*Наукові праці, в яких додатково опубліковані основні наукові результати дисертації:*

13. Патент на корисну модель 8058А Україна, МПК В 02В1/00. Повітряний сепаратор. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. (Україна).- № u200500190; Заявл. 10.01.05; Опубл. 15.07.2005. Бюл. №7.

14. Патент на корисну модель 9042 Україна, МПК В 02 В 1/00. Повітряний сепаратор. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В., Косінов М.М. (Україна). № 20041008509; Заявл. 19.10.2004; Опубл. 15.09.2005. Бюл. №9.

15. Патент на корисну модель 9586А Україна, МПК 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. (Україна). № a200500209; Заявл. 10.01.05; Опубл. 17.10.2005. Бюл. №10.

## АНОТАЦІЯ

**Нестеренко О.В. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2017.

У дисертації вирішено наукове завдання підвищення якості очищення зерна шляхом розробки і обґрунтування параметрів ПСК з живильним пристроєм для його багаторівневого введення.

У роботі визначені основні параметри пневмосепаруючого каналу з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу; доведена можливість інтенсифікації розділення зернового матеріалу на основі вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку та зменшення опору повітря в зонах введення та виведення зерна за рахунок його багаторівневого введення в пневмосепаруючий канал; вивчено вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу та питомого навантаження на якісні показники сепарації.

Викладено методику та порядок проведення досліджень.

*Ключові слова*: пневмосепарація, повітряний сепаратор, пневмосепаруючий канал, живильний пристрій, багаторівневе введення зерна.

## АННОТАЦИЯ

**Нестеренко О.В. Обоснование параметров пневмосепарирующего канала с многоуровневым введением зернового материала – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, 2017.

В диссертации решено научное задание повышения качества очистки зерна путем разработки и обоснования параметров пневмосепарирующего канала с питательным устройством для его многоуровневого введения.

Существенным преимуществом предложенного пневмосепаратора является возможность качественного выделения лёгких примесей из зернового материала с низкими энергозатратами и высокой производительностью.

В работе определены основные параметры питательного устройства пневмосепаратора зерна; доказана возможность интенсификации очистки зерновых смесей за счет многоуровневого введения материала в вертикальный пневмосепарирующий канал с выведением его через жалюзийную стенку; установлено влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала и удельной нагрузки на качественные показатели сепарации.

Экспериментально установлена область рациональных значений параметров пневмосепарирующего канала с питательным устройством для многоуровневого введения зернового материала: удельная зерновая нагрузка $q_{bi}$ = 250…350 кг/дм·час в зависимости от назначения очистки; начальная скорость введения зерна $v_в$ = 0,5…0,6 м/с; глубина канала $C$=100…110 мм; средняя скорость воздушного потока $V_n$ = 7,5…8 м/с.; количество задействованных уровней питателя $n$ = 4…6 шт.; расстояние между уровнями $h_{м.р.}$ = 30…40 мм.

Установлено, что использование в конструкции пневмосепаратора питательного устройства для многоуровневого введения зернового материала повышает качество очистки на 14…22%.

Производственными испытаниями подтверждена высокая эксплуатационная эффективность и надежность разработанного пневмосепаратора при обработке зернового материала.

*Ключевые слова*: пневмосепарация, воздушный сепаратор, пневмосепарирующий канал, питательное устройство, многоуровневое введения зерна.

## ANNOTATION

**Nesterenko A.V. Substantiation of the Parameters of the Pneumatic and Separating Channel with Multi-level Feeding of Grain Material. - It is Manuscript.**

The dissertation for obtaining scientific degree of a Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.05.11 – Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2017.

The scientific problem of improving the quality of grain cleaning by developing and substantiating parameters of the pneumatic and separating channel with a feeding appliance for its multilevel feeding are solved in the dissertation.

The main parameters of the pneumatic and separating channel with the feeding device for the multilevel feeding of grain material are determined in the work; the possibility of intensifying the separation of grain material based on the

levelling of the air velocity field and reducing the air resistance in the areas of input and output of grain due to its multilevel feeding into the air separation channel has been proved; the influence of physical and mechanical properties of the processed material and specific load on the qualitative parameters of separation have been studied.

The methodology and procedure for conducting research are outlined.

Keywords: pneumatic separation, air separator, pneumatic and separating channel, feeding device, multilevel feeding of grain.

Підписано до друку 16.08.2017 р. Формат 60x80/16
Ум. друк. арк. – 0,9. Обл.-вид. – 1,0.
Наклад. 100 прим. Зам. № 228/2011

РВЛ ЦНТУ. 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.
Тел. 390-541, 390-551, 559-245.