

УДК 631.362.35.+УДК 633.853.+УДК 631.31

№ держреєстрації 0111U002549

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**  
72312, м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18,  
ТЕЛ. (0619) 42-12-65

ЗАТВЕРЖУЮ:  
Директор НДІ МЗПУ,  
чл.-кор. НААНУ, д.т.н., проф.  
В.Т. Надикто  
«29» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
**ЗА 2019 р.**

п.п. 2. Розробка технологій і технічних засобів для рослинництва в умовах зрошеного землеробства півдня України

Завідувач відділу \_\_\_\_\_ чл.-кор. НААНУ, д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії \_\_\_\_\_ д.т.н. Михайлов Є.В.

2019 р.

Результати роботи розглянуті НТР  
Протокол № 4 від «29.12» 2019 р.

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник підпрограми 2, д.т.н., професор кафедри МВЗ	Михайлов Є.В. (реферат, вступ, розділи 1, 2, висновки)
к.т.н., доцент кафедри «Математики і фізики» МДПУ ім. Б.Хмельницького	Рубцов М.О. (розділ 1)
інженер	Задосна Н.О. (вступ, розділ 1, висновки)
інженер	Афанасьєв О.О. (розділ 2, висновки)
к.т.н., доцент кафедри МВЗ	Чорна Т.С. (розділ 2)
Магістр	Мордарьов П.С. (розділ 2)
д.т.н., професор кафедри ТМ	Леженкін О.М. (вступ, розділ 3)
к.т.н.	Леженкін І.О. (розділ 3)
аспірант	Головльов В. А. (розділ 3)

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 45 сторінок, 7 рисунків, 31 посилання.

Об'єкти дослідження – технологічні процеси технічних засобів післязбиральної обробки зерна та олійної сировини соняшнику в умовах південних господарств України.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічних процесів збирання, післязбиральної обробки зерна (ПЗОЗ) та олійної сировини соняшнику.

Методи дослідження – теоретико-експериментальні із застосуванням елементів системного аналізу та теорії ймовірностей. Перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартними та розробленими програмами.

У даному звіті пропонуються:

- теоретичне обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора (ПРС) олійної сировини соняшнику;
- методичне обґрунтування експериментальних досліджень пневморешітного сепаратора зерна;
- теоретичні дослідження пневмотранспортеру обчісаного вороху пшениці.

**ШВИДКОСТЬ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ, ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ  
ЗЕРНА, ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ПНЕВМОТРАНСПОРТУВАННЯ  
ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ ПШЕНИЦІ.**

## ЗМІСТ

Вступ	5
1 Обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику	6
2 Методичне обґрунтування експериментальних досліджень пневморешітного сепаратора зерна	15
3 Теоретичні дослідження пневмотранспортеру обчісаного вороху пшениці	30
Загальні висновки	40
Література	42

## ВСТУП

Попереднє очищення зерна та олійної сировини соняшнику (ОСС) є одною з найважливіших технологічних операцій післязбирального обробітку сільськогосподарських культур в системі підготовки насіннєвого матеріалу. Зерновий матеріал після його збирання і виділення з вороху представляє собою суміш зерна основної культури та до 20 % зернових домішок - пошкодженого і недозрілого, що є більш вразливим до дій різних шкідливих організмів, сторонніх культурних рослин, бур'янів, а також різноманітних домішок мінерального і органічного походження [1, 2, 3].

На початковому етапі очищення найбільш часто розподіл складових вороху насіння соняшнику відбувається з урахуванням його натури, засміченості та аеродинамічних властивостей.

Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок на решетах і в повітряному потоці.

Існує проблема забезпечення якісної очистки олійної сировини соняшнику, що потребує провести дослідження щодо обґрунтування параметрів та режимів роботи пневморешітних сепараторів попередньої очистки олійної сировини соняшнику та зерна.

В Україні зерновиробництво є провідною галуззю сільського господарства, при цьому його технічне оснащення знаходиться на низькому рівні, і в першу чергу це стосується зернозбиральної техніки. Усунути ці недоліки має підставу мелітопольська наукова школа технології збирання рослин обчисування рослин на корені. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів пневмотранспортування обчесаного вороху, що підтверджує актуальність вищезначених проблем.

# 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ У ПНЕВМОСЕПАРАЦІЙНІЙ КАМЕРІ ПНЕВМОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ СОНЯШНИКУ

## Актуальність дослідження

Насінневий ворох соняшнику та зерна, що надходить з бункера комбайну, в більшості випадків має підвищену вологість і містить значну кількість домішок [1, 2]. Здавати таке насіння на приймальні пункти або олійні заводи недоцільно, що вимагає їх обов'язкового попереднього очищення, сушки, так як в іншому випадку це призводить до самозігрівання, псування, розвитку шкідників і хвороб, підвищення кислотності, на усунення чого потрібні значні витрати [3].

На початковому етапі очистки найбільш часто поділ складових вороха насіння соняшнику та зернових відбувається з урахуванням його аеродинамічних властивостей та особисто критичних швидкостей вітання. Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок в повітряному потоці [4, 5, 6]. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок в сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних з сепарацією складових зернового вороху, кількісні закономірності руху тіл з урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують досліджень [7, 8, 9].

**Мета дослідження** – підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур за рахунок теоретичного та експериментального обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора (ПРС).

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес роботи жалюзійного повітрярозподільника ПРС попереднього очищення олійної сировини соняшнику зі замкненою пневмосистемою.

## **Програма досліджень**

На підставі теоретичного та експериментального аналізів отримати залежності максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері ПРС від частоти обертання ротора вентилятора.

## **Методика досліджень**

Нами розроблено пневморешітний сепаратор (ПРС) із замкнутою повітряною системою, в якому шляхом установки пневмосепаруючої і осадової камер зі складною геометричною поверхнею, з'єднаних всмоктуючим каналом з діаметральним вентилятором, створено замкнуту повітряну систему. Це забезпечує поліпшення процесу виділення легких домішок, зменшення енергоємності пневмосепарації і забрудненості довкілля [6].

Для встановлення та визначення параметрів і режимів роботи ПРС обґрунтовано його технологічна схема (Рис. 2.1, розділ 2).

Попередні дослідження аналога пневморешітного сепаратора у виробничих умовах визначили необхідність вирішення наукової задачі – теоретичного та експериментального обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику.

Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики.

Експериментальні дослідження проведено з використанням розроблених методик та існуючих державних стандартів, статистичних методів опрацювання результатів досліджень, стандартного та спеціально створеного експериментального обладнання.

Розрахунки виконували із застосуванням наступних програмних пакетів “MATLAB 6,5”, “Microsoft Office Excel 2007”, Statistica 8.0, Microsoft Visual Studio 2012 на мові C++.

## Результати досліджень

Для отримання залежності максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора від частоти обертання ротора вентилятора  $n$ , яка дозволить робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу теоретичним шляхом використовуємо наступний алгоритм.

Спочатку розглянемо деякі загальні положення для обробки експериментальних даних, які після проведення експерименту отримав дослідник. Ці дані представлені таблицею 1.1.

**Таблиця 1.1 – Дані з деякими залежностями змінних**

$x$	$x_1$	$x_2$	$\dots$	$x_n$
$y$	$y_1$	$y_2$	$\dots$	$y_n$

За таблицею 1.1 можна виявити тенденції залежності змінних, але для подальшого їх використання потрібно мати аналітичні вирази цих залежностей.

Розглянемо формули, які найбільш часто використовуються по рекомендаціям [10].

$$\begin{aligned} 1) y = ax + b; \quad 2) y = a \cdot x^b; \quad 3) y = a \cdot b^x; \quad 4) y = a + \frac{b}{x}; \\ 5) y = \frac{1}{ax + b}; \quad 6) y = \frac{x}{ax + b}; \quad 7) y = a \cdot \ln x + b \end{aligned} \quad (1.1)$$

За тими ж дослідженнями [10] найпростіші необхідні умови для наявності емпіричних залежностей можна отримати з таблиці 1.2.



**Таблиця 1.2 – Найпростіші необхідні умови для отримання емпіричних залежностей**

№	$\bar{x}_s$	$\bar{y}_s$	Вид емпіричної формули	Спосіб вирівнювання
1	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = ax + b$	–
2	$\sqrt{x_1 x_n}$ (середнє геометричне)	$\sqrt{y_1 y_n}$ (середнє геометричне)	$y = ax^b$	$Y = \alpha + bX$ , де $X = \lg x$ , $Y = \lg y$ , $\alpha = \lg a$
3	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\sqrt{y_1 y_n}$ (середнє геометричне)	$y = ab^x$ або $y = ae^{\beta x}$ , де $\beta = \ln b$	$Y = \alpha + \beta x$ , де $Y = \lg y$ , $\alpha = \lg a$ , $\beta = \lg b$
4	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$ (середнє гармонічне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = a + \frac{b}{x}$	$Y = ax + b$ , де $Y = xy$
5	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\frac{2 y_1 y_n}{y_1 + y_n}$ (середнє гармонічне)	$y = \frac{1}{ax + b}$	$Y = ax + b$ , де $Y = \frac{1}{y}$
6	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$ (середнє гармонічне)	$\frac{2 y_1 y_n}{y_1 + y_n}$ (середнє гармонічне)	$y = \frac{x}{ax + b}$	$Y = ax + b$ , де $Y = \frac{x}{y}$
7	$\sqrt{x_1 x_n}$ (середнє геометричне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = a \cdot \ln x + b$	$Y = aX + b$ , де $X = \lg x$

Цей підхід є грубо орієнтованим, оскільки при встановленні емпіричної залежності не враховуються проміжні дані. Якщо значення  $\varphi(x_1, \bar{x}_n) = x_s$  не знаходиться серед даних  $x_i$ , то відповідні їй значення можна визначити шляхом лінійної інтерполяції

$$y_s = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} (x_s - x_i),$$

де  $x_i$  і  $x_{i+1}$  – проміжні значення, між якими міститься  $\bar{x}_s$  ( $x_i < \bar{x}_s < x_{i+1}$ ).

Вибір формули здійснюється за умовою  $|y_s - \bar{y}_s| \rightarrow \min$ . Коефіцієнти отриманої формули визначаємо за методом найменших квадратів.

Залежність максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора  $n$ , наведені в таблиці 1.3.

**Таблиця 1.3 – Залежність максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятор  $n$**

№ п/п	1	2	3	4	5
$n$ , об.хв <sup>-1</sup>	300	400	500	600	700
$V$ , м/с	2,4	2,95	3,81	4,61	5,77

Встановимо емпіричні залежності отриманих експериментальних даних, проаналізуємо їх.

Для встановлення емпіричної залежності будемо використовувати розрахункову таблицю 1.4.

**Таблиця 1.4 – Розрахункова таблиця необхідних умов для отримання емпіричних залежностей**

№	$\bar{x}_s$	$\bar{y}_s$	$y_s$	$ y_s - \bar{y}_s $	Вид формули
1	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,81	0,28	$y = ax + b$ – мало підходить
2	$\sqrt{x_1 x_n} = 458,26$	$\sqrt{y_1 y_n} = 3,72$	3,45	0,27	$y = ax^b$ мало підходить
3	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\sqrt{y_1 y_n} = 3,72$	3,81	0,09	$y = ab^x$ – підходить краще інших формул
4	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = 420$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,17	0,92	$y = a + \frac{b}{x}$ – не підходить
5	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\frac{2 y_1 y_n}{y_1 + y_n} = 3,39$	3,81	0,42	$y = \frac{1}{ax + b}$ – не підходить
6	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = 420$	$\frac{2 y_1 y_n}{y_1 + y_n} = 3,39$	3,12	0,27	$y = \frac{x}{ax + b}$ – мало підходить
7	$\sqrt{x_1 x_n} = 458,26$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,48	0,61	$y = a \cdot \ln x + b$ – не підходить

Отже, емпіричною формулою залежності коефіцієнта максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора  $n \in y = a \cdot b^x$ . Коефіцієнти  $a$  і  $b$  отримуємо за методом найменших квадратів.

$$y = a \cdot b^x ; \ln y = \ln(a \cdot b^x) ; \ln y = \ln a + x \ln b . \quad (1.2)$$

Позначаючи  $Y = \ln y$ ,  $B = \ln b$ ;  $X = x$ ;  $A = \ln a$  матимемо рівняння

$$Y = A + BX.$$

Потрібно мінімізувати отриману функцію

$$S(A, B) = \sum_i (Y_i - A - BX_i)^2 \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

Для цього потрібно розв'язати систему

$$\begin{cases} A \sum_i 1 + B \sum_i X_i = \sum_i Y_i \\ \sum_i X_i + \sum_i X_i^2 = \sum_i X_i Y_i \end{cases} \quad (1.4)$$

Складемо розрахункову таблицю 1.5

**Таблиця 1.5 – Розрахункова таблиця**

	№	$X_i = x_i$	$Y_i = \ln y_i$	$X_i^2$	$X_i Y_i$
	1	300	0,875	90000	262,5
	1	400	1,082	160000	432,8
	1	500	1,338	250000	669,0
	1	600	1,528	360000	916,8
	1	700	1,753	490000	1227,1
$\Sigma$	5	2500	6,576	1350000	3508,2

Тепер з системи (1.4) після підстановки даних з таблиці 1.5, матимемо:

$$\begin{cases} 5A + 2500B = 6,576; \\ 2500A + 1350000B = 3508,2. \end{cases} \quad (1.5)$$

Отримали коефіцієнти  $A = 0,2142$ ,  $B = 0,002202$ .

Тоді формула матиме вигляд:

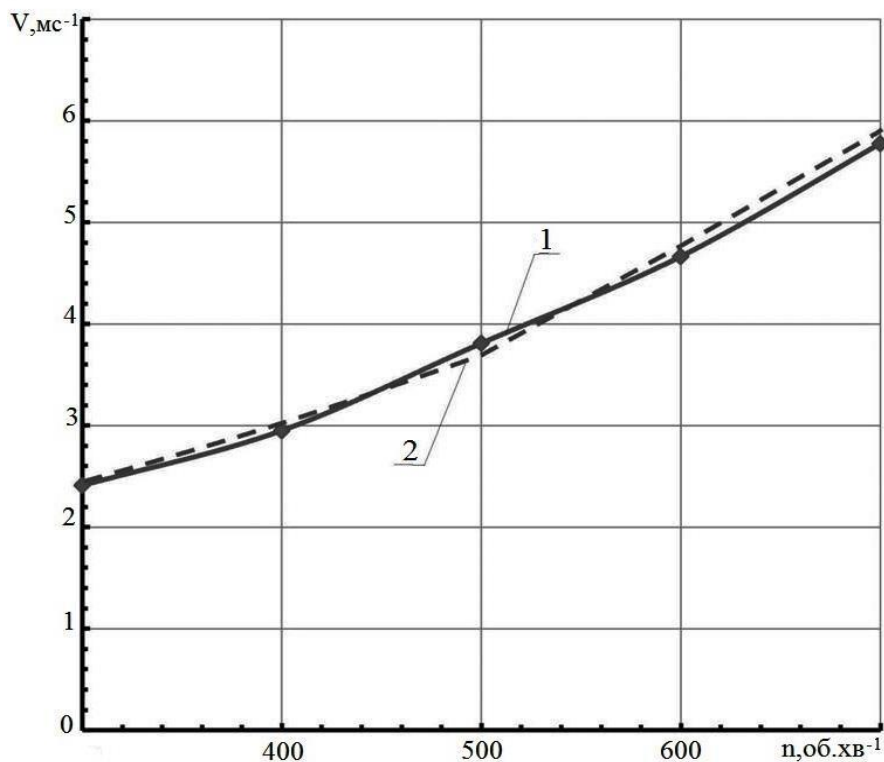
$$V = e^{0,2142 + 0,002202 \cdot n}. \quad (1.6)$$

Для порівняння зробимо розрахунки за отриманою формулою (1.6), результати яких приведені у таблиці 1.6

**Таблиця 1.6 – Результати розрахунків для визначення залежності максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора  $n$**

$n$	300	400	500	600	700
$V_{\text{експ.}}$	2,4	2,95	3,81	4,61	5,77
$V_{\text{розн.}}$	2,4	2,98	3,73	4,64	5,79
$\delta, \%$	0	3	8	3	2

На підставі результатів розрахунків (таблиця 1.6) представлені графічні залежності (рис. 1.1) максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора  $n$ , отримані експериментально та теоретичним шляхом.



1 – отримано експериментально, 2 – отримано теоретично.

Рис. 1.1. Залежності максимальної швидкості повітряного потоку  $V$  в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора  $n$

## **Висновок.**

Підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур можливо за рахунок теоретичного обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику. Новизна полягає в тому, що вперше отримані залежності максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері ПРС від частоти обертання ротора вентилятора на підставі теоретичного та експериментального аналізів. Ці залежності дозволяють робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу.

## **2 МЕТОДИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНА**

### **Актуальність досліджень**

Одним з головних умов підвищення рівня сільськогосподарського виробництва є підвищення ефективності використання техніки для післязбиральної обробки врожаю на базі застосування сучасних методів і засобів інтенсифікації відповідних технологічних процесів.

Широке запровадження техніки псевдозрідження в промислову практику зумовлено рядом позитивних факторів. Тверді частинки в псевдозрідженому стані внаслідок текучості можна переміщувати по трубам, що дозволяє багато періодичних процесів здійснювати безперервно. Особливо вигідне використання псевдозріджуючого шару для процесів, швидкість котрих визначається термічним або дифузійним опорами в газовій фазі. Ці опори в умовах псевдозрідження зменшуються в десятки, а інколи в сотні разів, а швидкість процесів відповідно зростає.

Сутність псевдозрідження полягає в тому, що під час продування повітря або рідини з певною швидкістю через шар зернистого матеріалу, що розташований на решітці, він переходить у завислий стан, набуває властивості текучості і переміщується по решітці. Зовні такий шар нагадує киплячу рідину.

Велика поверхня частинок в одиниці об'єму псевдозрідженого шару та інтенсивне їх перемішування забезпечують сприятливі умови для виконання цілого ряду важливих технологічних процесів, а саме сепарація, сушіння, обпалювання, каталіз та інші. Тому апарати із псевдозрідженим (киплячим) шаром широко впроваджуються в промисловості, що сприяє підвищенню ефективності роботи пневморешітних сепараторів (ПРС) зерна і є актуальним.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності процесу попередньої очистки зерна шляхом обґрунтування параметрів та режимів роботи пневморешітного сепаратора зі замкненою пневмосистемою.

**Об'єкт дослідження** – методичне обґрунтування технологічного процесу пневморешітного сепаратора зерна.

### **Програма експериментальних досліджень**

У відповідності до проведеного огляду попередніх досліджень, на основі проведених теоретичних досліджень, запропоновано наступну програму експериментальних досліджень.

Обґрунтувати області раціональних значень основних параметрів та режимів роботи повітророзподільної камери машини попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою.

Визначити вплив основних конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів повітророзподільного каналу на кількісні і якісні показники роботи ПРС:

- питому продуктивність, кг/с;
- втрати повноцінного зерна у відходи, %;
- повноту виділення сміттєвих домішок, %.

Визначити область раціональних значень основних параметрів і режимів роботи повітророзподільного каналу:

- режиму подачі повітряного потоку (кут нахилу середньої рухомої стінки повітророзподільного каналу, частота обертання ротора діаметрального вентилятора);
- величини аерованої площі лотка-інтенсифікатора (кут нахилу задньої рухомої стінки повітророзподільного каналу);
- режиму подач зернового вороху.

Визначити вплив засміченості зернового вороху на кількісні і якісні параметри робочого процесу очищення зерна.



## Методика досліджень

### Експериментальна установка

Лабораторна установка (Рис. 2.1) [11] містить встановлений під кутом  $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$  до горизонтальної площини діаметральний вентилятор 2, до вихідної горловини якого приєднано повітродоздавальний канал 3, який у верхній частині перекрито лотком-інтенсифікатором 8.

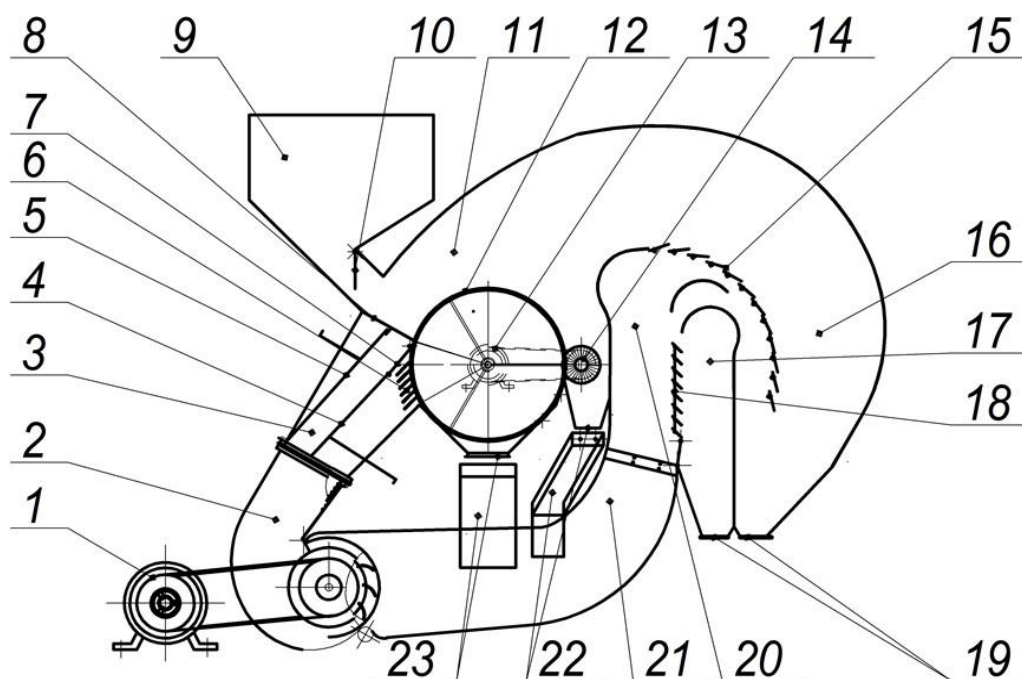


Рис. 2.1 – Схема технологічна лабораторної установки

1 – електродвигун постійного струму; 2 – вентилятор діаметральний; 3 – повітродоздавальний канал; 4 – стінка середня рухома; 5 – станка задня рухома; 6 – блок жалюзі повітродозподільника; 7 – стінка середня нерухома; 8 – лоток-інтенсифікатор; 9 – завантажувальний бункер; 10 – заслінка завантажувального бункера; 11 – пневмосепаруюча камера; 12 – решето циліндричне; 13 – мотор-редуктор; 14 – очисник щітковий; 15 – жалюзі I ступеня осадової камери; 16 – I ступень осадової камери; 17 – II ступень осадової камери; 18 – жалюзі поверхні II ступеню осадової камери; 19 – клапани виводів легких домішок I і II ступеню осадової камери; 20 – горловина всмоктуючого каналу; 21 – всмоктуючий канал вентилятора; 22 – клапан виводу та лоток сходу крупних домішок; 23 – клапан виводу та лоток

сходу очищеного зернового матеріалу.

Середня стінка має нерухому частину 7 та рухому 4, що дозволяє розділити повітряний потік між лотком-інтенсифікатором 8 та блоком жалюзі повітророзподільника 6. Стінка задня рухома 5 з'єднана шарнірно із задньою стінкою. Лоток-інтенсифікатор 8 має перфоровану поверхню, а блок жалюзі повітророзподільника 6 має можливість змінювати живий перетин та кут нахилу жалюзі. Для очищення зовнішньої поверхні циліндричного решета 12 встановлена очисна щітка 14 з горизонтальною віссю обертання. Простір зверху циліндричного решета 12 та очисної щітки 14, обмежений обичайкою 15, створює пневмосепаруючу камеру 11. Знизу циліндричного решета 12 та очисної щітки 14 встановлено клапан виводу фракції очищеного зерна 23 та клапан виводу крупних домішок 22. Продовження пневмосепаруючої камери 11 повільно переходить у двоступеневу осадову камеру 16 і 17, які відділяються жалюзі 15, 18. В верхній частині осадової камери встановлено горловину 20 зворотного всмоктуючого каналу 21, з'єданого з діаметральним вентилятором 2.



Рис 2.2 – Загальний вигляд лабораторної установки

Робочий процес здійснюється наступним чином.

Повітряний потік, створений діаметральним вентилятором 2, направляється до повітряроздавального каналу 3, де перерозподіляється до блоку жалюзі повітророзподільника 6 та циліндричного решета 12, або до лотка-інтенсифікатора 8 середньою рухомою 4 і нерухомою 7 стінками. Стінку задню рухому 3 з'єднано шарнірно з задньою стінкою в зоні з'єднання останньої з діаметральним вентилятором 2. Стінка задня рухома 5 змінює своє положення та дає змогу змінювати робочу довжину лотка інтенсифікатора 8 тим самим змінюючи площу його аерації, що дає змогу регулювати процес псевдозрідження. Зерновий ворох, що надійшов до лотка-інтенсифікатора 8, під дією повітряного потоку переводиться у псевдозріджений стан, за рахунок чого пил, солома, збоїна та деякі великі домішки, що мають значно більшу площу опору ніж повноцінне зерно, а також легкі і повітровідокремлюючі домішки переміщуються у верхній шар, а повноцінне зерно і дрібні важкі домішки – в нижній. Великі домішки відокремлюються решетою 12, поверхня якого очищується щіткою 14. Зерно та дрібні важкі домішки просипаються крізь решето і виводяться із машини через клапан 23. Крупні домішки (солома, недомолочений колос, та інші) за рахунок обертання циліндричного решета переміщуються в зону щіткового очисника 14 і через клапан 22 виводяться з машини. Повітряний потік проходить крізь блок жалюзі повітророзподільника 6 та циліндричне решето 12, підхоплює легкі і повітрявідокремлюючі домішки, переміщуючи їх до пневмосепаруючої камери 11, а далі – у двоступеневу осадову камеру 16, 18. Повітрявідокремлюючі домішки осаджуються в осадовій камері 16, 18 та виводяться з неї пристроєм виводу легких домішок 19. За рахунок зменшення робочого тиску повітряного потоку у осадовій камері 16, 18, повітряний потік має умови перетворюватися на зворотній і надходить в зону горловини 20 всмоктуючого каналу 21, направляючи його до діаметрального вентилятора 2.

## Прилади та обладнання

Перелік приборів та обладнання для проведення експериментальних досліджень представлено таблицею 2.1.

Таблиця 2.1.

Перелік приборів та обладнання для проведення експериментальних досліджень

№ з.п	Найменування приладу	Тип та марка	Операція
1	термометр метеорологічний	ТМ-1-1	Визначення температури зовнішнього середовища
2	мікроманометр	ММН-240	Визначення параметрів повітряного потоку
3	трубка Піто-Прандтля	-	
4	тахометр часовий	СК тип 751	Визначення частоти обертання
5	секундомір	С-1-2а	визначення часу проведення досліджу
6	решета (сита) лабораторні металеві пробивні	СЛ-200	Якісний аналіз зерна, розмірна характеристика зерна розділення вороху на фракції у відповідності до ГОСТ 12037-81, ДСТУ 2240-93
7	ваги платформенні електронно-тензометричні	6ВП1	визначення маси проби
8	ваги лабораторні	ВЛТК-500	визначення маси складових проби очищеного вороху.
9	пурка літрова	ПХ-1	визначення природи у відповідності до ДСТУ 4233-2003, (ISO 7971:1986, MOD)
10	вимірювач вологи зерна	АКВА-15	визначення вологості зерна
11	лінійка креслярська дерев'яна	-	Якісний аналіз зерна
12	совки лабораторні	-	Якісний аналіз зерна
13	Шпателі будівельні	-	Якісний аналіз зерна
14	Фотоапарат	-	фіксування процесу проведення
15	відомості аналізу зернового матеріалу		експериментальних досліджень

## Методика підготовки штучно виготовленої зернової суміші

Для проведення однофакторного і багатofакторного експериментальних досліджень повітророзподільної камери в лабораторних умовах використовувалась штучно виготовлена зернова суміш сорту "Шестопалівка" вологістю 13...14 % і загальною засміченістю 10 %.

Засміченість, його середнє значення в 10 %, прийнято на основі попередніх досліджень [15, 16], а також широкомасштабних досліджень в умовах півдня України [17].

Склад сторонніх домішок штучно виготовленої зернової суміші представлено таблицею 2.2

Перед початком проведення експериментальних досліджень, штучно виготовлену зернову суміш ретельно перемішували.

Таблиця 2.2

Склад зернових і сторонніх домішок штучно виготовленої зернової суміші

Склад зернової суміші	Матеріал	Довжина домішки, l, мм	Ширина домішки, b, мм	Маса, гр.
1	2	3	4	5
Зерно повноцінне	Зерно пшениці	–	–	900
Подрібнене зерно (впоперек)	Зерно пшениці	–	–	200
Подрібнене зерно(вздовж)	Зерно пшениці	–	–	200
Крупні домішки	Солома	50	–	100
Крупні домішки	Солома	–	20...25	100
Легкі домішки	Полова	–	–	100
Легкі домішки	Солома	1	–	100
Легкі домішки	Солома	2	–	100
Легкі домішки	Солома	10	–	50
Легкі домішки	Солома	20	–	50

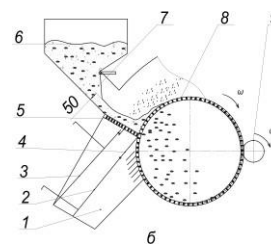
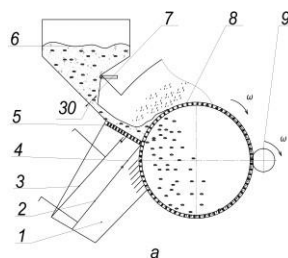
#### 2.5.4. Методика встановлення параметрів та режимів роботи ПРС

Перед початком проведення експериментальних досліджень встановлювали певну закономірність підготовки [12, 13, 14], яка полягала в наступному:

- проведення обкатки лабораторно-польової установки в холостому та робочому режимах з контролем стабільності встановлених параметрів;
- проведення налагодження і регулювання робочих органів і допоміжних приладів;
- підготовка до роботи вимірювального обладнання;
- вибір часу на проведення дослідів та відпрацювання методики досліджень;
- визначення часу на встановлення стаціонарності технологічного процесу;
- визначення діапазону досліджуваних факторів;
- підготовка штучно виготовленої зернової суміші.

Методика проведення дослідження параметрів і режимів роботи живлячої складової повітророзподільної камери полягає в наступному:

- встановлюємо величину  $b_i$ ; дослідний ряд робочої щілини заслінки бункеру  $b_i = 30, 50, 70, 90, 110$  мм (Рис. 2.3);
- встановлюємо кут нахилу середньої рухомої стінки 2; дослідний ряд кута нахилу середньої рухомої стінки  $\gamma = 16^\circ; 8^\circ; 0^\circ; -8^\circ; -16^\circ$ ; (Рис. 2.4).



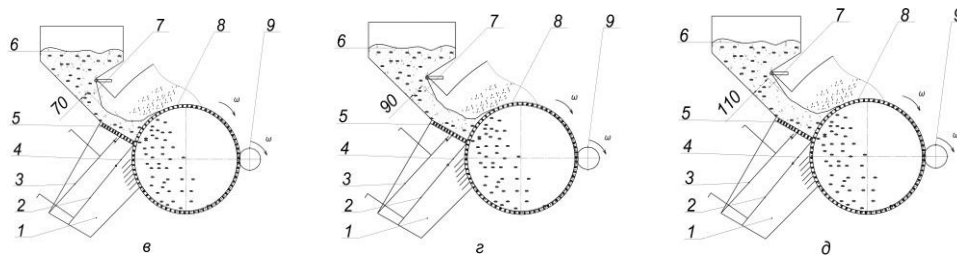


Рис. 2.3 – Встановлення робочої щілини заслінки бункера

1 – повітророзподільна камера; 2 – середня рухома стінка; 3 – задня рухома стінка; 4 – середня нерухома стінка; 5 – лоток-інтенсифікатор; 6 – бункер; 7 – заслінка; 8 – циліндричне решето; 9 – очисна щітка;

а, б, в, г, д – положення заслінки при встановленні робочої щілини відповідно  $b_i = 30, 50, 70, 90, 110$  мм.

– встановлюємо кут нахилу задньої рухомої стінки  $\beta$  (рис. 2.5) повітророзподільної камери; дослідний ряд кута нахилу задньої рухомої стінки  $\beta_a = 0^\circ, \beta_b = 3,5^\circ, \beta_v = 7,5^\circ, \beta_r = 11,3^\circ; \beta_d = 15,2^\circ; \beta_e = 18,5^\circ; \beta_{\text{ж}} = 20,5^\circ$ .

Таблиця 2.3

Відношення довжини лотка-інтенсифікатора та його площі до кута нахилу стінки задньої рухомої

$\beta$ , град.	$0^\circ$	$3,5^\circ$	$7,5^\circ$	$11,3^\circ$	$15,2^\circ$	$18,5^\circ$	$20,5^\circ$
<b>L, м</b>	0,24	0,2	0,16	0,12	0,08	0,04	0
<b>S, м<sup>2</sup></b>	5,35	4,46	3,57	2,68	1,78	8,92	0

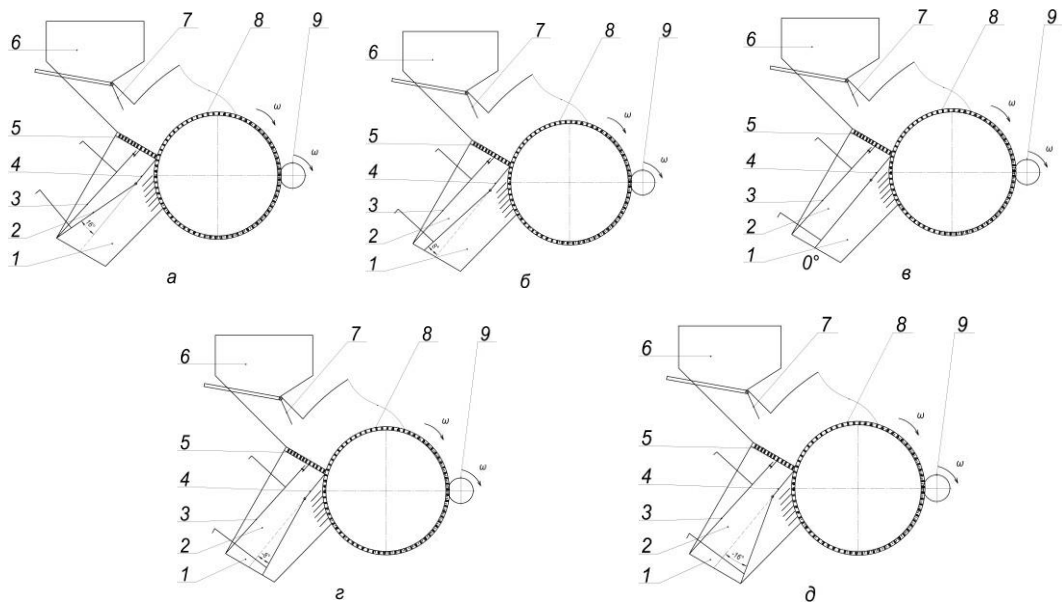


Рис. 2.4 – Встановлення кута нахилу середньої рухомої стінки

1 – повітророзподільна камера; 2 – середня рухома стінка; 3 – задня рухома стінка; 4 – середня нерухома стінка; 5 – лоток-інтенсифікатор; 6 – бункер; 7 – заслінка; 8 – циліндричне решето; 9 – очисна щітка;

а , б, в, г, д – положення рухомої стінки при  $\gamma$  відповідно  $\gamma_a = 16^\circ$ ;  $\gamma_b = 8^\circ$ ;  $\gamma_v = 0^\circ$ ;  $\gamma_r = -8^\circ$ ;  $\gamma_d = -16^\circ$ .

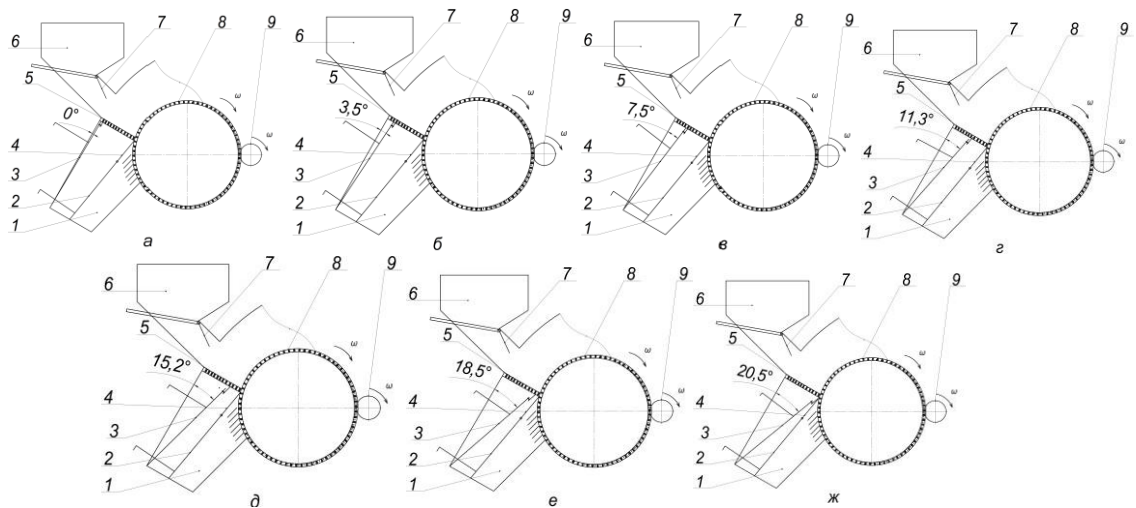


Рис. 2.5 – Встановлення кута нахилу задньої рухомої стінки:

1 – повітророзподільна камера; 2 – середня рухома стінка; 3 – задня рухома стінка; 4 – середня нерухома стінка; 5 – лоток-інтенсифікатор; 6 – бункер; 7 – заслінка; 8 – циліндричне решето; 9 – очисна щітка;



а, б, в, г, д, - схема положення рухомої задньої стінки при  $\beta$  відповідно  $\beta_a = 0^\circ$ ,  $\beta_b = 3,5^\circ$ ,  $\beta_v = 7,5^\circ$ ,  $\beta_r = 11,3^\circ$ ;  $\beta_d = 15,2^\circ$ ;  $\beta_e = 18,5^\circ$ .  $\beta_{ж} = 20,5^\circ$ .

– змінюємо частоту обертання діаметрального вентилятора  $n$  шляхом зміни частоти обертання електродвигуна  $n_e$ .

### Методика проведення багатофакторного експерименту

Рівні варіювання факторів та матрицю планування експерименту представлено в таблицях 2.3, 2.4.

Таблиця 2.4

Фактори та рівні їх варіювання

Позначення факторів	Найменування факторів	Одиниці вимірювання	Рівні варіювання факторів	
			нижній	верхній
$X_1$	частота обертання ротору вентилятору	об/хв <sup>-1</sup>	9000	1100
$X_2$	аерована площа лотка-інтенсифікатора	мм <sup>2</sup>	0	53520
$X_3$	кут нахилу середньої рухомої стінки повітрярозподільного пристрою	град.	16,32°	18,15°

Таблиця 2.5

Матриця планування експерименту

Дослід	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_1X_2X_3$	$X_2X_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Після встановлення раціональної аерованої площі лотка-інтенсифікатора ( $X_2$ ), кута нахилу середньої рухомої стінки ( $X_3$ ) зміною частоти обертання вентилятора ( $X_1$ ) фіксуємо перехід зернового вороху над лотком інтенсифікатором у псевдозріджений стан.

Оцінювання переходу зернового вороху над лотком інтенсифікатором у псевдозріджений стан здійснюється на початковому етапі на основі збільшення швидкості повітряного потоку до деякого критичного значення  $V_{кр}$ , де частки переміщуються інтенсивніше, щільність зменшується, шпаруватість і висота шару продовжують зростати при практично постійному гідравлічному опорі.

Збільшення шару зернового вороху по висоті на 5...7 см, або переміщення його компонентів є основою фіксації режиму псевдозрідження і в цьому стані здійснюємо заміри значень:

- частоти обертання вентилятора ( $X_1$ );
- аерована площа лотка-інтенсифікатора ( $X_2$ );
- кут нахилу середньої рухомої стінки повітрярозподільного пристрою ( $X_3$ ).

Точки замірювання параметрів повітряного потоку розміщувались у відповідності до [18, 19].

Отримані значення заносимо в відомості проведення експерименту.

Подальше збільшення швидкості повітряного потоку призводить до створення іншої швидкості – швидкості виносу частинок  $V_v$  [20]. Це критичне значення відповідає початку масового винесення складових зернового вороху і руйнуванню псевдозрідженого шару. Але стосовно зернового вороху, у зв'язку з особливостями його складу, можлива дія швидкості виносу для легких повітровідокремлюємих домішок вже під час дії швидкості псевдозрідження.

## Критерії оцінки ефективності робочого процесу пневморешітного сепаратора

Якість роботи машини попередньої очистки і їх робочих органів определяють наступними показниками:

- повнота виділення сміттєвих домішок;
- втрати повноцінного насіння.

У процесі попередньо виконаних досліджень подрібнення насіння не відзначалося, а частинки шириною більш 20 мм виділялися повністю. В зв'язку з цим, якісну оцінку ефективності робочого процесу ПРС проводили по наступним критеріям:

1. Повнота виділення сміттєвих домішок  $Z$ , %:

$$\text{—} \quad (2.1)$$

де  $=$  – кількість виділення сміттєвих домішок, %;

– вміст сміттєвих домішок у початковому та очищеному насіннєвому матеріалі, %.

2. Втрати повноцінного насіння у відходи  $B_{\text{пн}}$ , %:

$$\text{—} \% \quad (2.2)$$

де  $=$  – маса насіння основної культури у відходах, кг;

– маса насіння основної культури у відходах з крупними домішками та з легкими домішками, кг;

$M$  – маса насіння основної культури у початковому матеріалі, кг.

Визначення економічної ефективності показників досліджуваного процесу проводили по наступним показникам:

1. Питома продуктивність робочого органу  $q$ , т.год<sup>-1</sup> дм:

$$\text{—} \quad (2.3)$$

де  $=$  – продуктивність ПРС;

– маса матеріалу обробленого за дослід, кг;

час взяття проби, с;

ширина решета, дм.

2. Питома витрата енергії, кВт·год·т<sup>-1</sup>:

(2.4)

де витрата повітря, м<sup>3</sup>/с;

повний тиск повітря у повітропідвідному каналі, Па;

продуктивність установки, т/год.

Вище перелічені критерії дозволять провести порівняльну оцінку експериментального ПРС з існуючими аналогами за агротехнологічними вимогами та по показникам економічної ефективності технічних засобів.

### **Висновки.**

1. Визначено мета, об'єкт, програма та розроблено методичне обґрунтування експериментальних досліджень ПРС, які дозволяють організувати та провести експериментальні дослідження технічного засобу.

2. Визначені головні фактори та їх рівні варіювання, це:

– частоти обертання вентилятора, 9000 – 1100, об/хв<sup>-1</sup> ;

– аерована площа лотка-інтенсифікатора, 0–53520, мм<sup>2</sup>;

– кут нахилу середньої рухомої стінки повітрярозподільного пристрою 16,32°–18,15°, град.

Варіювання переліченими факторами дозволяє здійснювати перехід вихідного матеріалу у псевдозріджений стан і майже в 2 рази збільшити продуктивність ПРС.

3. Розроблено приватна методика підготовки штучно виготовленої зернової суміші, дозволяюча моделювати реальні умови використання вихідного матеріалу.

Розроблено приватна методика встановлення параметрів та режимів роботи експериментального ПРС, дозволяюча за обраними факторами і

критеріями оцінювання провести однофакторні та багатофакторні експерименти.

4. Визначені критерії оцінки ефективності робочого процесу ПРС:

- втрати повноцінного зерна у відходи, %;
- повнота виділення легких домішок, %;
- питома продуктивність, кг/с;
- питома витрати енергії, кВт · год · т<sup>-1</sup>.

Вище перелічені критерії дозволять провести порівняльну оцінку експериментального ПРС з існуючими аналогами за агротехнологічними вимогами та по показникам економічної ефективності технічних засобів.

### **3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРУ ОБЧІСАНОВОГО ВОРОХУ ПШЕНИЦІ**

#### **Актуальність теми дослідження.**

Як відомо на сьогоднішній день основною технологією збирання є комбайнова технологія. Але ця технологія має ряд недоліків [21]:

- недостатня продуктивність при збиранні вологої хлібної маси;
- залежність якісних показників збирання від погодних умов;
- суттєві втрати зерна, полови і соломи;
- ущільнення ґрунту внаслідок дії ходової частини комбайнів;
- існуючі комбайни – це складні, матеріалоємні та енерговитратні

машини, і все це підвищує собівартість кінцевого продукту, хліба.

Уникнути цих недоліків можна при умові застосування стаціонарної технології збирання зернових методом обчісування рослин на корені [22, 23].

Технологічними засобами реалізації цієї технології є причіпна збиральна машина обчісуючого типу, причіп візок 2 ПТС-4.0, який чіпляється до збиральної машини та стаціонарний агрегат для доробки обчісаного вороху [24].

Причіпна збиральна машина складається з обчісуючого пристрою, шнекового транспортеру, пневматичного транспортеру та ходової частини [25, 26]. Конструктивні, технологічні та кінематичні параметри обчісуючого пристрою достатньо обґрунтовані в [27], конструктивні параметри в роботі [28].

Але ж параметри пневмотранспортеру обґрунтовані не в достатній мірі. Тому виникає проблема обґрунтування пневмотранспортеру.

#### **Мета дослідження.**

Побудувати математичну модель руху та отримати аналітичний вираз для визначення руху часточки обчісаного вороху.

#### **Об'єкт досліджень.**

Технологічний процес транспортування обчісаного вороху у повітряному потоці.

### Програма досліджень.

Провести аналітичні дослідження руху часточки обчісаного вороху у повітряному потоці.

### Результати досліджень.

#### Побудування математичної моделі руху часточки обчісаного вороху у повітряному потоці.

Розглянемо часточку обчісаного вороху зернових, яка рухається від рухомого криволінійного козирка пневмотранспортеру до причепа-возика (рис. 3.1).

Для спрощення побудови математичної моделі зробимо наступні припущення:

- швидкість повітряного потоку стала;
- повітряний потік спрямований прямолінійно.

Ці припущення дають можливість не враховувати переносну та коріолісову сили інерції.

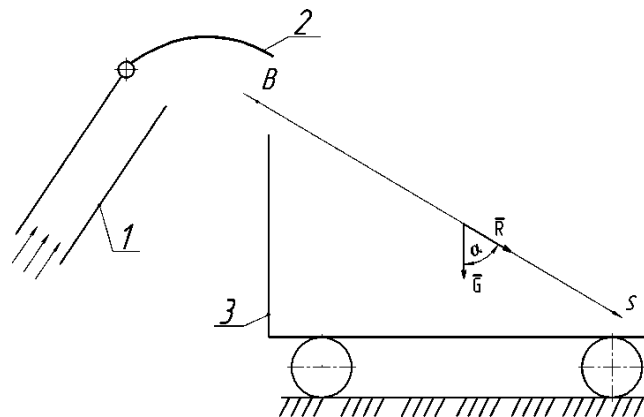


Рис. 3.1. Схема сил діючих на часточку обчісаного вороху: 1 – матеріалопровод пневмотранспортеру; 2 – рухомий козирок; 3 – причеп-возик для збирання обчісаного вороху.

Таким чином внаслідок цих міркувань ми можемо записати рівняння відносного руху часточки у вигляді [29]

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad (3.1)$$

де  $\bar{a}$  – відносне прискорення часточки, ;

$\sum \bar{F}_i$  – геометрична сума прикладених до часточки сил, Н;  
– маса часточки, кг.

Спроекуємо векторне рівняння (3.1) на вісь S

$$m \bar{a} = \sum F_i \cos \alpha_i \quad (3.2)$$

де  $u$  – швидкість часточки, тобто відносна швидкість, ;

$\sum F_i \cos \alpha_i$  – сума проєкцій на вісь S сил діючих на часточку, Н.

В свою чергу сума проєкцій сил, діючих на часточку дорівнює:

$$\sum_{i=1}^n F_k = R + G \cos \alpha, \quad (3.3)$$

де  $\alpha$  – кут між віссю S і вектором сили тяжіння частинки (визначається експериментально);

R – сила дії повітряного потоку, Н;

G – сила тяжіння, Н.

Підставимо вираз (3.3) в рівняння (3.1)

$$m \frac{du}{dt} = R + G \cos \alpha \quad (3.4)$$

Сила дії повітряного потоку визначається за формулою Ньютона [10]:

$$R = k \rho_{\text{п}} F (V_{\text{п}} - u)^2, \quad (3.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря;

$\rho_{\text{п}}$  – густина повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

F – площа проєкції тіла на площину перпендикулярну до напрямку дії повітряного потоку (міделів переріз), ;

$V_{\text{п}}$  – швидкість повітряного потоку, м/с.

Сила тяжіння визначається за формулою [29]:



$$G = mg, \quad (3.6)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\frac{M}{c^2}$

Підставляємо формули (3.5) і (3.6) в диференціальне рівняння (3.4),

маємо:

$$m \frac{du}{dt} = k \rho_{\Pi} F (V_{\Pi} - u)^2 + mg \cos \alpha. \quad (3.7)$$

Розділимо ліву і праву частини рівняння (3.7) на  $m$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F (V_{\Pi} - u)^2 + g \cos \alpha. \quad (3.8)$$

Зробимо алгебраїчні перетворення (3.8).

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F (V_{\Pi}^2 - 2uV_{\Pi} + u^2) + g \cos \alpha. \quad (3.9)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F \left[ (V_{\Pi}^2 - 2uV_{\Pi} + u^2) + \frac{g m \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F} \right]. \quad (3.10)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F \left[ V_{\Pi}^2 - 2uV_{\Pi} + u^2 + \frac{g m \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F} \right]. \quad (3.11)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F \left[ \left( V_{\Pi} + \frac{g m \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F} \right)^2 - \left( u - 2uV_{\Pi} \right) \right]. \quad (3.12)$$

Введемо позначення

$$a = \frac{k}{m} \rho_{\Pi} F, \quad (3.13)$$

$$b = V^2 + \frac{g m \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F} \quad (3.14)$$

Підставивши вирази (3.13) і (3.14) в рівняння (3.12) матимемо:

$$\frac{du}{dt} = a \left[ b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] \quad (3.15)$$

Розділимо ліву і праву частини рівняння (3.15) на  $b + (u^2 - 2uV_{\Pi})$ :

$$\frac{du}{\left[ b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] dt} = a \quad (3.16)$$

Помножимо і одночасно поділимо ліву частину виразу (3.16) на  $dS$

$$\frac{du \cdot dS}{\left[ b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] dt \cdot dS} = a \quad (3.17)$$

В свою чергу  $u = \frac{dS}{dt}$  і тоді з урахуванням даної формули, вираз (3.17)

прийме вигляд:

$$\frac{u du}{\left[ b + (u^2 - 2uV_{\Pi}) \right] \cdot dS} = a \quad (3.18)$$

Щоб відокремити змінні помножимо ліву і праву частини рівняння на  $dS$ .

$$\frac{u du}{b + (u^2 - 2uV_{\Pi})} = a dS \quad (3.19)$$

Для збереження розмірностей в отриманому диференціальному рівнянні з відокремленими змінними (3.19) необхідно знати межі визначених інтегралів, які знаходяться з початкових умов. У нашому випадку початкові

умови мають наступний вигляд: при  $t = 0$ ,  $\begin{cases} u = u_0 = u_b, \\ S = S_0 = 0, \end{cases}$  де  $u$  – швидкість в

частинки в точці вильоту з пневмотранспортеру.

Візьмемо визначений інтеграл від лівої частини рівняння (3.19)

$$\int_{u_b}^u \frac{u^2 - 2uV_{\pi} + b}{2} du = \frac{1}{2} \int_{u_b}^u (2u^2 - 2uV_{\pi} + 2b) du = \frac{1}{2} \int_{u_b}^u (2u - 2V_{\pi}) du + \int_{u_b}^u (u^2 - 2uV_{\pi} + b - V_{\pi}^2 + V_{\pi}^2) du =$$

$$= \frac{1}{2} \ln|u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + V_{\pi} \int_{u_b}^u \frac{du}{(u - V_{\pi})^2 + b - V_{\pi}^2} = \frac{1}{2} \ln|u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u +$$

$$+ V_{\pi} \int_{u_b}^u \frac{du}{(u - V_{\pi})^2 + (\sqrt{b - V_{\pi}^2})^2} = \frac{1}{2} \ln|u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \Big|_{u_b}^u$$

Взявши інтеграл від правої частини, матимемо:

$$\frac{1}{2} \ln|u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \Big|_{u_b}^u = aS \Big|_0^S \quad (3.20)$$

Підставивши в рівняння 19; межі інтегрування матимемо:

$$\frac{1}{2} \ln|u^2 - 2uV_{\pi} + b| \Big|_{u_b}^u - \frac{1}{2} \ln|u_b^2 - 2u_b V_{\pi} + b| + \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} -$$

$$- \frac{V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_b - V_{\pi}}{\sqrt{b - V_{\pi}^2}} = aS$$

Підставимо в рівняння (3.20) позначення (3.13) і (3.14), в результаті отримаємо математичну модель:

$$\frac{1}{2} \ln \left| u^2 - 2uV_{\pi} + V_{\pi}^2 + \frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F} \right| - \frac{1}{2} \ln \left| u_b^2 - 2u_b V_{\pi} + V_{\pi}^2 + \frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F} \right| +$$

$$+ \frac{V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F}}} - \frac{V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_b - V_{\pi}}{\sqrt{\frac{gmc\cos\alpha}{k\rho_n \cdot F}}} = \frac{k}{m^n} \rho F \cdot S \quad (3.21)$$

## Визначення швидкості руху часточки обчисаного вороху

Швидкість руху часточки можна визначити з математичної моделі:

$$\frac{1}{2} \ln \left| u^2 - 2uV_{\Pi} + V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| - \frac{1}{2} \ln \left| u_B^2 - 2u_B V_{\Pi} + V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F} \right| + \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u - V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} - \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_B - V_{\Pi}}{\sqrt{\frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}}} = \frac{k}{m} \rho_n F \cdot S, \quad (3.22)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря;

$\rho_n$  – щільність повітря,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ;

$F$  – площа проекції тіла на площину, перпендикулярну до напрямку дії повітряного потоку (міделевий переріз тіла),  $\text{м}^2$ ;

$V_{\Pi}$  – швидкість повітряного потоку,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$u_B$  – швидкість частинки в точці вильоту з пневмотранспортеру,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\alpha$  – кут між віссю  $S$  і вектором сили тяжіння частинки (визначається експериментально);

$S$  – довжина шляху який проходить часточка,  $\text{м}$ .

Для спрощення загального вигляду математичної моделі (3.22) введемо позначення:

$$a = \frac{k}{m} \rho_n F, \quad (3.23)$$

$$b = V_{\Pi}^2 + \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_n \cdot F}.$$

Помножимо ліву та праву частину виразу (3.22) на 2 та одночасно підставимо позначення (3.23), в результаті отримаємо вираз:

|            |            |            |

$$+ \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{u_{\text{B}}-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} = 2aS$$

Потім використовуючи властивості логарифмів можемо записати вираз (3.24) у вигляді [31]:

$$\ln \left| \frac{u^2 - 2uV_{\Pi} + b}{u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b} \right| = 2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \left( \operatorname{arctg} \frac{u-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} - \operatorname{arctg} \frac{u_{\text{B}}-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \right). \quad (3.25)$$

Пропотенціюємо вираз (3.25)

$$\frac{u^2 - 2uV_{\Pi} + b}{u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b} = e^{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \left( \operatorname{arctg} \frac{u-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} - \operatorname{arctg} \frac{u_{\text{B}}-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \right)}. \quad (3.26)$$

Помножимо обидві частини рівняння (3.26) на вираз  $(u^2 - 2uV_{\Pi} + b)$ , тоді:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = (u_{\text{B}}^2 - 2u_{\text{B}}V_{\Pi} + b) e^{\frac{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \left( \operatorname{arctg} \frac{u-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} - \operatorname{arctg} \frac{u_{\text{B}}-V_{\Pi}}{\sqrt{b-V_{\Pi}^2}} \right)}{1}}}. \quad (3.27)$$

Оскільки змінні  $u$  і  $V_{\Pi}$  входять до різних функцій, то виразити їх одне через друге явно, неможливо.

Для того, щоб можна було це зробити застосуємо розкладання відомих функцій в степеневі ряди (ряди Маклорена):

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots, \quad (3.28)$$

$$\operatorname{arctg} x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots \quad (3.29)$$

Зробимо грубу оцінку, взявши з цих розкладів лише лінійні члени. Спочатку застосуємо формулу (3.29):

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = \left( u_{\text{В}}^2 - 2u_{\text{В}}V_{\Pi} + b \right) e^{\frac{2aS - \frac{2V_{\Pi}}{b - V_{\Pi}^2} \left( \frac{u - V_{\Pi} - u_{\text{В}} + V_{\Pi}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}} \right)}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}}}, \quad (3.30)$$

або

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = \left( u_{\text{В}}^2 - 2u_{\text{В}}V_{\Pi} + b \right) e^{\frac{2aS - \frac{2V_{\Pi}(u - u_{\text{В}})}{b - V_{\Pi}^2}}{\sqrt{b - V_{\Pi}^2}}}. \quad (3.31)$$

Тепер застосуємо формулу (3.28), матимемо:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b = \left( u_{\text{В}}^2 - 2u_{\text{В}}V_{\Pi} + b \right) \left( 1 + 2aS - \frac{2V_{\Pi}(u - u_{\text{В}})}{b - V_{\Pi}^2} \right). \quad (3.32)$$

Якщо позначити  $u_{\text{В}}^2 - 2u_{\text{В}}V_{\Pi} + b = p$ , то рівняння (3.32) можна переписати у вигляді:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b - \left( 1 + 2aS - \frac{2V_{\Pi}(u - u_{\text{В}})}{b - V_{\Pi}^2} \right) p = 0, \quad (3.33)$$

або

$$u^2 - 2uV_{\Pi} + b - p - 2aSp + \frac{2V_{\Pi}(u - u_{\text{В}})}{b - V_{\Pi}^2} p = 0. \quad (3.34)$$

Позначивши  $-p - 2aSp + b = C$ , матимемо:

$$u^2 - 2uV_{\Pi} \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right) - \frac{2V_{\Pi}u_{\text{В}}p}{b - V_{\Pi}^2} + C = 0, \quad (3.35)$$

тобто квадратне рівняння відносно  $u$ .

Розв'язавши це рівняння відносно  $u$  виразимо явно функцію  $u$  від  $V_{\Pi}$ .

Для розв'язання цього рівняння знайдемо дискримінант:

$$D = 4V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{8V_{\Pi}u_{\text{В}}p}{b - V_{\Pi}^2} - 4C = \left( 2 \sqrt{V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi}u_{\text{В}}p}{b - V_{\Pi}^2} - C} \right)^2,$$

тоді

$$u_1 = V_{\Pi} \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right) - \sqrt{V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi} u p}{b - V_{\Pi}^2} - C}, \quad (3.36)$$

$$u_2 = V_{\Pi} \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right) + \sqrt{V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi} u p}{b - V_{\Pi}^2} - C}. \quad (3.37)$$

або

$$u_1 = V_{\Pi} \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right) - \sqrt{V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi} u p}{b - V_{\Pi}^2} + p + 2aSp - V_{\Pi}^2 - \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F}}, \quad (3.38)$$

$$u_2 = V_{\Pi} \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right) + \sqrt{V_{\Pi}^2 \left( 1 - \frac{p}{b - V_{\Pi}^2} \right)^2 + \frac{2V_{\Pi} u p}{b - V_{\Pi}^2} + p + 2aSp - V_{\Pi}^2 - \frac{gm \cos \alpha}{k \rho_{\Pi} \cdot F}}. \quad (3.39)$$

Вибір робочих залежностей (3.38)-(3.39) можна здійснити підставивши в них значення параметрів.

### Висновки.

1. Побудовано математичну модель руху часточки обчисаного вороху у повітряному потоці у неявному вигляді, яка встановлює залежність між швидкістю руху часточки і швидкістю повітряного потоку з урахуванням її міделевого перерізу, маси, та довжини шляху.

2. Вперше отримана математична модель швидкості руху часточки обчесаного вороху у повітряному потоці, яка у явному вигляді встановлює залежність між швидкістю руху часточки та швидкістю повітряного потоку.

3. Аналіз отриманої моделі дозволить в подальшому визначити раціональні кінематичні параметри вентилятору, які дозволять знизити витрати енергії при транспортуванні обчисаного вороху у причеп-возик.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур можливо за рахунок теоретичного та експериментального обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері ПРС олійної сировини соняшнику. Новизна полягає в тому, що вперше отримані залежності максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері ПРС від частоти обертання ротора вентилятора на підставі теоретичного та експериментального аналізів. Ці залежності дозволяють робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу.

2. Визначено мета, об'єкт, програма та розроблено методичне обґрунтування експериментальних досліджень ПРС зерна, які дозволяють організувати та провести експериментальні дослідження технічного засобу.

3. Визначені головні фактори та їх рівні варіювання, це:

- частоти обертання вентилятора, 9000 – 1100, об/хв<sup>-1</sup>;
- аерована площа лотка-інтенсифікатора, 0–53520, мм<sup>2</sup>;
- кут нахилу середньої рухомої стінки повітрярозподільного пристрою 16,32°–18,15°, град.

Варіювання переліченими факторами дозволяє здійснювати перехід вихідного матеріалу у псевдозріджений стан і майже в 2 рази збільшити продуктивність ПРС.

4. Розроблено приватна методика підготовки штучно виготовленої зернової суміші, дозволяюча моделювати реальні умови використання вихідного матеріалу.

Розроблено приватна методика встановлення параметрів та режимів роботи експериментального ПРС, дозволяюча за обраними факторами і критеріями оцінювання провести однофакторні та багатфакторні експерименти.

5. Визначені критерії оцінки ефективності робочого процесу ПРС:



- втрати повноцінного зерна у відходи, %;
- повнота виділення легких домішок, %;
- питома продуктивність, кг/с;
- питома витрати енергії, кВт · год · т<sup>-1</sup>.

Вище перелічені критерії дозволять провести порівняльну оцінку експериментального ПРС з існуючими аналогами за агротехнологічними вимогами та по показникам економічної ефективності технічних засобів.

6. Побудовано математичну модель руху часточки обчісаного вороху у повітряному потоці у неявному вигляді, яка встановлює залежність між швидкістю руху часточки і швидкістю повітряного потоку з урахуванням її міделевого перерізу, маси, та довжини шляху.

7. Вперше отримана математична модель швидкості руху часточки обчесаного вороху у повітряному потоці, яка у явному вигляді встановлює залежність між швидкістю руху часточки та швидкістю повітряного потоку.

8. Аналіз отриманої моделі дозволить в подальшому визначити раціональні кінематичні параметри вентилятору, які дозволять знизити витрати енергії при транспортуванні обчісаного вороху у причеп-возик.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Буряков, Ю.П. Индустриальная технология подсолнечника/ Ю.П. Буряков. М.: Высшая школа, 1983. – 192 с.
2. Нікітчин Д. І. Соняшник / Д.І. Нікітчин // - К. : Урожай, 1993. – 192 с.
3. Михайлов Е.В. Свойства семян подсолнечника и показатели качества масличного сырья, поступающего на Мелитопольский маслоэкстракционный завод./ Є.В. Михайлов, Н.А.Задосная.// Праці таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.13.т.3. : – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – С. 118 – 123.
4. Михайлов Є.В. Аспекти методики визначення параметрів повітряного потоку в пневмосистемі машини попереднього очищення зерна /Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, М.П. Кольцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь, 2010. -Вип. 11, т. 1. – С.242 – 250.
5. Михайлов Є.В. Аналіз пневматичних систем зерноочисних машин та удосконалення їх класифікації /Є.В. Михайлов, Білокопитов О.О., Задосна Н.О., Д.В. Сердюк// Праці таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.12.т.5.: – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 50 – 61.
6. Пат. № 61469 U Україна, МПКВ07В1/28. Решітний сепаратор /Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, В.С. Дудка, А.В. Перетяцько; Заявник та патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. заявл. 23.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 4 с.
7. Білокопитов О.О, Аналіз результатів визначення критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху/ О.О Білокопитов, Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.– Мелітополь, 2012.– Вип. 2, т. 5. - с.-198-207.

8. Пат. РФ № 2303494 МПК В07В4/02 А01F 12/44 Замкнуто-разомкнутая пневмосистема зерноочистительной машины / А.И. Бурков, О.П. Роцин, Н.Л. Коньшев (РФ) Заявка 2006107859/03 от 2006.03.13
9. Михайлов Є.В. Теоретичний аналіз процесу псевдозрідження зернового вороху / Є.В.Михайлов, Н.О. Задосна, О.О. Афанасьєв// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь. – 2019. – Вип. 19, т. 3 . С. 29-36.
10. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа/ Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З.. Шувалова М.// Физматгиз, 1963 г., – 400 с.
11. Пат. № 116021 U Україна, МПК В07В1/28. Пневморешітний сепаратор із замкнутою повітряною системою / Є.В. Михайлов, Н.А. Задосна, О.О. Афанасьєв.- № u2016 09901; заявл.26.09.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл.№ 9.
12. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский ;,М.: Наука, 1976. - 280 с.
13. Красовский Г.И. Планирование эксперимента. / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов: - Минск,: Изд-во Б1 7, 1982. -302 с.
14. Мельников С.В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В.Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин -Л.: Колос, 1980. -168с.
15. Михайлов Є.В. Аналіз результатів статистичних характеристик зернового вороху. І Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь, 2012
16. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологи. Н.И. Гельперин.- М.: Химия, 1981. В двух книгах. 812 с.
17. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України: монографія /Є.В. Михайлов. - Мелітополь: Люкс, 2012. 260 с.

18. ГОСТ 17.2.4.06-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения М. Изд-во стандартов, 1990, - 12 с.

19. ГОСТ 8.361-79 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы М. Изд-во стандартов, 1979, - 16 с.

20. Кунии Д.И. Промышленное псевдоожижение. И.Д. Кунии, О. Левеншпиль.- М.: Химия, 1976.- 446 с.

21. Леженкин А. Н., Кравчук В. И., Кушнарев А. С. Технология уборки зерновых методом очесывания на корню: состояние и перспективы / А. Н. Леженкин, В. И. Кравчук, А. С. Кушнарев: монография. Дослідницьке, 2010. 400 с.

22. Леженкин А. Н. Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств юга Украины // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар. науч. конф. Ярославль, 2003. Ч. III. С. 28-29.

23. Леженкин А. Уборка зерновых методом очеса // Сельский механизатор. 2004. № 11. С. - 27.

24. Леженкін І. О. Доробка обчесаного вороху зернових на фураж // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке, 2012. Вип. 16 (30). Кн. 1. с. 437-441.

25. Леженкин А. Машина с очесывающим устройством // Сельский механизатор. 2004. № 12.- С. 2.

26. Причіпна збиральна машина: пат. 98161 Україна: МПК А01D41/08 (2006. 01). № u 201408537; заявл. 28.07.2014; опубл. 27.04.015. Бюл. № 8.

27. Голубев И. К. Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук. Москва, 1989. - 201 с.

28. Леженкін О. М. Методика визначення допустимих значень допустимих значень конструктивних параметрів причіпної збиральної машини // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 4. С. 11-20.

29. . Інженерна механіка: підручник / В. М. Булгаков, О. І. Литвинов, Д. Г. Войтюк // за ред. В. М. Булгакова. Вінниця: Нова Книга, 2006. Ч. I. 504 с.

30. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / Д. Г. Войтюк та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. - 464 с.

31. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. 10-изд., стереот. Москва, 1957.- 412 с.