

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

**на тему:**

«Удосконалення аеродинамічного сепаратора зерна САД-5 з обґрунтуванням параметрів розподільника повітряного потоку»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,  
групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»  
спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ Хорощак Сергій Васильович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

\_\_\_\_\_ Микола МОРОЗ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I-IV	Олександр НЕСТЕРЕНКО		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	7.05.2025	
2	Графічна частина	10.05.2025	
3	Перевірка на добросовісність	17.05.2025	
4	Підготовка до захисту	17-26.05.2025	
5	Захист дипломної роботи	27.05.2025	

Дата видачі завдання

« 03 » 02 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Олександр Нестеренко \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« 03 » 02 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_ Сергій Хорощак \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## **АНОТАЦІЯ**

**Тема: «Удосконалення аеродинамічного сепаратора зерна САД-5 з обґрунтуванням параметрів розподільника повітряного потоку»**

**Ключові слова: пневмосепаратор; живильник; розподільник повітря**

В дипломній роботі проведено вдосконалення пневмосистеми зерноочисної машини САД-5 шляхом модернізації конструкції живильника зерна та розподільника повітряного потоку.

Проведений огляд та аналіз пневмосистем зерноочисних машин, визначено їх переваги та недоліки та основний напрямок підвищення ефективності їх роботи.

Експериментально обґрунтовані основні параметри живильного пристрою пневмосепаратора та розподільника повітряного потоку, які дозволяють підвищити ефективність калібрування насіння.

На основі експериментальних досліджень розроблене складальне креслення вузла та деталей пневмосистеми САД-5.

## **ABSTRAKT**

**Topic: «Improvement of the aerodynamic grain separator SAD-5 with rationalization of the parameters of the air flow distributor»**

**Key words: pneumatic separator; feeder; air distributor**

In the diploma work, the pneumatic system of the grain cleaning machine SAD-5 was improved by modernizing the design of the grain feeder and the air flow distributor.

A review and analysis of the pneumatic systems of grain cleaning machines was conducted, their advantages and disadvantages were identified, and the main direction for increasing the efficiency of their work was determined.

The main parameters of the feeding device of the pneumatic separator and the air flow distributor were experimentally substantiated, which allow increasing the efficiency of seed calibration.

Based on experimental studies, an assembly drawing of the unit and parts of the pneumatic system SAD-5 was developed.

## Зміст

1. Вступ.....	5
2. Наукова частина .....	6
3. Інженерна частина.....	32
4. Охорона праці .....	44
5. Економічна частина .....	46
6. Висновки .....	47
Список використаних джерел.....	48
Додатки.....	50

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ВСТУП

На сучасному етапі розвитку національної економіки аграрний сектор посідає провідне місце серед стратегічно важливих галузей. Його ефективне функціонування визначає спроможність держави гарантувати продовольчу безпеку, що є одним із ключових завдань соціально-економічного розвитку країни.

Однією з головних передумов для нарощування обсягів виробництва сільськогосподарської продукції є активне впровадження інноваційних технологій у галузях рослинництва та тваринництва, а також підвищення продуктивності праці шляхом застосування сучасної, надійної та високопродуктивної техніки.

Одним із ключових чинників отримання високоякісного зерна під час збирання врожаю та подальшого його зберігання є своєчасне й ефективне проведення післязбиральної обробки [1].

Попри високу якість та надійність іноземної сільськогосподарської техніки, її вартість, а також ціни на запасні частини залишаються непосильними для багатьох вітчизняних аграрних підприємств малого й середнього масштабу.

Зерноочисні машини в Україні мають широке застосування - від невеликих фермерських господарств до великих підприємств переробної промисловості, де зерно використовується як основна сировина у технологічному процесі. Одним з популярних типів обладнання для калібрування та попередньої підготовки насінневого матеріалу є пневмосепаратор САД-5 [2].

Проте, незважаючи на широке розповсюдження зерноочисного обладнання, ефективність його роботи інколи є недостатньою - особливо в частині повітряної сепарації, що негативно впливає на якість очищення зерна або насіння.

У зв'язку з цим у межах даної дипломної роботи запропоновано варіант модернізації пневмосепаратора типу САД-5 з метою покращення якісних характеристик процесу сепарації та зменшення енерговитрат, пов'язаних з очищенням зернової маси.

					УАСЗ 00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Хорощак			ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Нестеренко					5	1
<i>Реценз.</i>						ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.1		
<i>Н. Контр.</i>		Мачок						
<i>Затверд.</i>		Васильковський						

## 2. НАУКОВА ЧАСТИНА

### 2.1. Огляд пневмосистем сучасних пневмосепараторів зерна та аналіз їх конструктивних особливостей

У сучасному зерновому господарстві пневмосепаратори відіграють ключову роль у процесах очищення та калібрування зерна. Завдяки використанню аеродинамічних властивостей зернових частинок, ці машини забезпечують розділення суміші на основі відмінностей у густині та формі [3].

У цьому розділі подано розгорнутий аналіз конструкцій і принципів дії пневмосепараторів, що широко використовуються у вітчизняному та зарубіжному сільськогосподарському машинобудуванні.

Горизонтальні повітряні канали (або пневмокамери) мають істотну перевагу перед вертикальними аналогами завдяки можливості поділу зернової маси на більшу кількість фракцій. Цей тип пневмосистеми особливо ефективний у процесах повторного очищення та підготовки посівного матеріалу. Найчастіше такі канали застосовуються у машинах для підвищення точності сепарації та забезпечення однорідності зернового потоку.

Одними з найпоширеніших агрегатів з горизонтальними каналами є німецькі моделі К-527А та К-525, що виробляються компанією «Petkus» [4]. Їх конструкція передбачає повітряний канал з дещо збільшеною площею поперечного перерізу, поділений на дві зони за допомогою внутрішньої перегородки. Це дозволяє посилити взаємодію зерна з повітряним потоком та підвищити ефективність фракціонування.

У моделі К-560, також виробництва «Petkus», перший повітряний канал використовується як додатковий етап очищення, що сприяє кращому розділенню матеріалу на фракції [4]. Це рішення дозволяє досягти більш рівномірного контакту зерна з повітрям та покращити кінцеву якість очищення.

Машина К-560 призначена для високоякісного очищення насіння і зернових культур. Пневмосистема складається з двох повітряних каналів, які забезпечують двоступеневу аеродинамічну сепарацію. Завдяки регульованим повітряним потокам і високоточній калібрувальній системі машина забезпечує високий ступінь чистоти. Повітря подається замкненою системою з можливістю налаштування витрати [4].

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

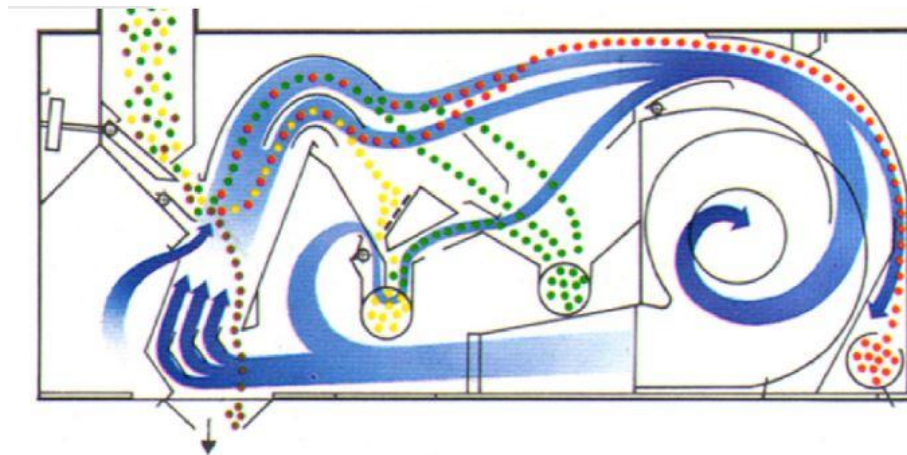


Рис. 2.1. Пневмосистема сепаратора К-560, «Petkus».

Сепаратор К-560 німецької компанії «Petkus» відомий своєю високою точністю та надійністю. Конструкція машини передбачає багаторівневу очистку за допомогою системи замкнених пневматичних каналів. Повітряний потік у каналах регулюється залежно від типу зернового матеріалу, що забезпечує гнучке налаштування технологічного процесу. Сепаратор дозволяє виділяти зерно з високими посівними якість та забезпечує мінімальні втрати повноцінного матеріалу [4].

Перевагою сепаратора К-560 є висока ефективність і точне калібрування, недоліки- висока вартість та складність в налаштуванні.

Фірма «Haple» (Німеччина) пропонує універсальні сепаратори з продуктивністю від 40 до 150 т/год, які також базуються на застосуванні горизонтальних пневмоканалів [4].

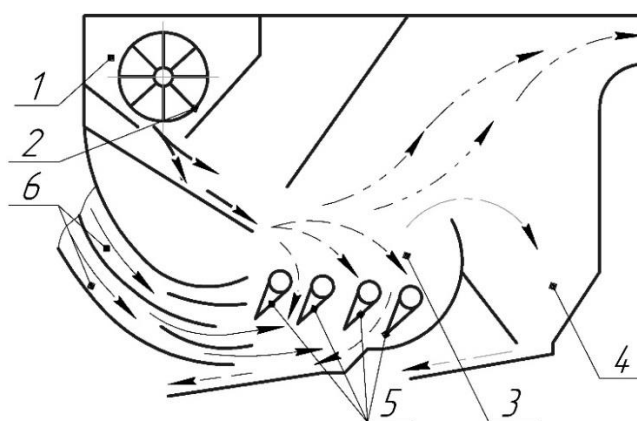


Рис. 2.2. Пневмосистема зерноочисної машини АКН 200.

1 – зерновий бункер; 2 – живильний пристрій; 3 - пневмокамера; 4 – заслінка; 5 - напрямні лопатки; 4 –осадова камера; 6 – пневмосепараційні канали.

У конструкції таких машин передбачені направляючі лопатки, що розташовані у пневмокамері. Вони створюють стабільні струмені повітряного потоку, які розподіляють зерно на фракції ще до надходження на решета.

Особливий інтерес викликає пневмосепаратор ІСМ [5] (виробництва Харківського заводу зерноочисного обладнання). Він належить до безрешітних машин нового покоління й дозволяє ефективно відокремлювати повноцінне насіння від пошкодженого або легкого.

Сепаратор працює на принципі дії струменевого повітря, що розділяє зерно за питомою вагою. Повітряна система є відкритою, з прямоточним потоком і багатокамерною роздільною зоною. Зерно розділяється на 3–5 фракцій. Завдяки такій технології, можна досягнути схожості посівного матеріалу на рівні до 98% та приросту врожайності до 30% [ 5].



Рис. 2.3. Пневмосистема сепаратора ІСМ

Ключовою конструктивною відмінністю ІСМ є використання імперерної силової установки, що сприяє зниженню втрат енергії, зменшенню загального енергоспоживання та спрощенню обслуговування агрегату.

Серед переваг сепаратора: простота, економічність, мобільність. Недоліком можна вважати меншу точність сепарації порівняно з закордонними аналогами.







пустотілий короб, призначений для виводу очищеного зерна з машини шляхом дії інерційних сил, створених ротором.

Оним із суттєвих недоліків пневмосистеми сепаратора ПС є невеликий об'єм осадкової камери. Це створює негативні умови для осідання пилу та легких часток у пневмосистемі сепаратора.

## 2.2. Аналіз об'єкту досліджень

### 2.2.1 Огляд конструкції пневмосистеми сепаратора САД-5

Пневмосепаратор САД-5 (рис. 2.7) [8] відноситься до універсальних машин для попереднього очищення різних культур. Її основна перевага - можливість точного сортування зерна за питомою вагою без застосування традиційних сит або решіт. Сепаратор забезпечує високу однорідність насіння, а відхилення в калібруванні не перевищують  $\pm 3\%$ . Завдяки простій та надійній конструкції САД-5 активно експлуатується як на великих зернових елеваторах, так і в дрібних господарствах.



Рис. 2.7. Пневмосистема сепаратора САД – 5.

Незважаючи на переваги, у САД-5 є певні недоліки: зокрема, не зовсім рівномірна подача зерна по ширині камери та недостатня ширина вхідного потоку. Це негативно позначається на повноті очищення.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Пневмосистема є ключовим функціональним вузлом агрегату САД-5 і складається з таких основних елементів:

- Вентилятор, який виконує роль джерела повітряного потоку, необхідного для створення зони пневмосепарації. Вентилятор встановлена на окремому валу, з'єднаному з електродвигуном або іншим приводом, і забезпечує регульовану витрату повітря залежно від продуктивності сепаратора.
- Камера пневмосепарації - закрита зона, в якій зернова маса проходить через повітряний потік. Завдяки різниці густини та форми частинок, легкі включення виносяться вгору і вбік, тоді як основна фракція зерна осідає під дією сили тяжіння.
- Система регулювання повітряного потоку включає регульовальні заслінки або шиберы, які дозволяють змінювати швидкість і напрям повітря в камері сепарації. Це дає змогу адаптувати роботу машини до конкретного типу культури та рівня засміченості зернового матеріалу.
- Труби або канали повітроводів поєднують вентилятор з камерою сепарації та вихідними патрубками, забезпечуючи циркуляцію повітря по замкненому або відкритому контуру. У більшості випадків використовується відкритий тип пневмосистеми, що спрощує конструкцію, але потребує фільтрації вихідного повітря.
- Система відведення легких домішок - передбачає окремий канал для виведення виносної фракції, яка потрапляє в циклон або інший пиловловлювач для осадження частинок перед викидом в атмосферу.

Загалом, пневмосистема сепаратора САД-5 працює за принципом гравітаційно-повітряного розділення, де ефективність залежить від точності налаштування швидкості повітряного потоку, кута подачі зернової маси та геометрії внутрішніх поверхонь камери. Необхідно зазначити, що зміна навіть одного з параметрів впливає на якість сепарації, що вимагає точного конструкторського розрахунку і можливості регулювання.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

### 2.2.2. Технічна характеристика сепаратора САД-5

Основні технічні характеристики САД-5:

Продуктивність: до 5 т/год

Кількість фракцій: до 5

Питоме енергоспоживання: 0,4–0,6 кВт/год

Потужність електродвигуна: 1,1–2,2 кВт

Габарити: 1,5×1,2×2,0 м

Вага: 350–500 кг

Переваги пневмосепаратора САД-5:

- Відсутність решіт забезпечує зменшення обслуговування;
- Висока точність калібрування за питомою вагою;
- Компактна конструкція, зручна для малих господарств;
- Низьке енергоспоживання;
- Широкий спектр використання для різних культур;
- Простота регулювання параметрів повітряного потоку;

Недоліки сепаратора:

- Низька продуктивність порівняно з іншими типами сепараторів;
- Чутливість до параметрів зерна (вологість, щільність);
- Необхідність попереднього очищення від великих домішок;
- Потреба в точному налаштуванні повітряного потоку.

Отже, сепаратор САД-5 є ефективним рішенням для первинного очищення зерна в умовах фермерських господарств. Його доцільно застосовувати у комбінації з механічними або решітними машинами для забезпечення повного циклу очищення.

### 2.3. Пропозиції по вдосконаленню пневмосистеми сепаратора САД-5.

На основі огляду та аналізу пневмосистем сепараторів, а також, враховуючи існуючі недоліки сепаратора САД-5 пропонується модернізація конструкції пневмосистеми, яка включає:

- встановлення дугоподібного живильного лотка у бункері для більшого розсіяного струменя вхідного зернового потоку;

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

- додавання подовжених регульованих жалюзей на вході повітряного потоку, що дозволить направити повітряні струмені під потрібним кутом та покращити якість пневмосепарації;

Це дасть можливість підвищити ефективність розподілення зерна в повітряному потоці без потреби в додатковому вібролотку.

Такі технічні рішення спрямовані на зниження енерговитрат, покращення рівномірності розділення та загальне підвищення технологічної ефективності процесу сепарації.

Враховуючи конструкційні зміни, технологічний процес модернізованого пневмосепаратора наступний.

З бункера зерновий ворох спрямовується живильним дугоподібним лотком вниз, і направляється в камеру сепарації (рис. 2.8).

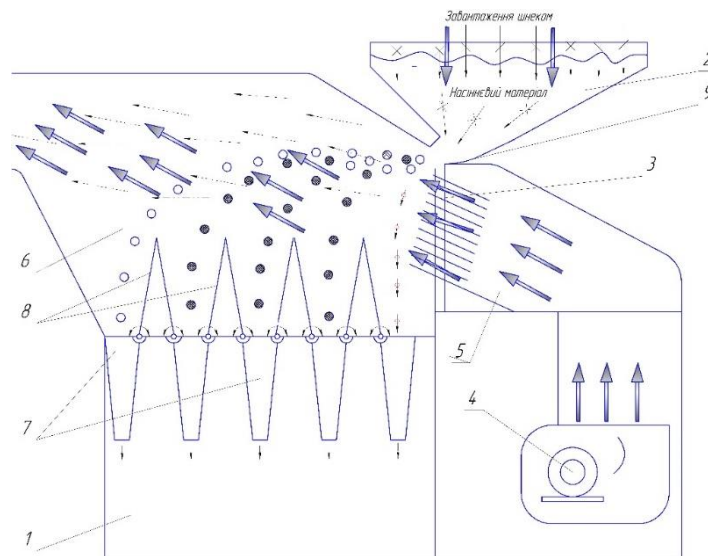


Рис. 2.8 Схема вдосконаленої пневмосистеми сепаратора САД-5

На днищі сепаратора сконструйований вентилятор, який створює повітряний потік і проходить через жалюзійний напрямник, з яким зернова суміш перетинається рухаючись з бункера, і під дією сили тяжіння та аеродинамічних властивостей вона розділяється таким чином, що важкі домішки попадають у найближчий до повздовжньої вертикалі приймальник фракцій (I фракція розділення), насіння основної культури поступає у наступні 3 приймальники, а дрібне насіння й легкі домішки потрапляють в останній

приймальник. Всього 5 фракцій розділення. Приводом вентилятора здійснюється від електродвигуна.

Попередньо очищена зернова суміш потрапляє до похилого пневматичного каналу, в якому відбувається розділення за аеродинамічними ознаками. При цьому найбільш виповнене зерно має найбільшу траєкторію відхилення і потрапляє до приймальників 2, 3 та 4. В кінці очищення ми отримуємо посівний матеріал, товарне зерно та легкі домішки. Повітря очищається від пилу та найбільш легких домішок у інерційному жалюзійному пилоочисникові.

#### 2.4. Загальна характеристика наукової частини роботи

**Мета роботи:** підвищення ефективності пневмосепарації шляхом вдосконалення конструкції пневмокамери САД-5 і обґрунтування параметрів живильника та розподільника повітряного потоку.

##### Задачі досліджень:

- Провести огляд пневмосистем сепараторів та визначити основні напрямки вдосконалення пневмосепаруючої камери САД-5.
- обґрунтувати раціональні значення конструкційних параметрів живильника зерна та розподільника повітряного потоку;
- провести порівняльну характеристику вдосконаленої пневмосистеми та базового сепаратора.

**Предмет досліджень** – конструкційні параметри живильника зерна та розподільника повітряного потоку пневмосепаратора САД-5.

**Об'єкт досліджень** - процес пневмосепарації зерна в пневмокамері сепаратора САД-5 з розподільником повітряного потоку.

##### 2.4.1. Програма і методика досліджень пневмосепаратора САД-5.

1. Проаналізувати режими зернового потоку у залежності від конструкційних параметрів живильника сепаратора.

2. Обґрунтувати раціональні значення параметрів живильника та розподільника повітряного потоку і отримати порівняльну характеристику роботи вдосконаленої та базової пневмосистеми сепаратора.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2.5. Аналіз режимів руху зернового потоку.

З метою отримання необхідних параметрів руху зернового матеріалу в пневмоскамеру САД-5 необхідно визначити параметри живильника бункера.

Забезпечення необхідного значення швидкості зернового матеріалу на початковому етапі його руху здійснюється шляхом вибору оптимальних геометричних параметрів похилої прямолінійної ділянки живильника (рис. 2.9), зокрема, кута нахилу  $\alpha$  до горизонту і довжини цієї ділянки  $S$ .

Як зазначено в [9], для забезпечення руху матеріалу, кут нахилу  $\alpha$  має перевищувати кут тертя матеріалу об поверхню живильника, тобто  $\alpha \geq \varphi_e$ .

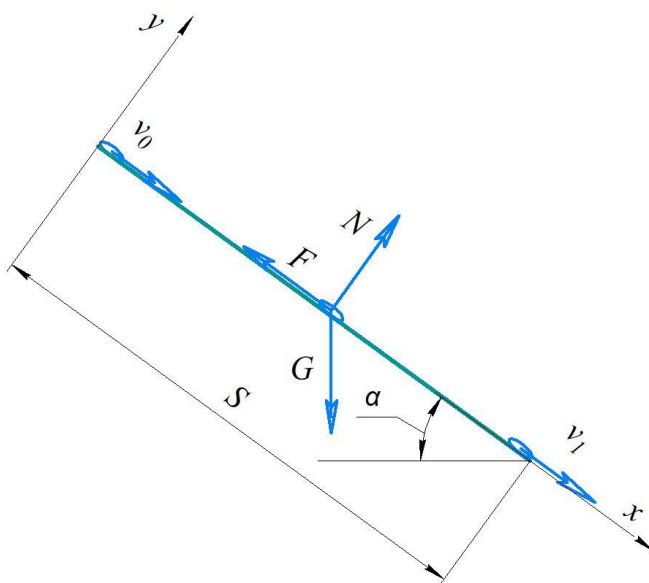


Рис. 2.9. Схема руху частки по похилій поверхні живильника

Під час руху зерна по похилій площині на зернову частку діють кілька сил: вага  $G = mg$ , сила нормальної реакції опори  $N$ , а також сила тертя  $F = fN$  [9].

Диференціальне рівняння руху частки зернового матеріалу по похилій поверхні лотка запишемо у вигляді [9]:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha,$$

де  $v = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$  – миттєва швидкість руху зерна на похилій площині;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$m$  – маса частки

або маємо

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$dx = g(\sin\alpha - f\cos\alpha)dt$$

Після проведення стандартних перетворень та спрощень, аналогічно до [9], отримаємо довжину розгінної ділянки:

$$S_p = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g(\sin\alpha - f\cos\alpha)}$$

Відповідна швидкість руху зерна в кінці похилої прямолінійної ділянки визначається:

$$v_1 = \sqrt{2gS_p(\sin\alpha - f\cos\alpha) + v_0^2}$$

На основі рівняння будуюмо графічну залежність зміни швидкості руху зерна по прямолінійній похилій ділянці (рис. 2.10).

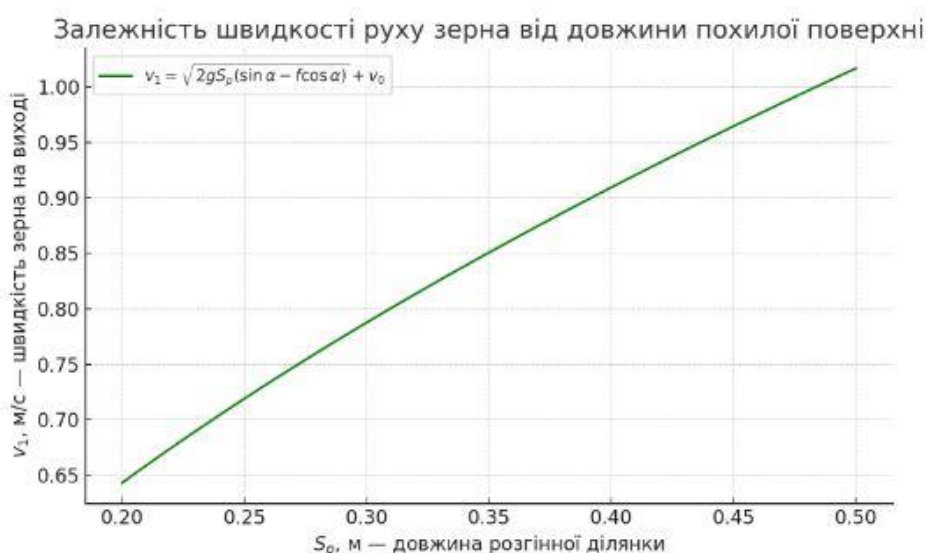


Рис. 2.10 Залежність зміни швидкості руху зерна  $v_1$  від довжини прямолінійної ділянки  $S_p$

Далі зерновий матеріал переміщується по дугоподібній ділянці живильника (рис. 2.11). На початку руху по дузі зерновий матеріал має вхідну швидкість  $v_1$ .

Так, на зернову частку впливають: сила ваги  $G=mg$ , нормальна складова сили реакції опори  $N$ , також сила тертя по поверхні  $FT=fN$  і сила інерції  $P=mv^2/r$ , де  $r$  - радіус кривизни дуги живильника.

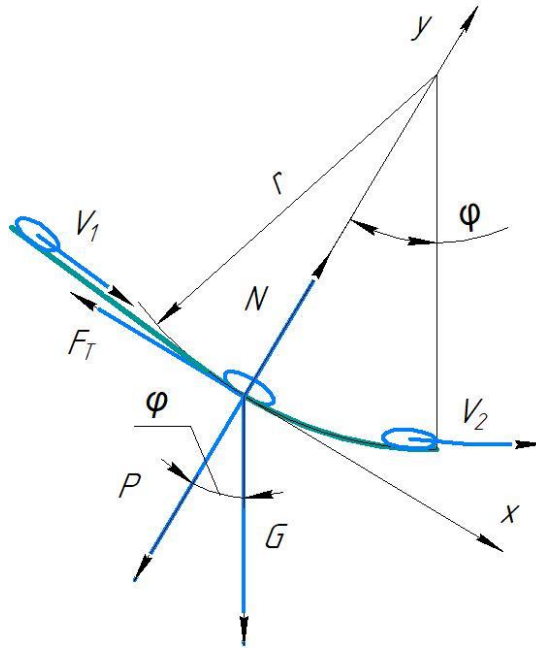


Рис. 2.11. Схема руху зерна по дузі поверхні живильника

Тоді, диференціальне рівняння руху зернової частки по дузі живильника має вигляд [10]:

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = mg \cos \varphi - F_T \\ m \frac{v^2}{r} = N - mg \sin \varphi \end{cases}$$

де:  $v$  - швидкість руху частки на дузі живильника;

$\varphi$  - кут положення зернової частки на дузі з радіусом  $r$ .

Виключаючи реакцію  $N$ , отримуємо рівняння руху зерна на дузі живильника [11]:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \cos \varphi - fm \frac{v^2}{r} - fmg \sin \varphi$$

або

$$\frac{dv}{dt} = g(\cos \varphi - f \sin \varphi) - f \frac{v^2}{r}$$

Отримане рівняння можна використовувати для визначення швидкості по прямолінійній похилій поверхні живильника та дузі в залежності основних параметрів живильника, а саме, довжини похилої поверхні, кута нахилу та радіуса дуги.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



1. Повітряний потік у каналі був відсутній (експеримент проводився у спокійному середовищі).
2. В пневмокамеру вмонтовувалася сітка з координатними мітками для фіксації траєкторій.
3. Кожен експеримент проводився тричі для підвищення достовірності результатів.

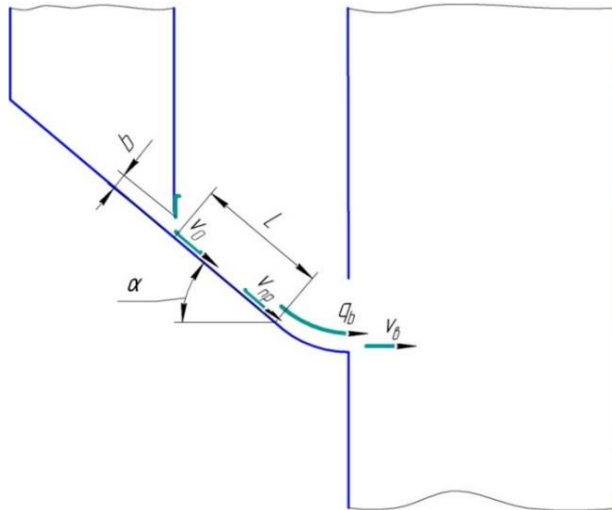


Рис. 2.13. Схема установки для дослідження ширини зернового потоку.

У випадку, коли зерно вводилось з певним питомим навантаженням, його траєкторії мали відхилення. Тоді визначалась середня швидкість введення, яка розраховувалась шляхом обчислення координат середньої траєкторії насіння для верхнього та нижнього шарів зернового потоку.

Зміна початкової швидкості насіння здійснювалась за рахунок регулювання кута нахилу та довжини похилої поверхні завантажувального бункера (рис. 2.13).

Питоме навантаження  $q_b$  визначалось шляхом зважування маси насіння пшениці, що проходила через одиницю ширини пневмоканалу за фіксований проміжок часу:

$$q_b = \frac{G}{B \cdot t}, \quad (2.3)$$

де  $G$  – маса зернового матеріалу;

$B$  – ширина пневмо каналу сепаратора, м;

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t$  – час проходження насіння, с.

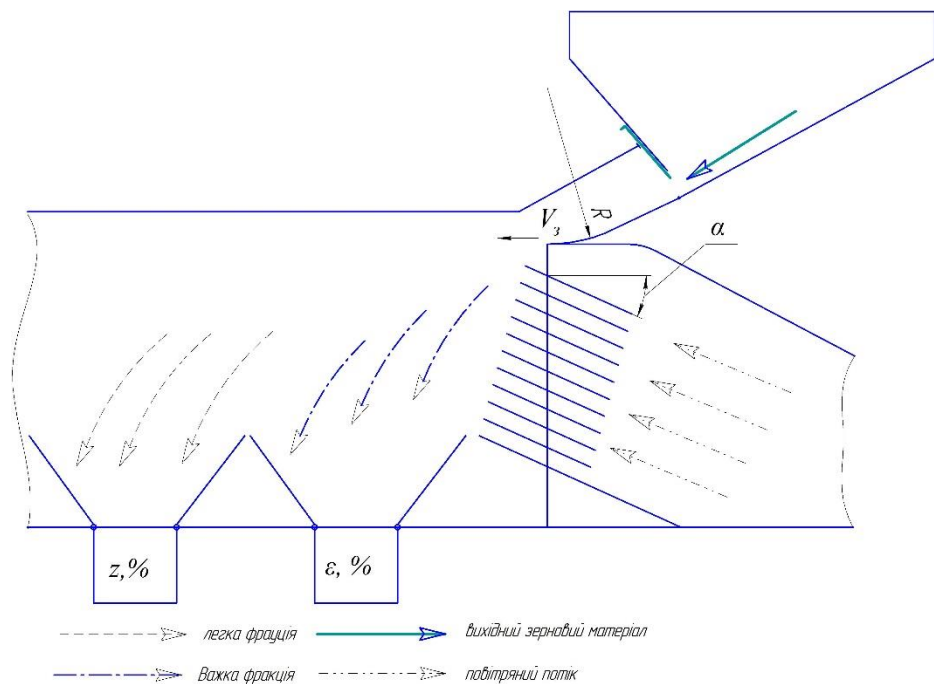


Рис. 2.14. Схема експериментальної установки для дослідження процесу пневмосепарації САД-5

У дослідях змінювали наступні параметри живильника бункера та напрямника повітряного потоку:

1. Кут нахилу розподільника повітряного потоку регулювали в діапазоні:  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;
2. Швидкість подачі зерна для певного значення питомого навантаження визначали за вище означеною методикою.
3. Регулювання зміни довжини поверхні живильника змінювали в межах:  $L=250\dots450$  мм.
4. Радіус дуги живильника варіювали в межах  $R= 200\dots400$  мм

Для кожної конфігурації визначалась проміжна швидкість введення зерна відповідно до запропонованої методики. Завантаження установки здійснювалось порціями по 2 кг насіння, з фіксацією часу проходження зернової маси крізь канал. Кожна серія вимірювань повторювалась тричі.

2.6.2. Визначення порівняльної оцінки ефективності базового і модернізованого пневмоканалів сепаратора

Для аналізу ефективності роботи вдосконаленої конструкції пневмосистеми було проведено порівняльну оцінку двох варіантів каналів базового та модернізованого шляхом визначення та аналізу якісних показників сепарації.

У дослідженнях використовували насіннєвий матеріал насіння пшениці після попереднього очищення, з вологістю 15% та засміченістю 12%.

Якість очищення оцінювали за допомогою наступних показників:

Ефекту сепарації, який визначали за виразом [13]:

$$\varepsilon = \frac{M_D - M_H}{M_L} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

та кількістю повноцінного насіння, які виділились у відходи:

$$z = \frac{M_H}{M_D} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де  $M_D$  – маса домішок, яка потрапила в приймальник легкої фракції повітрям з пневмоканалу, кг;

$M_L$  – маса легких домішок, що містяться в вихідному насіннєвому матеріалі, кг;

$M_H$  – маса насіння пшениці, що виділилась у легку фракцію, кг;

Кількість продуктивного насіння у фракції легких домішок визначали за допомогою лабораторного класифікатора порційного типу (рис. 2.15).

Класифікатор встановлено на спеціалізованому робочому столі 1, до складу якого входить всмоктувальний повітропровід 2 із вставкою з прозорого матеріалу 3. У нижній частині цієї прозорої секції закріплено змінну касету, обладнану сітчастим дном, в яку поміщається навіска дослідного зернового матеріалу 4. Повітряний трубопровід з'єднаний з циклоном 5, в якому відбувається осадження обробленої фракції зерна, що збирається в приймальній ємності 6.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2.7. Результати експериментальних досліджень

### 2.7.1. Результати дослідження основних параметрів напрямника бункеру.

Під час проведення досліджень ключовими параметрами зернового потоку були визначені: швидкість подачі насіння та радіус дуги живильного лотка. Теоретичні розрахунки дозволили встановити швидкість вводу зернового потоку, а також параметри, що забезпечували цей рух у зоні введення на дугоподібну ділянку лотка живильника.

Результати фото експерименту зображено на рис. 2.16.



а)



б)

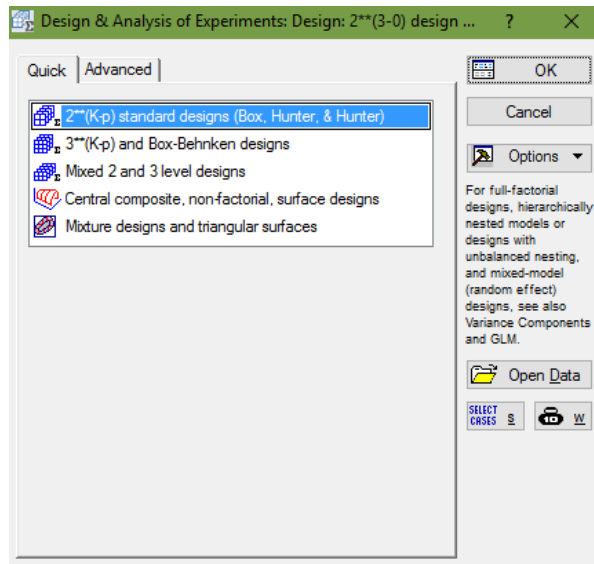


в)

Рис. 2.16. Визначення радіусу дуги живильника бункеру пневмосепаратора: а– $R=250$  мм; 2–  $R=150$  мм; 3 –  $R=200$  мм.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25





При завершенні етапу програма автоматично формувала експериментальну матрицю із пропонованою послідовністю виконання дослідів для даного об'єкту дослідження- пневмосепаратора САД-5. На кожному із вказаних рівнів впливу факторів нами було виконано триразову повторюваність дослідів. Це дозволило виконати обчислення середнього значення ефекту очистки  $Y(\varepsilon)$ , що записувалось у певну колонку підсумкової таблиці результатів досліджень (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Результати експериментальних досліджень

	$N$ , шт	$L$ , м	$\beta^\circ$	$\varepsilon$ , %
1	6	0,2	20	86
2	10	0,2	20	88
3	6	0,4	20	95
4	10	0,4	20	92
5	6	0,2	40	84
6	10	0,2	40	86
7	6	0,4	40	92
8	10	0,4	40	90

Вирахування відповідної табличної моделі регресії виконувалось у автоматичному режимі. Це дозволило відразу отримувати числові значення коефіцієнтів математичної статистичної моделі.

Effect Estimates; Var.: ε, %; R-sqr=,99874; Adj:,99115 (Spreadsheet111) 2**(3-0) design; MS Residual=,125 DV: ε, %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	89,12500	0,125000	713,0000	0,000893	87,53672	90,71328	89,12500	0,125000	87,53672	90,71328
(1)n, шт	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328
(2)L, m	6,25000	0,250000	25,0000	0,025451	3,07345	9,42655	3,12500	0,125000	1,53672	4,71328
(3)α, град	-2,25000	0,250000	-9,0000	0,070447	-5,42655	0,92655	-1,12500	0,125000	-2,71328	0,46328
1 by 2	-2,25000	0,250000	-9,0000	0,070447	-5,42655	0,92655	-1,12500	0,125000	-2,71328	0,46328
1 by 3	0,25000	0,250000	1,0000	0,500000	-2,92655	3,42655	0,12500	0,125000	-1,46328	1,71328
2 by 3	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328

В процесі обробки експериментальних дослідних даних нами була отримана статистична регресійна модель, що описує відповідну залежність між вхідними факторами і критерієм оптимізації - ефектом пневмосепарації у пневмоканалі пневмосепаратора САД-5.

Загальний вигляд одержаної статистичної математичної моделі, що охарактеризовує вплив дослідних факторів на ефект очищення у пневмосистемі сепаратора, має такий вигляд:

$$Y = 89,12 - 1,12x_1 + 3,12x_2 - 1,12x_3 - 1,12x_1x_2 + 0,12x_1x_3 - 0,12x_2x_3$$

Достовірність якісних характеристик одержаної статистичної моделі (перевірка на відтворюваність, адекватність та статистичну значущість коефіцієнтів) проводилась нами відповідно із загальноприйнятою методикою автоматизованої перевірки в програмному продукті STATISTICA 10.

Одержане рівняння регресії дає можливість побудувати графічні моделі поверхонь відгуку, що характеризують вплив відповідних факторів на критерій оптимізації – ефект очищення та кількість зерна у відходах. Отримані графічні залежності та карту парето представлено нижче (рис . 2.17-2.20).

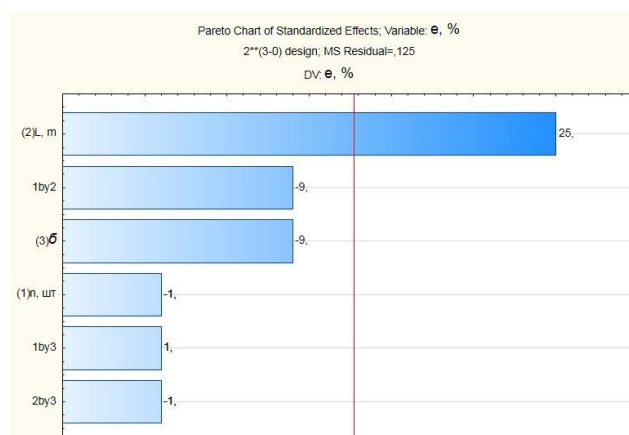


Рис. 2.17 Парето карта значимості факторів процесу

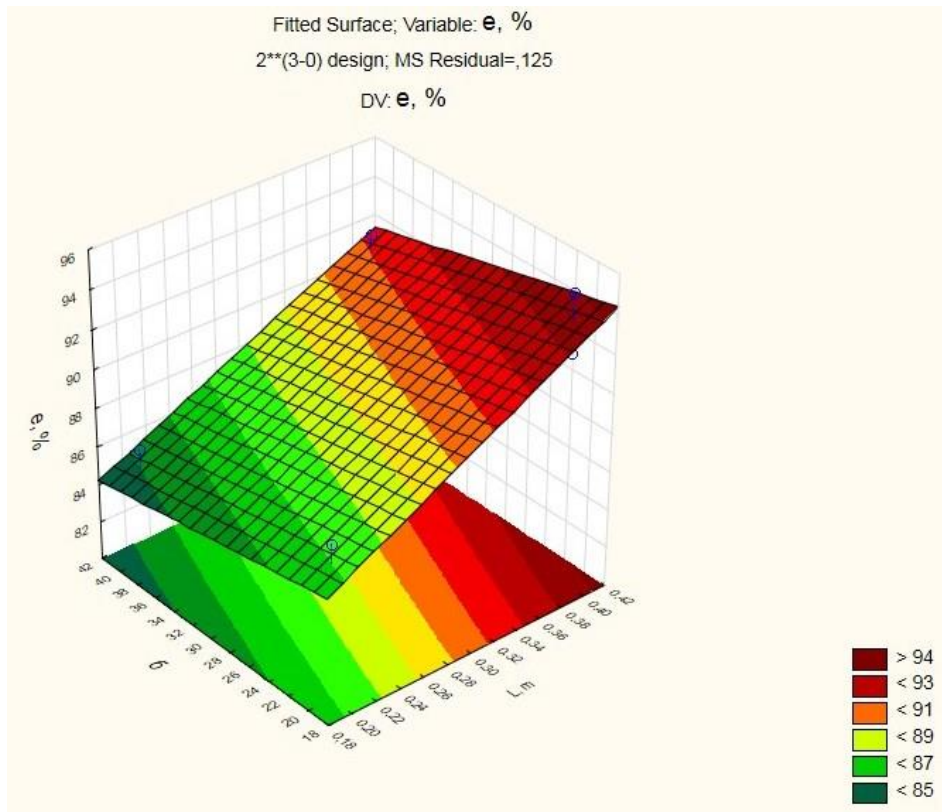


Рис. 2.18. Поверхня  $Y = f(x_1 x_2)$  довжини жалюзей,  $L$ , та кута нахилу жалюзей,  $(\alpha)$  на ефект очистки ( $Y$ )

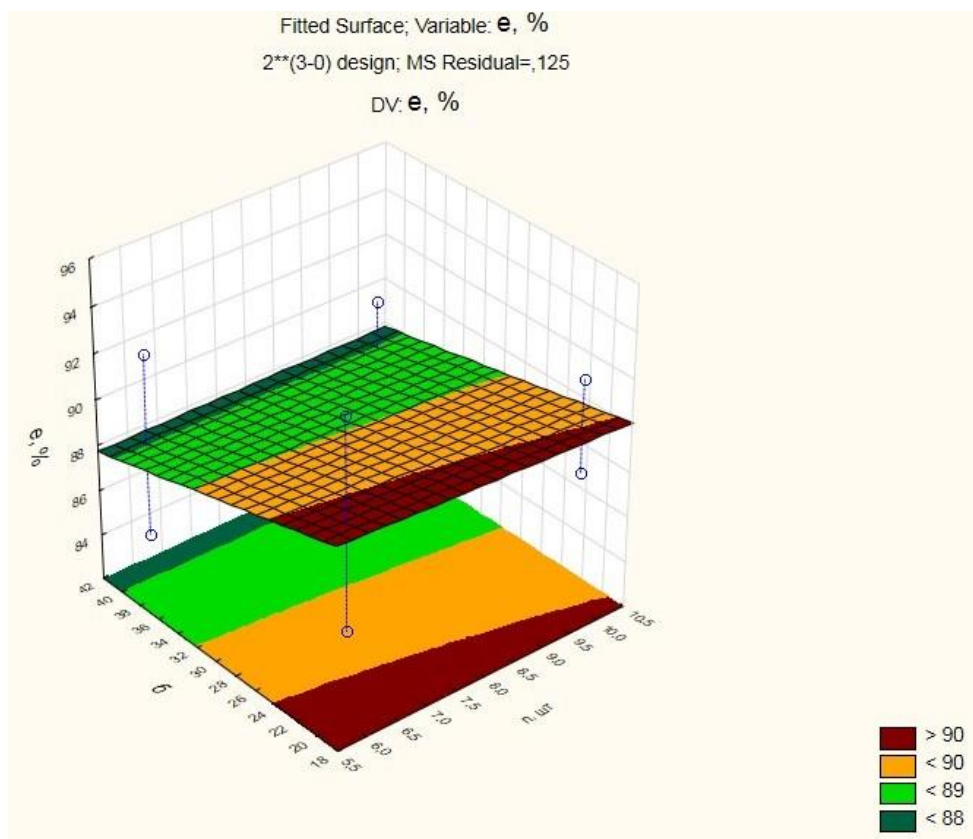


Рис. 2.19. Поверхня  $Y = f(x_1 x_3)$ , впливу кількості жалюзі,  $n$ , та кута нахилу жалюзей,  $(\alpha)$  на ефект очистки ( $Y$ )

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

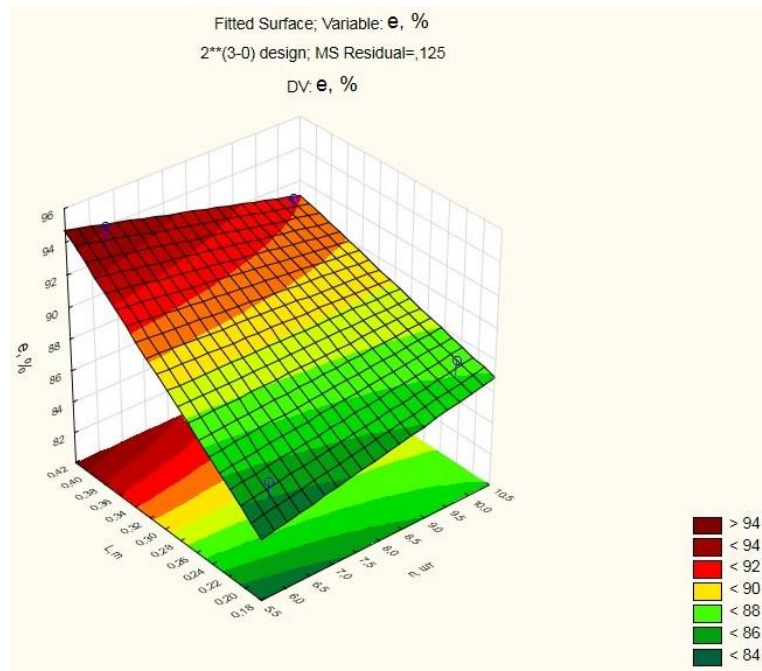


Рис. 2.20. Поверхня відгуку  $Y = f(x_2, x_3)$ , впливу довжини жалюзі, ( $L$ ) кількості жалюзі,  $n$ , на ефект сепарації ( $Y$ )

Аналіз отриманих результатів статистичної моделі дозволяє стверджувати, що найвагоміший вплив серед вибраних факторів на ефект очистки має кут нахилу жалюзі та і попарна взаємодія першого та другого факторів. Відповідно виходячи з графіків (рис. 2.10...2.12) та враховуючи конструкцію пневмокамери сепаратора САД-5 можна стверджувати, що раціональними параметрами цих факторів є: кут нахилу жалюзі  $-\alpha=30^\circ$ , довжина жалюзі  $-L = 0,3$  м та кількість жалюзів  $n = 8$  шт.

### 2.7.3. Аналіз якісних показників пневмосепарації вдосконаленого та базового каналів пневмосистеми САД-5

Під час порівняльного аналізу ефективності пневмосепарації зернового матеріалу в удосконаленій та базовій конструкції пневмо каналу було отримано відповідні наступні графічні залежності (рис. 2.21).



### 3.ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Агротехнічні вимоги до конструкцій пневмосепараторів

Під час проєктування та експлуатації пневмосепараторів особливу увагу необхідно приділяти відповідності конструкції основним агротехнічним вимогам. Це забезпечує ефективну очистку та сепарацію зернової маси без пошкодження насіння й збереження посівних якостей [13].

До основних агротехнічних вимог належать:

1. Конструкція сепаратора повинна забезпечувати ефективне видалення легких домішок, полови, уламків соломи, пустих та щуплих зерен. Показники якості пневмосепарації мають відповідати вимогам до підготовки насінневого матеріалу відповідно до встановлених стандартів.
2. При транспортуванні, подачі та русі матеріалу всередині сепаратора повинна бути мінімізована дія ударних навантажень і зусиль тертя. Це особливо важливо при роботі з дрібнонасіnnими культурами, як-от ріпак або льон.
3. Рівномірність подачі матеріалу. Для стабільної роботи повітряного потоку важливо, щоб зернова маса надходила у зону сепарації рівномірним шаром. Це досягається оптимальною формою й розміщенням живильних пристроїв, а також налаштуванням кута нахилу лотків.
4. Можливість регулювання технологічних параметрів. Конструкція має передбачати регулювання швидкості повітряного потоку, кута напрямку, положення заслінок або жалюзі, що дозволяє адаптувати пневмосепаратор до різних типів культур і початкового ступеня засміченості матеріалу.
5. Внутрішні поверхні сепаратора повинні бути гладкими або мати антифрикційне покриття, що запобігає налипанню вологого або сміття
6. Енергоощадність і компактність. Сучасні вимоги до машин передбачають зниження енерговитрат при збереженні продуктивності, що досягається за рахунок удосконалення аеродинамічного профілю каналів та оптимізації аеродинамічної дії на частинки.
7. Універсальність. Необхідно, щоб конструкція була придатною для роботи з різними культурами без потреби суттєвої перебудови сепаратора.

										УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
											32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

### 3.2. Технологічні розрахунки пневмосепаратора САД-5

#### 3.2.1 Визначення технологічних параметрів шнекового завантажувача пневмосепаратора САД-5

Максимальна продуктивність транспортерів (шнекових) розраховуємо за формулою:

$$Q = \frac{3600\pi(D^2 - d^2)v_n\psi\gamma}{4}, \quad (3.1)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнека, м;

$d$  – внутрішній діаметр шнека, м;

$v_n$  – швидкість руху насіння при транспортуванні, м/с;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення жолобу насінням пшениці,  $\psi = 0,5$  [13];

$\gamma$  – об'ємна маса насіння пшениці,  $\gamma = 0,44$  т/м<sup>3</sup> [13]

На основі заданої продуктивності пневмосепаратора САД-5 при калібруванні насіння пшениці  $Q = 3$  т/год з формули (3.1) розраховуємо необхідний зовнішній діаметр шнеку:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{Q}{900\pi v_n \psi \gamma}}, \quad \text{м} \quad (3.2)$$

З урахуванням, що

$$v_n = S \frac{n}{60}, \quad \text{м} \quad (3.3)$$

де  $S$  – крок шнеку транспортера завантажувача САД-5, м

$n$  – частота обертів шнеку завантажувача САД-5, об/хв.

Беручи до уваги таблиці типових шнеків [13] для відповідної продуктивності сепаратора приймаємо значення:  $S = 0,18$  м,  $n = 60$  об/хв,  $d = 0,08$  м.

Отже

$$v_n = 0,18 \cdot \frac{60}{60} = 0,18, \quad \text{м/с} \quad (3.4)$$

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Підставляючи отримані значення в рівняння (3.6), отримаємо:

$$D = \sqrt{0,08^2 + \frac{3}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,17 \cdot 0,5 \cdot 0,44}} = 0,2 \text{ м}$$

Приймаємо шнек завантажувача з зовнішнім діаметром  $D = 200$  мм.

Розраховуємо потужність на валу шнека за наступною формулою:

$$N_0 = \frac{Q}{367} (L \cdot \omega \pm H) + 0,02 \cdot E \cdot q_k \cdot L \cdot \omega_k, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де  $L$  – максимальна довжина завантажувача сепаратора,  $L = 3,6$  м;

$H$  – висота піднімання насіння пшениці,  $H = 1,9$  м;

$\omega$  – коефіцієнт, який враховує опір переміщення пшениці,  $\omega = 2,5$  [13];

$k = 0,2$  – коефіцієнт, що враховує тип переміщення гвинта шнека;

$q_k$  – маса всіх частин завантажувача, що обертається,  $q_k = 40$  кг/м;

$\omega_k$  – коефіцієнт опору переміщення частин шнеку, що обертаються,  
 $\omega_k = 0,16$ ;

$$N_0 = \frac{3}{367} (3,5 \cdot 2,5 + 1,85) 0,02 \cdot 0,2 \cdot 40 \cdot 3,5 \cdot 0,16 = 0,7, \text{ кВт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна для привода шнекового завантажувача:

$$N = \frac{K \cdot N_0}{\eta}; \text{ кВт} \quad (3.6)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує запас потужності двигуна,  $K = 1,25$ ;

$\eta$  – ККД приводу електродвигуна  $\eta = 0,7$ ;

Відповідно, визначаємо потужність електродвигуна пневмосепаратора САД-5

$$N = \frac{1,25 \cdot 0,7}{0,8} = 1,1 \text{ кВт}$$

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Вдповідно до каталогів [ згідно з ДСТУ ІЕС 60034], при потужності 1,1 кВт широко застосовується електродвигун типу АІР71А2У3 або його аналоги. Основні технічні характеристики цього двигуна:

- Номінальна потужність: 1,1 кВт;
- Номінальна напруга: 380 В;
- Частота обертання: 2800 об/хв;
- ККД: не менше 78 %;
- Клас захисту: ІР54;
- Кліматичне виконання: У3 (для помірного клімату)

Даний тип електродвигуна відповідає умовам роботи сепараційного обладнання, забезпечуючи надійну та стабільну подачу обертального моменту.

Крім того, його стандартні геометричні розміри дозволяють легко інтегрувати його до існуючої конструкції сепаратора САД-5 без додаткових змін.

### 3.2.2. Розрахунок параметрів бункеру пневмосепаратора САД-5

Об'єм бункеру розраховується з урахуванням максимальної продуктивності пневмосепаратора, необхідного часу перебування зерна в бункері та коефіцієнта заповнення об'єму [13]:

$$V = \frac{P \cdot \tau}{24 \cdot \gamma \cdot \varphi}, \text{ м}^3 \quad (3.7)$$

де  $\gamma$  – об'ємна маса насіння пшениці, т /м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення бункеру насінням пшениці всього об'єму,  
 $\varphi = 0,6 \dots 0,85$

Тоді, об'єм бункеру пневмосепаратора САД-5 розраховуємо:

$$V = \frac{45,7 \cdot 0,6}{24 \cdot 0,75 \cdot 0,85} = 2 \text{ м}^3$$

### 3.2.3. Розрахунок основних параметрів живильника бункеру

Для створення потрібної швидкості руху зерна перед подачею в пневмокамеру необхідно визначити параметри живильника, а саме: його довжину, кут нахилу та радіус.

									УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Відштовхуючись від досліджень [12], швидкість руху зерна при введенні в пневмокамеру повинна бути  $V_e = 0,6 \dots 0,8$  м/с. При цьому, кут нахилу похилої поверхні бункеру залишається незмінним, тому приймаємо  $\alpha = 35^\circ$ .

Швидкість зерна в кінці прямолінійної похилої площини розраховуємо за формулою:

$$v_1 = \sqrt{2gS_p(\sin \alpha - f \cos \alpha)} + v_0 \quad (3.8)$$

довжину прямолінійної похилої ділянки живильника :

$$S_p = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)} \quad (3.9)$$

де  $v_0$  – швидкість зерна на початку виходу з бункеру , м/с;

$v_1$  – швидкість зерна в кінці прямолінійної похилої ділянки, м/с;

$\alpha$  – кут нахилу похилої поверхні живильника, град;

$f$  – коефіцієнт тертя зерна об метал,  $f = 0,4 \dots 0,5$

$$S_p = \frac{0,2^2 - 0,04^2}{2 \cdot 9,8(\sin 35 - 0,5 \cos 35)} = 0,28 \text{ м}$$

Прийmemo довжину прямолінійної ділянки  $L_p = 0,35$  м, при цьому радіус згідно експериментальних досліджень  $r = 0,35$  м.

### 3.2.4. Визначення параметрів пневмоканалу сепаратора.

Використання в горизонтальному пневмоканалі струменевого повітряного потоку дозволить значно підвищити якісні показники пневмосепарації. При цьому, враховуючи результати експериментальних досліджень [14], можемо стверджувати, що це дасть змогу використовувати сепаратор для очищення широкого спектру насінєвих культур.

Визначаємо ширину повітряної камери сепаратора САД-5 за формулою:

$$B = \frac{Q}{q_b \cdot k}, \text{ м}^3 \quad (3.10)$$

де  $Q$  – максимальна продуктивність модернізованого сепаратора, т/год;

$q_b$  – величина питомого навантаження пневмоканалу, т/дм · год

$k$  – коефіцієнт, який враховує удосконалення пневмосепаратора;

										УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
											36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$k = \frac{q_b}{q'_b} \quad (3.11)$$

де  $q_b$  – величина питомого навантаження вдосконаленої пневмокамери САД-5, т/дм·год;

$q'_b$  – величина питомого навантаження на одиницю ширини пневмоканалу в базовому пневмосепараторі, т/дм·год.

$$k = \frac{63}{53} = 1,18$$

З врахуванням цього, ширина пневмокамери сепаратора В:

$$B = \frac{3}{0,63 \cdot 1,18} = 4,76 \text{ дм} = 476 \text{ мм} \quad (3.12)$$

Відповідно до рекомендацій [13], відношення ширини горизонтального пневмоканалу В до її глибини  $C_1$  повинна бути

$$\frac{C_1}{B} = 2,2 \dots 2,4 \quad (3.13)$$

З урахування цього, глибина пневмо каналу рівна:

$$C_1 = 476 \cdot 2,2 = 1080 \text{ мм}$$

Приймаємо  $C_1 = 1080$  мм.

Розраховуємо необхідну питому продуктивність, яка віднесена до площі робочого перерізу пневмоканалу:

$$q_F = \frac{Q}{B_1 \cdot c_1} \quad (3.14)$$

де  $Q$  – максимальна продуктивність пневмосепаратора, кг;

$B_1, C_1$  – ширина і глибина пневмосепаруючої камери відповідно, дм.

$$q_F = \frac{3000}{4,76 \cdot 10,5} = 100 \text{ кг/дм}^2 \cdot \text{год}$$

Визначаємо необхідну кількість розподільників повітряного потоку, враховуючи ширину пневмо каналу В. Приймаємо їх ширину розподільників і відстань між ними 8 мм та 20 мм відповідно [13]:

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_p = \frac{B}{b_p + k_p} \quad (3.15)$$

де  $b_p$  – ширина розподільника повітряного потоку, мм;

$k_p$  – вертикальна відстань між розподільниками потоку, мм;

$$n_p = 476/8 + 20 = 17 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість розподільників повітряного потоку – 17 шт, кожен з яких з шириною 8 мм, при відстані між ними – 20 мм.

### 3.2.6 Енергетичні розрахунки пневмосепаратора

3.2.6.1. Розрахунок витрат повітря в пневмосепараційній камері і обґрунтування параметрів жалюзійного напрямника.

Для забезпечення ефективної роботи пневмосепаратора САД-5 необхідно визначити витрати повітря, що проходить через пневмо канал.

Основними параметрами для розрахунку є площа поперечного перерізу повітряного каналу та швидкість повітряного потоку на виході з вентилятора.

Поперечний переріз каналу визначається за формулою:

$$A = b \cdot h, \quad (3.16)$$

$b = 0,476$  м - ширина пневмо каналу,

$h = 0,15$  м - висота пневмо каналу.

Таким чином, площа поперечного перерізу пневмо каналу становить:

$$A = 0,476 \cdot 0,15 = 0,0714 \text{ м}^2$$

Об'ємна витрата повітря розраховується як добуток площі перерізу на швидкість повітряного потоку:

$$Q = A \cdot v, \quad (3.16)$$

де:  $v = 7$  м/с - швидкість повітряного потоку.

$$Q = 0,0714 \cdot 7 = 0,4998 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$Q_{\text{год}} = 0,4998 \cdot 3600 = 1799,28 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, при зазначених геометричних параметрах каналу сепаратора САД-5 та швидкості повітряного потоку витрата повітря становить близько 0,5 м<sup>3</sup>/с, або орієнтовно 1800 м<sup>3</sup>/год.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



На основі розрахунків приймаємо стандартний діаметр  $d_{п2} = 140$  мм

Визначаємо фактичне передаточне число пасової передачі:

$$i = \frac{d_{n2}}{d_{n1} \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (3.19)$$

$$i = \frac{140}{136 \cdot (1 - 0,02)} = 1,12$$

Визначаємо швидкість руху паса:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{n1} \cdot n_{дв}}{60 \cdot 1000} \quad (3.20)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 1420}{60 \cdot 1000} = 9,26 \text{ м/с}$$

Частота обертів веденого валу пасової передачі становить:

$$n_{в} = \frac{d_{п1} \cdot n_{дв} \cdot (1 - \varepsilon)}{d_{п2}} \quad (3.21)$$

$$n_{в} = \frac{125 \cdot 1420 \cdot (1 - 0,02)}{140} = 1244 \text{ об/хв.}$$

Міжосьову відстань приймаємо згідно до рекомендацій [16]:

$$a = 0,95 \cdot d_{n2} = 0,95 \cdot 140 = 136 \text{ мм.}$$

Визначаємо розрахункову довжину паса:

$$L = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_{n1} + d_{n2}) + \frac{(d_{n1} - d_{n2})^2}{4 \cdot a} \quad (3.22)$$

$$L_p = 2 \cdot 133 + \frac{3,14}{2} \cdot (125 + 140) + \frac{(140 - 125)^2}{4 \cdot 133} = 678,24 \text{ мм.}$$

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо стандартну довжину пасу  $L = 710$  мм.

Згідно стандартної довжини пасу, дійсна міжосьова відстань буде:

$$a = \frac{2 \cdot L - \pi \cdot (d_{n1} + d_{n2}) + \sqrt{[2 \cdot L - \pi \cdot (d_{n1} + d_{n2})]^2 - 8 \cdot (d_{n2} - d_{n1})^2}}{8}, \quad (3.23)$$

$$a = \frac{2 \cdot 710 - 3,14 \cdot (125 + 140) + \sqrt{[2 \cdot 710 - 3,14 \cdot (125 + 140)]^2 - 8 \cdot (140 - 125)^2}}{8} = 148$$

Розраховуємо мінімальну міжосьову відстань для зменшення зусилля при монтажі і знятті пасу:

$$a_{\min} = a - 0,01 \cdot L, \quad (3.24)$$

$$a_{\min} = 148 - 0,01 \cdot 710 = 140 \text{ мм}$$

Визначаємо максимальну міжосьову відстань при створенні натягу та підтягуванні паса при витяжці:

$$a_{\max} = a + 0,025 \cdot L, \quad (3.25)$$

$$a_{\max} = 148 + 0,025 \cdot 710 = 164 \text{ мм}$$

Розраховуємо кут обхвата на меншому шківу вентилятора:

$$\alpha_1^0 = 180^0 - 60^0 \cdot \frac{d_{n2} - d_{n1}}{a} \quad (3.26)$$

$$\alpha_1^0 = 180^0 - 60^0 \cdot \frac{140 - 125}{148} = 172^0.$$

При цьому, вихідна довжина паса [16],  $L_0 = 2240$  мм; величина відносної довжини  $L/L_0 = 710/2240 = 0,28$ .

Значення коефіцієнту довжини пасу [13],  $C_L = 0,84$ . Вихідна потужність -  $d_{n1} = 125$  мм та швидкість паса  $v = 9,28$  м/с,  $N_0 = 2,26$  кВт.

									УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Значення коефіцієнта кута обхвату [16],  $C_a = 0,98$ .

Враховуємо поправку до крутного момента на передаточне число [16],  
 $\Delta T_u = 2,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Та поправка до потужності двигуна:

$$\Delta N_u = 0,0001 \cdot \Delta T_u \cdot N_{\text{дв}}, \quad (3.27)$$

$$\Delta N_u = 0,0001 \cdot 2,1 \cdot 1420 = 0,28 \text{ кВт}$$

Згідно [13], коефіцієнт режиму роботи двигуна при відповідному навантаженні,  $C_p = 0,78$ .

Розраховуємо допустиму потужність на один пас вентилятора:

$$[N] = (N_0 \cdot C_a \cdot C_L + \Delta N_u) \cdot C_p, \quad (3.28)$$

$$[N] = (2,26 \cdot 0,98 \cdot 0,84 + 0,29) \cdot 0,78 = 1,64 \text{ кВт}.$$

Визначаємо необхідну кількість пасів:

$$z = \frac{N}{[N]}, \quad (3.29)$$

$$z = \frac{2,8}{1,64} = 1,7.$$

При цьому, коефіцієнт, який враховує нерівномірність навантажень  $C_z = 1$ .

Визначаємо необхідну кількість пасів у передачі:

$$z' = \frac{z}{C_z} \quad (3.30)$$

$$z' = \frac{1,7}{1} = 1,7.$$

Згідно розрахунків приймаємо необхідну кількість пасів  $z' = 2$ .

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників під час експлуатації модернізованого пневмосепаратора САД-5

У процесі використання модернізованого пневмосепаратора САД-5 можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17]:

а) Фізичні фактори безпеки:

- наявність рухомих та обертових елементів конструкції;
- підвищена запиленість повітря в зоні обслуговування агрегату;
- посилений шумовий фон та вібрація в районі розташування оператора;
- перевищення норм температури та вологості повітря в зоні експлуатації;
- ризик ураження електричним струмом (напруга 220/380 В);
- контакт з нагрітими поверхнями окремих вузлів машини;
- недостатнє природне освітлення робочої ділянки.

б) Хімічні загрози:

- контакт з токсичними речовинами при виконанні технічного обслуговування та ремонту, зокрема: мастила ТАП-15В, ТСП-15К, солідол тощо.

в) Пожежонебезпечні ситуації:

- ймовірність короткого замикання або перегріву електричних компонентів пневмосепаратора.

### 4.2 Протипожежна профілактика при експлуатації САД-5

За дотримання правил пожежної безпеки в господарстві відповідають: керівник підприємства, головний інженер та інженер з охорони праці. У виробничих підрозділах - відповідальність покладається на керівників цих підрозділів.

Найбільш пожежонебезпечними зонами є дільниці очищення та калібрування зерна, а також місця експлуатації сільськогосподарської техніки.

На робочому місці пневмосепаратора САД-5 мають бути передбачені пристрої для закріплення первинних засобів гасіння: вогнегасники (ОУ-5,

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

ОПС-10), а поруч - встановлені протипожежні щити, ящики з піском (0,5 м<sup>3</sup>), які мають бути легко доступними. Доступ до них повинен здійснюватися за  $\leq 8$  секунд без використання додаткового обладнання.

У разі займання, особливо в зоні електродвигуна, агрегат негайно відключається від електромережі, після чого пожежа ліквідується відповідними засобами. Згідно з ГОСТ 12.4.026–72, пожежогасники повинні бути пофарбовані в червоний колір.

Відповідно до ДСТУ 2189-93, зерноочисне відділення обладнується такими засобами гасіння:

- два вогнегасники ОП-5;
- дві пожежні лопати;
- два спеціальні відра;
- ящик з піском;
- резервуар із водою.

Майданчик, де розміщується зерноочисна техніка, також повинен бути оснащений протипожежними засобами згідно з ГОСТ 12.2.037.

#### **4.3 Заходи щодо забезпечення гігієнічних та безпечних умов праці**

Оператором сепаратора САД-5 може працювати лише особа, яка досягла 18 років, має відповідне посвідчення, пройшла фахову підготовку й навчання.

Працівники, які обслуговують електрифіковані установки, повинні мати відповідну групу з електробезпеки.

До початку роботи:

- обов'язково погоджується межа робочої зони з керівником;
- заборонено перебування сторонніх осіб у зоні дії обладнання;
- слід перевірити стан спецодягу — він не повинен мати розривів або вільно звисаючих елементів, які можуть зачепитися за обертові механізми.

У разі надмірного утворення пилу під час роботи обов'язково використовуйте респіратор для захисту органів дихання та захисні окуляри типу ПО-02 для очей. Не допускається використання несправного інструменту або допоміжного обладнання під час експлуатації сепаратора.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45





## Список використаної літератури

1. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г., Тенденції розвитку конструкції машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. – Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 33. Кіровоград: КДТУ, 2003 – с. 53-59.
2. <https://aeromeh.com.ua/product/separator-sad-5/>
3. Васильковський О.М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 286–288.
4. Проспект фірми «Petkus». Машини попереднього та інтенсивного очищення К-527, К-526, К-560.
5. <https://ismgrain.com.ua/ru/goods/vozdushniy-separator-ism-40-4560761/>
6. <https://alistan-agro.com/ru/separator/separator-zerna-als-7>
7. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.
8. <https://aeromehcad.com.ua/ru/goods/separator-zernoochistitelny-sad-5-podgotovka-posevnogo-materiala-4556042/>
9. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.
10. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К. : Укр. акад. с.-х. наук, 1960. – 283 с.
11. 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.

					УАСЗ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48



# ДОДАТКИ

## Оцінка техніко-економічного рівня розробленої машини

Вихідні дані до розрахунку:

$D_{зд} := 44$  - загальна кількість найменувань деталей у дослідній машині, шт;

$D_{од} := 7$  - кількість найменувань оригінальних деталей у дослідній машині;

$D_{зс} := 42$  - загальна кількість найменувань деталей у серійній машині;

$D_{ос} := 12$  - кількість найменувань оригінальних деталей у серійній машині;

$D_{стд} := 26$  - кількість найменувань стандартних деталей у дослідній машині;

$D_{стс} := 22$  - кількість найменувань стандартних деталей у серійній машині;

$H_{зд} := 88$  - загальна кількість деталей у дослідній машині, шт;

$H_{зс} := 74$  - загальна кількість деталей у серійній машині, шт;

$C_c := 24000$  - собівартість виготовлення серійної машини, грн;

$C_{пс} := 5200$  - ціна покупних виробів у собівартості серійної машини, грн;

$C_{пд} := 4800$  - ціна покупних виробів у собівартості дослідної машини, грн;

$M_c := 211$  - маса серійної машини,  $M_d := 212$  - маса дослідної машини, кг;

$M_{пс} := 46$   $M_{пд} := 46$  - маси покупних виробів відповідних машин, кг;

$P_{ос} := 5$  - продуктивність машини за 1 год. основного часу, т/год;

$P_{од} := 6$  - продуктивність машини за 1 год. основного часу, т/год;

$K_{екс} := 0.76$  - коефіцієнт використання експлуатаційного часу зміни;

$T_{екс} := 8 \cdot 0.76 = 6.08$  - кількість годин експлуатаційного часу серійної машини у зміну;

$T_{зм} := 8$  - тривалість робочої зміни, год;

$T_{лп} := 6$   $T_{то} := 6$  - кількість хвилин у робочу зміну на ліквідацію поломок та ТО;

$T_{врс} := 8 \cdot 0.82 = 6.56$  - кількість годин робочого часу серійної машини у зміну;

$K_{врс} := 0.82$  - коефіцієнт використання робочого часу зміни;

$K_{од} := 2$   $K_{ос} := 2$  - кількість операцій, які виконують відповідні машини;

Визначаємо коефіцієнт уніфікації

$$K_{уд} := \frac{D_{зд} - D_{од}}{D_{зд}}$$

$$K_{уд} = 0.841$$

$$K_{ус} := \frac{D_{зс} - D_{ос}}{D_{зс}}$$

$$K_{ус} = 0.714$$

Відносний показник рівня уніфікації конструкції знаходиться за формулою

$$B_{ky} := \frac{K_{уд}}{K_{ус}} \quad B_{ky} = 1.18$$

Коефіцієнт стандартизації конструкції

$$K_{стд} := \frac{D_{стд}}{D_{зд}} \quad K_{стс} := \frac{D_{стс}}{D_{зс}}$$
$$K_{стд} = 0.591 \quad K_{стс} = 0.524$$

Відносний показник рівня стандартизації конструкції

$$B_{ст} := \frac{K_{стд}}{K_{стс}} = 1.1$$

Коефіцієнт конструктивної повторюваності

$$K_{кпд} := \frac{H_{зд}}{D_{зд}} = 2 \quad K_{кпс} := \frac{H_{зс}}{D_{зс}} = 1.762$$

Відносний показник конструктивної повторюваності

$$B_{кп} := \frac{K_{кпд}}{K_{кпс}} = 1.135$$

Собівартість дослідної машини, грн.

$$C_d := \frac{C_c - C_{пс}}{M_c - M_{пс}} \cdot (M_d - M_{пд}) + C_{пд} = 23713.9$$

Коефіцієнт використання експлуатаційного часу дослідної машини

$$K_{екд} := \frac{T_{екс} + \frac{T_{лп} + T_{го}}{60}}{T_{зм}} = 0.79$$

Коефіцієнт використання робочого часу дослідної машини

$$K_{врд} := \frac{T_{врс} + \frac{T_{го}}{60}}{T_{зм}} = 0.83$$

Продуктивність машини за 1 годину експлуатаційного та змінного часу, т/год.

$$\Pi_{екд} := \Pi_{од} \cdot K_{екд} = 4.7 \quad \Pi_{екс} := \Pi_{ос} \cdot K_{екс} = 3.8$$
$$\Pi_{змд} := \Pi_{од} \cdot K_{врд} = 5 \quad \Pi_{змс} := \Pi_{ос} \cdot K_{врс} = 4.1$$

Питома собівартість машини,  
грн/т/год

$$C_{\text{пд}} := \frac{C_{\text{д}}}{P_{\text{екд}}} = 5034.8$$

$$C_{\text{пс}} := \frac{C_{\text{с}}}{P_{\text{екс}}} = 6315.8$$

Відносний показник рівня питомої  
собівартості

$$V_{\text{сп}} := \frac{C_{\text{пс}}}{C_{\text{пд}}} = 1.254$$

Питома матеріаломісткість машини, кг/т/год.

$$M_{\text{пд}} := \frac{M_{\text{д}}}{P_{\text{екд}}} = 45$$

$$M_{\text{пс}} := \frac{M_{\text{с}}}{P_{\text{екс}}} = 55.5$$

Відносний показник рівня питомої матеріаломісткості

$$V_{\text{мп}} := \frac{M_{\text{пс}}}{M_{\text{пд}}} = 1.2$$

Відносний показник рівня універсализації

$$V_{\text{пу}} := \frac{K_{\text{од}}}{K_{\text{ос}}} = 1$$

Узагальнений показник техніко-економічного рівня модернізованої

$$N_{\text{у тр}} := 0.1 \cdot V_{\text{ку}} + 0.05 \cdot V_{\text{ст}} + 0.05 \cdot V_{\text{кп}} + 0.35 \cdot V_{\text{сп}} + 0.25 \cdot V_{\text{мп}} + 0.2 \cdot V_{\text{пу}} = 1.178$$

### Визначення економічної ефективності заходів по розробці машини

- $N_{\text{ор}} := 6$  - кількість найменувань оригінальних деталей, що розробляються;  
 $T_{\text{кон}} := 20$  - сумарна трудомісткість розробки конструкторської документації, год;  
 $Z_{\text{ст}} := 260$  - середньогодинна заробітна плата конструкторів, грн;  
 $V_{\text{с}} := 32$  - відрахування на соціальне страхування та спеціальні фонди, %;  
 $P_{\text{св}} := 25$  - процент посередніх витрат, %;  
 $T_{\text{т}} := 18$  - сумарна трудомісткість розробки технологічної документації, год;  
 $N_{\text{м}} := 2$  - кількість машин у дослідній партії, шт;  
 $N_{\text{ср}} := 50$  - середньорічна програма випуску дослідної машини, шт;  
 $\text{Ц}_{\text{с}} := 62600$  - оптова ціна серійної машини, грн;  
 $C_{\text{с}} := 18300$  - собівартість серійної машини, грн;  
 $K_{\text{р}} := 0.8$  - коефіцієнт розподілу економічного ефекту між виготовлювачем та споживачем дослідної машини;  
 $E_{\text{н}} := 0.16$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат;

Витрати на проектування конструкції, грн

$$B_{\Pi} := H_{\text{Op}} \cdot T_{\text{Kon}} \cdot Z_{\text{CГ}} \cdot \left(1 + \frac{B_{\text{C}}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Pi_{\text{CB}}}{100}\right) = 51480$$

Витрати на розробку технології виготовлення дослідної машини, грн

$$B_{\text{T}} := H_{\text{Op}} \cdot T_{\text{T}} \cdot Z_{\text{CГ}} \cdot \left(1 + \frac{B_{\text{C}}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Pi_{\text{CB}}}{100}\right) = 46332$$

Витрати на виготовлення технічного оснащення, необхідного для виробництва дослідної машини, грн

$$B_{\text{OCH}} := 25 \cdot (0.3 \cdot 2 \cdot 3500 + 0.2 \cdot 3 \cdot 2000 + 0.3 \cdot 4 \cdot 1000 + 0.2 \cdot 4 \cdot 500 + 0.2 \cdot 3 \cdot 100) = 12400$$

Витрати на виготовлення дослідного зразка, грн

$$B_{\text{ДЗ}} := 1.3 \cdot C_{\text{Д}} = 30828$$

Витрати на виготовлення дослідної партії, грн

$$B_{\text{ДП}} := 1.3 \cdot C_{\text{Д}} \cdot H_{\text{M}} = 61656$$

Інші витрати на проектування та освоєння виробництва дослідної машини, грн

$$I_{\text{НВ}} := \frac{15}{100} \cdot (B_{\Pi} + B_{\text{T}} + B_{\text{OCH}} + B_{\text{ДЗ}} + B_{\text{ДП}}) = 47144$$

Сума витрат на проектування та освоєння виробництва дослідної машини, грн

$$B_{\text{OСВ}} := B_{\Pi} + B_{\text{T}} + B_{\text{OCH}} + B_{\text{ДЗ}} + B_{\text{ДП}} + I_{\text{НВ}} = 361441$$

Питомі витрати на проектування та освоєння виробництва дослідної машини, грн

$$B_{\text{Пос}} := \frac{B_{\text{OСВ}}}{H_{\text{Cp}}} = 7229$$

Рентабельність виробництва серійної машини, %

$$P_{\text{C}} := \frac{\Pi_{\text{C}} - C_{\text{C}}}{C_{\text{C}}} \cdot 100 = 242$$

Оптова ціна дослідної машини, грн

$$\Pi_{\text{Oпд}} := C_{\text{Д}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{C}}}{100}\right) \cdot \frac{\Pi_{\text{екд}}}{\Pi_{\text{екс}}} \cdot K_{\text{P}} = 80437$$

Річний економічний ефект заводу-виробника від впровадження дослідної машини у виробництво, грн

$$E_{\text{ГВ}} := (\Pi_{\text{Oпд}} - C_{\text{Д}}) - (\Pi_{\text{C}} - C_{\text{C}}) - B_{\text{Пос}} \cdot E_{\text{H}} = 16966$$

## Визначення річного економічного ефекту споживача дослідної машини

$$P_{\text{обд}} := 1$$

$P_{\text{обс}} := 1$  - кількість робітників, виконуючих роботу і-го розряду, чел;

$\Gamma_{\text{ТС}} := 245$  - годинна тарифна ставка і-го розряду роботи, грн;

$K_{\text{П}} := 1.4$  - коефіцієнт переводу оптової ціни у балансову вартість;

$N_{\text{а}} := 15$  - норма щорічних амортизаційних відрахувань на реновацію

$K_{\text{М}} := 1$  - кількість машин, які входять до складу одного агрегату, шт;

$P_{\text{з}} := 840$  - нормативне річне завантаження машини, год;

$N_{\text{р}} := 7$  - норми на ремонт та технічний догляд за машиною, %;

$$N_{\text{з}} := 0.6$$

$$V_{\text{пдд}} := 1.8$$

- встановлена потужність електродвигунів та інших споживачів

$V_{\text{пдс}} := 1.8$  електроенергії, кВт;

$\text{Ц}_{\text{е}} := 4.32$  - ціна 1 кВт-год електроенергії, грн;

$$K_{\text{кд}} := 0.85$$

- коефіцієнти корисної дії електродвигунів та мережі;

$$K_{\text{км}} := 0.96$$

Заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн/т

$$Z_{\text{пд}} := \frac{P_{\text{обд}} \cdot \Gamma_{\text{ТС}}}{\Pi_{\text{змд}}} = 49.05 \quad Z_{\text{пс}} := \frac{P_{\text{обс}} \cdot \Gamma_{\text{ТС}}}{\Pi_{\text{змс}}} = 59.756$$

Амортизація машини,

грн/т

$$V_{\text{амд}} := \frac{K_{\text{П}} \cdot \text{Ц}_{\text{опд}} \cdot N_{\text{а}} \cdot K_{\text{М}}}{100 \cdot \Pi_{\text{екд}} \cdot P_{\text{з}}} = 4.27$$

$$V_{\text{амс}} := \frac{K_{\text{П}} \cdot \text{Ц}_{\text{с}} \cdot N_{\text{а}} \cdot K_{\text{М}}}{100 \cdot \Pi_{\text{екс}} \cdot P_{\text{з}}} = 4.12$$

Витрати на ремонт та технічний догляд за машиною,

грн/т

$$V_{\text{рд}} := \frac{K_{\text{П}} \cdot \text{Ц}_{\text{опд}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{М}}}{100 \cdot \Pi_{\text{екд}} \cdot P_{\text{з}}} = 1.99$$

$$V_{\text{рс}} := \frac{K_{\text{П}} \cdot \text{Ц}_{\text{с}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{М}}}{100 \cdot \Pi_{\text{екс}} \cdot P_{\text{з}}} = 1.92$$

Витрати на збереження машин, які входять до складу агрегату, грн/т

$$V_{зд} := \frac{H_3}{\Pi_{екд}} = 0.13$$

$$V_{зс} := \frac{H_3}{\Pi_{екс}} = 0.16$$

Витрати на електроенергію, грн/т

$$V_{ед} := \frac{V_{пдд} \cdot \Pi_e}{\Pi_{змд} \cdot K_{кд} \cdot K_{км}} = 1.91$$

$$V_{ес} := \frac{V_{пдс} \cdot \Pi_e}{\Pi_{змс} \cdot K_{кд} \cdot K_{км}} = 2.32$$

Сума експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю виробленої продукції, грн/т

$$E_{вд} := Z_{пд} + V_{амд} + V_{рд} + V_{зд} + V_{ед} = 57.35$$

$$E_{вс} := Z_{пс} + V_{амс} + V_{рс} + V_{зс} + V_{ес} = 68.28$$

Балансова вартість машин,

$$\text{грн} \quad B_{вд} := 1.4 \cdot \Pi_{опд} = 112611 \quad B_{вс} := 1.4 \cdot \Pi_c = 87640$$

Питомі капітальні витрати на одиницю виробленої продукції, грн/т

$$\Pi_{квд} := \frac{1}{\Pi_{екд}} \cdot \frac{B_{вд}}{P_3} = 28.46$$

$$\Pi_{квс} := \frac{1}{\Pi_{екс}} \cdot \frac{B_{вс}}{P_3} = 27.46$$

Річний економічний ефект споживача дослідної машини,

$$\text{грн} \quad E_{рсп} := \left[ (E_{вс} + E_n \cdot \Pi_{квс}) - (E_{вд} + E_n \cdot \Pi_{квд}) \right] \cdot \Pi_{екд} \cdot P_3 = 42616$$