

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

## **П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

### **Обґрунтування параметрів та режимів роботи шнекового сепаратора зернозбирального комбайна**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІз-1-23  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Часов Дмитро Павлович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Часову Дмитру Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів та режимів роботи шнекового сепаратора зернозбирального комбайна

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«11» листопада 2024 року № 3769

2. **Строк подання студентом роботи** 13.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика досліджень 3. Результати досліджень 4. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 5. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. **Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 19.04.2024 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 21.06.2024 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 13.09.2024 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 08.11.2024 р.	Виконав
5	Економічний	до 15.11.2024 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 13.12.2024 р.	Виконав

Студент

\_\_\_\_\_.  
( підпис )

\_\_\_\_\_.  
( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_.  
( підпис )

\_\_\_\_\_.  
( прізвище та ініціали )



## РЕФЕРАТ

Часов Д.П. Обґрунтуванням параметрів та режимів роботи шнекового сепаратора зернозбирального комбайна / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

**У першому розділі** представлено аналіз сучасних технологічних процесів.

**У другому розділі** проведено теоретичні дослідження.

**У третьому розділі** представлено програму, методику експериментальних досліджень та результати досліджень

**У четвертому розділі** приведено результати експериментальних досліджень

**У п'ятому розділі** приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

**У шостому розділі** приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

**Ключові слова:** сепаратор шнековий, енергетичні затрати, зернозбиральний комбайн, зерновий ворох.

Chasov D. Analysis of prematic systems of grain cleaning machines / D. Chasov // The 12<sup>th</sup> International scientific and practical conference «European congress of scientific achievements» (2-4,2024), Barcelona, Spain.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Характеристики оброблюваного матеріалу.....	10
1.2 Аналіз конструкцій сепараторів вороху зерна.....	11
1.3 Аналіз пневматичних систем зерноочисних машин.....	19
Висновки.....	22
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ .....	23
2.1 Обґрунтування технології та розробка пристрою для пневматичної очистки зерна .....	23
2.2 Обґрунтування діаметра шнека.....	27
2.3 Обґрунтування геометричних параметрів пневматичного шнекового сепаратора.....	30
2.4 Розрахунок потужності, яка затрачається на привід пневматичного шнекового сепаратора комбайна.....	35
Висновки .....	36
3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	37
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	37
3.2 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення дослідження.....	38
3.3 Методика визначення фізико-механічних властивостей зернового вороху.....	39
3.4 Методика визначення швидкості руху повітря пневмоканалі сепаратора.....	39
3.5 Дослідження ефективності процесу сепарування зернового вороху із використанням математичного методу планування експерименту.....	40
Висновки.....	42
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
4.1 Результати дослідження фізико-механічні властивості зернового вороху.....	43

4.2 Результати випробування повітряно-шнекового очисника зернового вороху..	45
Висновки.....	47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	48
Висновки.....	53
6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА .....	54
Висновки.....	57
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	62

## ВСТУП

Зі збільшенням валового збору зерна в Україні основна маса належить озимій пшениці. Посівні площі її складають половину, а валовий збір близько 60 %. Головні зони вирощування озимої пшениці в Україні степова і лісостепова. В степовій розміщено близько половини, а в лісостеповій більше третини її посіву.

Культура з підвищеною потребою в воді. Найкращі ґрунти для неї – чорноземи. Наука підтверджує, що Україна може щорічно збирати 30 – 35 млн. тон зерна озимої пшениці навіть при скорочуванні посівних площ. Для цього маємо гарні ґрунтово-кліматичні умови, високоврожайні сорти, сучасні технології.

**Актуальність теми дослідження.** Засміченість зерна після обмолоту комбайном із базовою системи очистки зернового вороху лежить в межах від 6 до 15%, а вологість – від 16 до 20%. Зберігання такого зерна без додаткової очистки від домішок призводить до псування врожаю. У зерновому воросі знаходяться легкі домішки які збільшують ризик виникнення процесу самозігрівання зерна. Тому, встановлення додаткового сепаратора на зернозбиральному комбайні, є актуальним завданням сьогодення.

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності процесу очищення зерна від домішок у зернозбиральному комбайні на основі обґрунтування параметрів конструкції та режиму роботи шнекового сепаратора.

### **Завдання роботи:**

- розробити конструкцію шнекового сепаратора на зернозбиральному комбайні.
- встановити взаємозв'язок параметрів конструкції та режимів роботи шнекового сепаратора із показником ефективності очищення зерна від домішок.
- складальне креслення шнекового сепаратора
- розробити методику та провести експериментальні дослідження ефективності очищення зерна від домішок шнековим сепаратором



**Об'єкт досліджень.** Технологічний процес очищення зерна у каналі шнекового сепаратора

**Предмет дослідження.** Взаємозв'язок параметрів конструкції та режимів роботи шнекового сепаратора із показниками ефективності очищення зерна.

**Методи досліджень.** Теоретична частина досліджень виконана на основі методів, які використовуються у математиці, фізиці, гідравліці, а також методики моделювання фізичних процесів у програмі «Сreo». Лабораторні дослідження, проведено із використанням стандартних та розроблених методик.

**Науково-технічна новизна.** Теоретично обґрунтовано параметри шнекового очисника зернового вороху. Встановлено оптимальні параметри шнекового очисника зернозбирального комбайна.

Розроблено складальне креслення шнекового сепаратора зернового вороху який монтується у зернозбиральний комбайн.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена конструкція шнекового сепаратора зернового вороху та визначені його раціональні параметри. Встановлення даного сепаратора на зернозбиральному комбайні дозволить покращити якість очистки зернового вороху.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Характеристики оброблюваного матеріалу

При очищенні зернового вороху використовують їхні технологічні властивості і аеродинамічні зерна та насіння, стан та форму поверхні, щільність, геометричні розміри (товщина, довжина, ширина (рисунок 1.1)).(таблиці 1.1- 1,2).



Рисунок 1.1- Розмірні характеристики насіння зерна:

довжина зерна  $L$  – найбільший його розмір; товщина  $\delta$  – найменший розмір; ширина  $b$ .

Таблиця 1.1 - Фізико-механічні властивості зернової маси різних зернових культур (за А. Б. Демським, В. В. Гортинським, , М. А. Борискіним)

Зернова маса культури	Розміри зерна, мм			Об'ємна маса, кг/дм <sup>3</sup>	Коефіцієнт внутрішнього тертя	Шпаруватість, %
	довжина	ширина	товщина			
Пшениці	4,8 – 8,0	1,6 – 4,0	1,5 – 3,3	0,76	0,47	54,0
Жита	5,0 – 10,0	1,4 – 3,6	1,2 – 3,5	0,73	0,49	38,0
Вівса	8,0 – 18,6	1,4 – 4,0	1,0 – 4,0	0,45	0,51	68,0
Ячменю	7,0 – 14,6	2,0 – 5,0	1,2 – 4,5	0,65	0,51	47,4
Рису	5,0 – 7,0	2,5 – 2,8	2,0 – 2,5	0,52	0,51	49 – 56
Гречки	4,2 – 6,2	2,8 – 3,7	2,4 – 3,4	0,72	0,52	55,5
Кукурудзи	5,5 – 13,5	5,0 – 11,5	2,5 – 8,0	0,73	0,53	35 – 55
Гороху	4,0 – 8,8	4,0 – 9,0	3,0 – 9,0	0,83	0,55	—
Преса	1,8 – 3,2	1,5 – 2,0	1,5 – 1,7	0,85	0,52	30 – 50

Таблиця 1.2 - Фізико-механічні властивості домішок (за А. Б. Демським, В. В. Гортинським, М. А. Борискіним)

Домішки зернових мас	Розміри, мм			Щільність домішок, $g/cm^3$	Маса 1000 зерен, г	Критична швидкість подачі повітря, м/с
	довжина	ширина	товщина			
Вівсюг звичайний	8,0 – 20,0	1,7 – 3,0	1,2 – 3,0	0,9 – 1,1	15,0 – 25,0	5,5 – 8,3
Гречка татарська	4,0 – 5,6	2,2 – 3,6	2,2 – 3,6	1,0 – 1,3	2,0 – 6,0	3,5 – 9,0
Кукіль звичайний	2,8 – 4,4	2,0 – 3,0	1,6 – 3,0	1,1 – 1,3	7,0 – 10,0	6,0 – 9,8
Ріжки	2,0 – 8,5	1,0 – 3,0	0,8 – 1,8	0,9 – 1,1	2,0 – 2,2	—
Редька дика	3,0 – 8,1	2,0 – 5,8	1,7 – 5,0	0,8 – 1,0	8,0 – 10,0	—
Гречка витка березковидна	2,0 – 3,6	1,6 – 2,8	1,6 – 2,6	3,0 – 1,3	2,0 – 6,0	3,7 – 7,4
Березка польова	2,4 – 4,3	1,4 – 3,4	1,1 – 2,8	0,97	10,0 – 11,1	4,6 – 8,0
Стоволос житній	7,0 – 10,0	1,7 – 2,0	1,5 – 1,7	0,3 – 0,4	6,0 – 8,0	—
Голівки осоту	2,5 – 3,5	0,8 – 1,5	0,4 – 0,9	0,74	0,37	—
Просо						
куряче	2,4 – 5,0	1,2 – 2,6	0,7 – 2,0	0,8 – 1,2	1,5 – 2,0	2,5 – 6,5
рисове	3,0 – 3,5	2,0 – 2,5	1,2 – 2,0	1,1 – 1,2	4,0 – 3,0	—
Волошка снія	2,3 – 3,0	1,2 – 1,7	0,8 – 1,2	—	4,0 – 5,9	4,2 – 6,5
В'язіль	4,0 – 8,0	1,5 – 2,0	1,0 – 1,2	—	—	—
Осот польовий	2,5 – 3,5	0,8 – 1,5	0,4 – 0,9	—	0,37	—
Пелюшка	4,8 – 8,0	4,5 – 8,0	3,2 – 8,0	—	—	11,0 – 16,0
Пирій повзучий	6,0 – 12,5	1,4 – 2,4	0,6 – 1,6	—	4,0 – 5,0	4,8 – 7,2

Аеродинамічні властивості насіння характеризуються коефіцієнтом парусності. Але як ознака поділу зернової суміші за аеродинамічними властивостями застосовують інший показник - критичну швидкість, що має простіший фізичний зміст та визначається безпосередніми вимірами.

## 1.2 Аналіз конструкцій сепараторів вороху зерна

Зерновий ворох необхідно очистити від домішок; Якісне очищення зменшує витрати на подальші операції. Після збирання зерно може зберігатися на ділянці не більше доби. Під час прибирання зернового вороха воно поділяється на окремі фракції через різницю компонентів у фізико-механічних властивостях. Очищення зернового вороху ділиться на три етапи: попередній, первинний і вторинний.

Свіжозібране зерно може мати вологість до 35%.

Таке зерно піддається попередньому очищенню, після чого зменшується вміст найбільших і дрібних сміттєвих домішок (з 15 ... 20 до 3 ... 5%).

Крім того, вологість зерна зменшується за рахунок видалення частини зайвої вологи, що знижує ймовірність процесу самозігрівання зерна під час зберігання.

Різні сміттєві домішки мають різні фізико-механічні властивості. Принцип дії всіх сепараторів для очищення зерна заснований на відмінності цих властивостей і можливості відокремлення частинок з певним набором властивостей. Чим більша різниця у значенні певного параметра між зерном і домішкою, тим легше їх відокремити один від одного. Найбільша ефективність очищення досягається при поєднанні принципів поділу зернової купи, наприклад, ваги та форми, форми та розміру тощо.

Існують різні конструкції та методи сепарації зерна. Проте не всі є достатньо ефективними. В даний час найбільш широко застосовуються такі методи сортування та очищення:

- а) розділення зернового вороху потоком повітря;
- б) поділ зернового вороху на триреї за довжиною;
- в) поділ зернового вороху на ситових млинах за крупністю;
- г) очищення та сортування зернового вороху за різницею у щільності;
- д) поділ зернової купи на основі різниці форми та властивостей поверхня частинок;
- е) способи електричної сепарації зернового вороху.

За функціональною характеристикою та способом дії на зерновий ворох сепаратори поділяють на:

- трієри (сепаратори, що розділяють суміші по довжині);
- ситовіддільники;
- 3) магнітні сепаратори;
- 4) ударно-абразивні сепаратори;
- 5) повітряні сепаратори;

б) повітряно-ситові сепаратори.

Комбайни фірми CLAAS обладнані спеціальними динамічними системами, які забезпечують якісну роботу комбайна на схилах. Для роботи на крутих схилах використовують спеціальні конструкції комбайнів серії MONTANA, де вся молотарка комбайна підтримується в горизонтальному положенні. У комбайнах CASE серії AF 2388, AFX 8019 очищення вороху здійснюється на двох решітках за допомогою повітряного потоку, який формується вентилятором із спеціальним профілем лопатей. Рівномірність потоку повітря забезпечується тим, що повітря втягується не з обох боків, як у вентиляторах традиційних комбайнів, а через усю відкриту зону лопатей.

У класичних комбінованих та роторних та комбайнах JOHN DEER серій WTS, STS та CTS застосовується уніфікована система очищення та транспортування та зерна, яка забезпечує очищення зерна у різних умовах збирання. Система складається із блоку шнеків, які подають ворох зерна на решето попереднього очищення, де відбувається відокремлення легких домішок (, дрібна солома, солома), які виносяться повітряним потоком за межі молотарки. У подальшому очищення зерна відбувається на верхньому та нижньому решетах, де відокремлюються більш важчі частини зернового вороху. Рівномірний потік повітря для очищення вороху зерна забезпечує роторний вентилятор діаметр якого становить 500 мм.

У комбайнах NEW HOLLAND серій CX і CR сепарація зернового вороху починається на грохоті, який подає ворох на перший ступінь верхнього решета. На верхньому решеті найлегшу частину соломи повітряний потік здуває у молотарку. Основний потік зерна, проходить через першу ступінь верхнього решета та подається на нижнє решето і таким чином зменшує навантаження на верхнє решето.

Нові моделі комбайнів New Holland CX6.90 для забезпечення більшої продуктивності та ефективності були доповнені системою Opti-Speed (рисунок 1.1). Opti-speed автоматично змінює швидкість роботи соломотрясів для приголомшливої сепарації на нерівному полі. Під час руху у гору швидкість

роботи соломотрясів зменшується, щоб система змогла зібрати кожне зернятко. Під час руху з гори швидкість збільшується, щоб запобігти забиванню та неефективній сепарації. Інші розробки включають поліпшену конструкцію бітера з регульованими пластинами для подальшого поліпшення сепарації, для зменшення зернових втрат і підвищення продуктивності у вологих умовах.

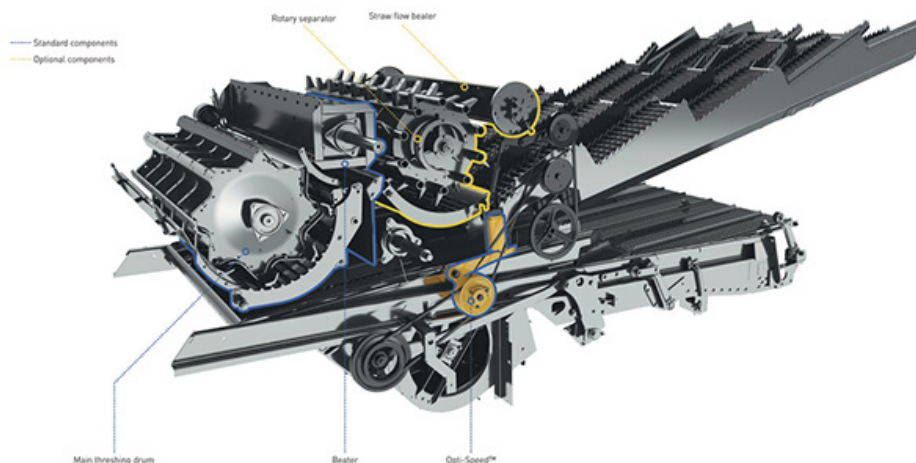


Рисунок 1.2 - Молотильно-сепаруюча система Opti-Speed комбайна New Holland CX6.90

У комбайнах фірми Challenger 660,680 скатна дошка має довжину 1800 мм, та здійснює зворотно-поступальні рухи, забезпечує ефективну подачу обмолоченого і сепарованого зерна у передню частину очисної системи Max Flow. Завдяки потужному повітряному потоку решітний стан повністю знаходиться під тиском, що забезпечує максимальне очищення зерна для максимальної продуктивності у найсуворіших умовах.

Весь недомолот надходить назад на ротор, де здійснюється повторна обробка. Частота обертання вентилятора встановлюється така за якої на решітний стан подається потік повітря, що забезпечує оптимальну якість очищення зерна. Керування здійснюється за допомогою терміналу C2000, який відображає частоту обертання вентилятора.

Дротові та пластинчасті решети вибирають в залежності від конфігурації комбайна та типу культури, що дозволяє забезпечити якісне очищення зернового вороху.

Універсальні високопродуктивні решета (УВР) зернозбирального комбайна здійснюють сепарацію зерна. Обмолочена хлібна маса з-під молотильного барабана подається на решета. Так-як зерно має більшу питому вагу по відношенні до та полови, то воно вільно проходить через решето вниз, а решта маси зернового вороху виноситься з комбайна. За таким принципом працюють решета будь-якого зернозбирального комбайна. Основні переваги УВР на відміну від штатних:

Гребінка універсального високопродуктивного решета (рисунок 1.3) є плоскою пластиною, що дозволяє повітряному потоку, що проходить через зазор між пластинами, мати чіткий напрямок знизу вгору і від початку до кінця решета. Змінюючи кут нахилу гребінок, оператор регулює повітряний потік.

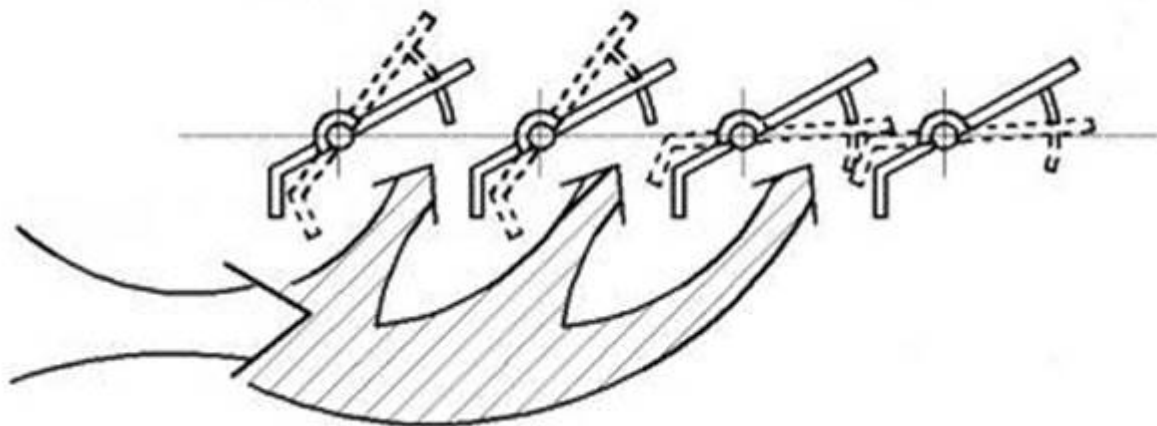


Рисунок 1.3 - Гребінка універсального високопродуктивного решета

Сепаратор зернового вороху (рисунок 1.4) включає: транспортну дошку, жалюзійні решета вентилятор та механізм приводу. Він розташований під молотильним апаратом і сепаратором соломистого вороху. Сепаратор відділяє через деку і сепаруючу поверхню клавіш дрібний ворох на транспортну дошку. Технологічний процес сепарації зернового вороху протікає у такий спосіб.

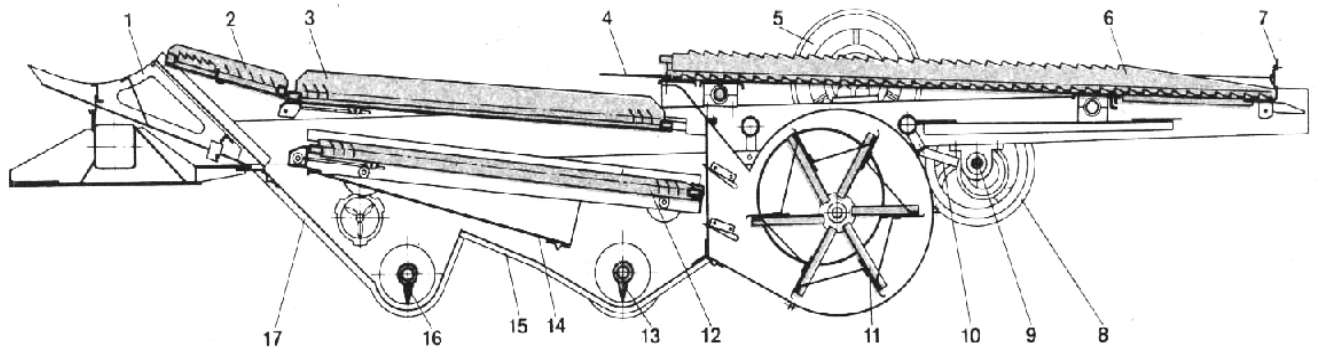


Рисунок 1.4 – сепаратор зернового вороху

Транспортна дошка коливається із частотою 265 коливань на хвилину та транспортує до верхнього решета ворох, що падає на неї. На кінці дошки знаходиться пальцева решітка.

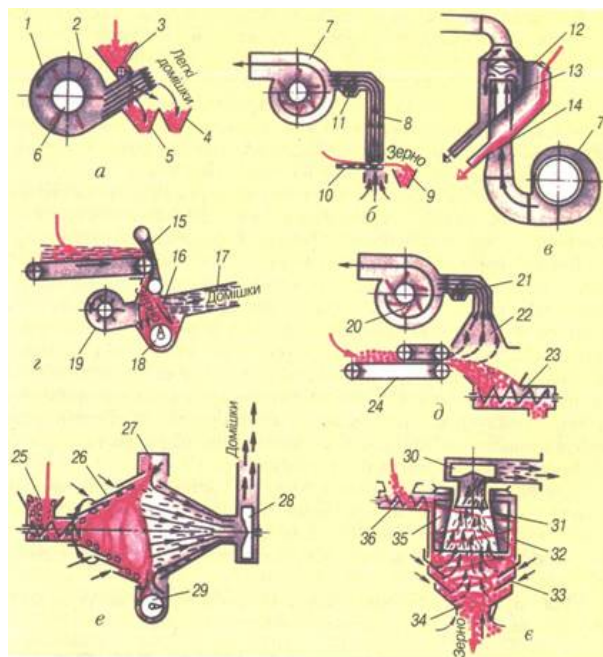


Рисунок 1.5 – Схеми пневмосепараторів:  
 а, б і в – пневмогравітаційні; г і д – пневмоімпульсні;  
 е і є – пневмовідцентрові;

Решітка виділяє на початок верхнього решета зернову фракцію, а солонисті частинки направляє сходом на менш завантажений ділянку сепаруючої поверхні.

Пневмосепаратори використовують для попереднього очищення зерна, яке надходить від комбайна. Повітряним потоком видаляють із зерна полову,



шматочки соломи, пил та насіння бур'янів.

Технологічна схема сепаратора МПО 50 (рисунок 1.6 включає пневматичний сепаратор і скальпер у вигляді сітки. У таких сепараторах відбувається замкнутий цикл руху повітря.

Скальпер являє собою сітку з розміром вічка 15-20 мм. Скальпер необхідний для відокремлення великих предметів, які можуть пошкодити сепаратор, якщо їх не видалити.

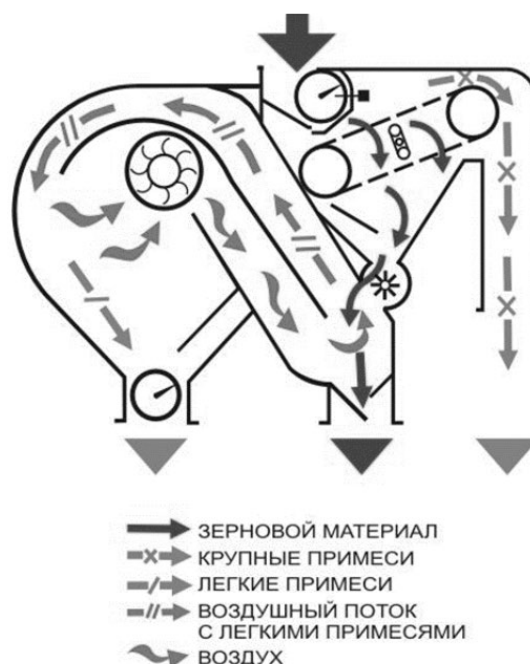


Рисунок 1.6 – Технологічна схема сепаратора МПО-50

Схеми замкнутого циклу повітря не забруднюють довкілля відокремленими бур'янами і не вимагають окремих систем очищення повітря.

Одним із представників ситових сепараторів є бурат. Це циліндрична решітка, всередині якої знаходиться зерновий ворох, при цьому циліндрична грата обертається. Недоліком цих сепараторів є те, що процес поділу відбувається на відносно невеликій площі циліндричної поверхні решітки (рисунок 1.7).

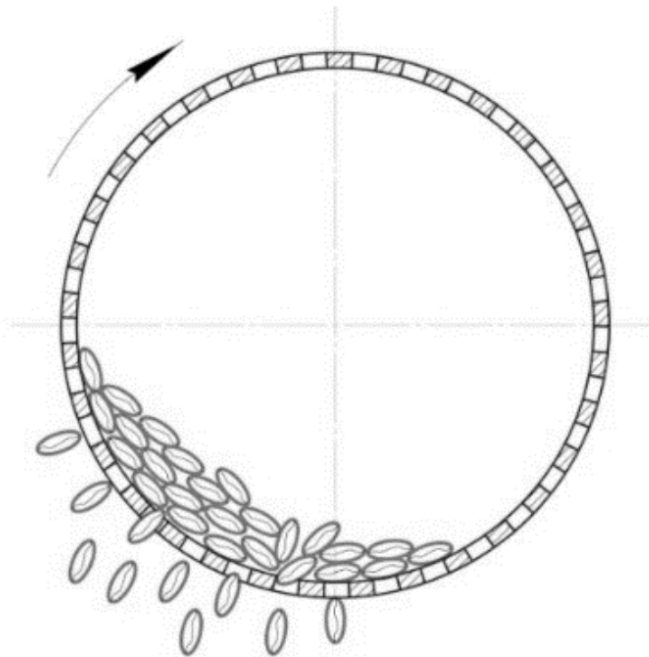


Рисунок 1.7 - Схема роботи циліндричних сепараторів

Окрім того, такі сепаратори мають значні габаритні розміри. Для забезпечення безперервного процесу поділу вісь циліндра повинна бути нахилена під кутом до горизонту, та вібрація використовується для підвищення якості очищення, але це призводить до збільшення розміру сепаратора.

Ситові робочі органи призначені для відокремлення частинок зерна вороху за геометричними параметрами (довжина, ширина, товщина). Екрани - це металеві листи з перфорованими отворами різної форми, розмірів і взаємного розташування. Листи виготовляються з тонкої оцинкованої сталі товщиною 0,5-1,5 мм

Ситові полотна виготовляються наступних типів:

- 1) з довгастими отворами, розташованими рядами;
- 2) з круглими отворами, центри яких розташовані у вершинах правильного шестикутника;
- 3) із трикутними, рівносторонніми отворами, розташованими рядами.

Залежно від типу домішок та культури форма отворів та їх розташування у ситах можуть змінюватись (рисунок 1.8).

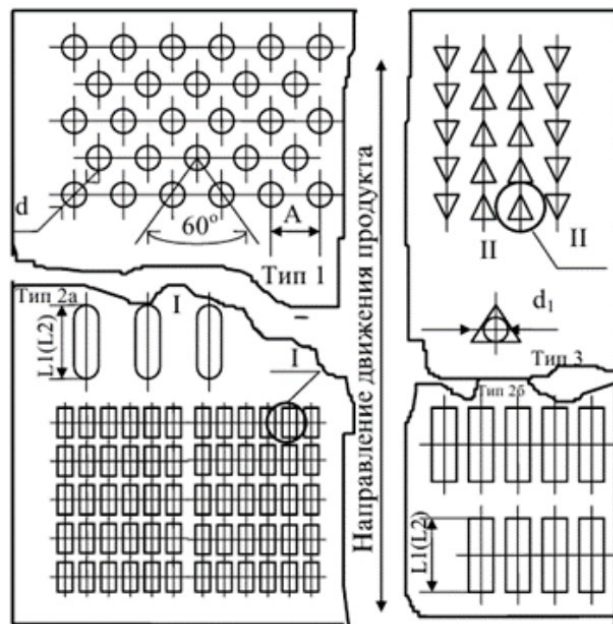


Рисунок 1.8 - Форма отворів у ситах

### 1.3 Аналіз пневматичних систем зерноочисних машин

Принцип дії повітряних сепараторів заснований на різниці аеродинамічних властивостей компонентів суміші. Частинки зернової купи мають різну масу, об'єм, геометричну форму поверхні.

Аналіз поточного стану сеперуючих робочих органів дозволяє зробити висновок, що при розділенні частинок зернового вороху за основними характеристиками (товщина, ширина, довжина, аеродинамічні властивості) потік повітря реалізовується не повністю. Технологічна ефективність використання повітряного потоку при сепарації частинок зернового вороху знаходиться в межах 15... 30%. Цей ефект пояснюється використанням повітряних каналів як додаткового робочого органу при очищенні зерна. Потік повітря завантажується нерівномірно, швидкість потоку повітря в різних частинах каналу різна, потік зерна створює ефект аеродинамічної тіні, коли частинки на краю перешкоджають впливу повітряного потоку на частинки в центрі вороху. Найкраща ефективність поділу досягається при розробці повітряних каналів як окремих робочих органів.

Коли частинка рухається в повітряному каналі, на неї діють такі сили: сила

тяжіння  $G$  та аеродинамічна сила  $R$ . Якщо частка розташована в потоці повітря, як показано на малюнку 1.9 а, то аеродинамічна сила  $R$  залежить від швидкості повітряного потоку, щільності частинок і площі січення частинки.

Коли частка рухається в горизонтальному аспіраційному каналі, з'являється додаткова підйомна зсувна сила  $R''$  (рис. 1.9 б). У такому випадку аеродинамічна сила  $R$  визначається сумою  $R''$  і  $R'$ .

Основне завдання пневматичних сепараторів - відділення легких домішок: пилу, лушпиння, частини стебел, солома, зламане зерно. Усі ці частинки мають нижчу швидкість зависання, ніж суцільне зерно. Коли повітряний потік подається з певною швидкістю, ці частинки будуть винесені у відходи, тоді як швидкість цільного зерна буде занадто низькою.

Пневмосепаратори за конструктивним виконанням можна розділити на пневмосепаратори з відкритим та закритим циклом руху повітря. За типом розташування каналу сепаратори поділяються на горизонтальні вертикальні та наклонні.

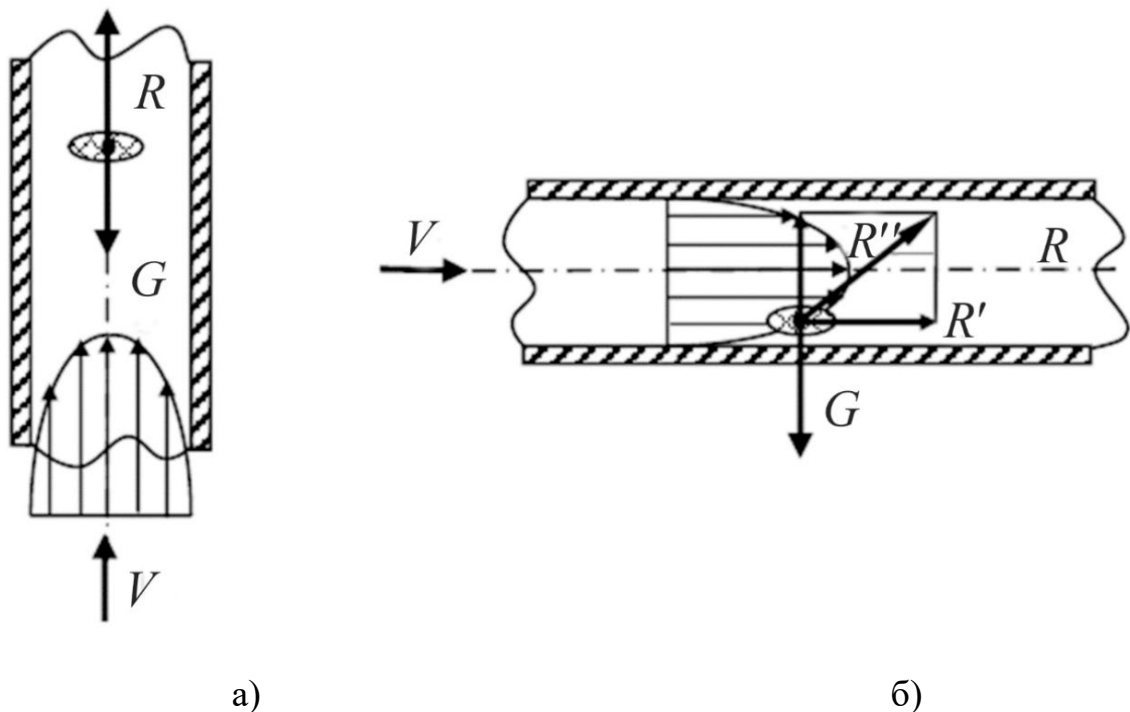


Рисунок 1.9 – Сили, що діють на частинку у повітряному потоці  
а – у вертикальному потоці; б – у горизонтальному потоці

Поділ зернового вороху у повітряному потоці відбувається за рахунок різних значень розмірів, щільності, стану поверхні насіння основної культури та бур'янів.

На частинку в повітряному потоці діє сила  $R_B$  (Н) яка становить:

$$R_B = k_c \cdot \rho \cdot F \cdot V_B^2, \quad (1.1)$$

де  $k_c$  - коефіцієнт аеродинамічного опору;

$F$  - площа міделевого перерізу, м<sup>2</sup>; потоку повітря,

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$V_B^2$  - швидкість частинки відносно швидкості повітря, м/с.

Показниками аеродинамічних властивостей частинок є також коефіцієнт парусності  $K_n$  та швидкість витання  $V_{вит}$ .

Коефіцієнт парусності становить:

$$K_n = \frac{k \cdot \rho \cdot F}{m}, \quad (1.2)$$

де  $m$  - маса частинки, кг;

$$V_{вит} = \sqrt{\frac{g}{K_n}}, \quad (1.3)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння.

Швидкістю  $V_{вит}$  витання є швидкості повітряного потоку, за якої вміщене у нього тіло знаходиться у зваженому стані. Для виконання такої умови швидкість повітряного потоку  $U$  (м/с) повинна задовольняти:

$$V_{\text{макс.легк}} < U < V_{\text{мін.тяж}}, \quad (1.4)$$

де  $V_{\text{макс тяж}}$  - максимальна швидкість витання важких частинок, м/с;

$V_{\text{макс легк}}$  - максимальна швидкість витання легких частинок, м/с;

## Висновки

Засміченість зернового вороху після комбайна складає 6 до 15%, при вологості – від 16 до 20%. Встановлення додаткового сепаратора зернового вороху на зернозбиральному комбайні, дозволить зменшити засміченість та вологість зерна.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу очищення зерна від домішок у зернозбиральному комбайні на основі обґрунтування параметрів конструкції та режиму роботи шнекового сепаратора.

Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання досліджень:

- розробити конструкцію шнекового сепаратора на зернозбиральному комбайні.
- встановити взаємозв'язок параметрів конструкції та режимів роботи шнекового сепаратора із показником ефективності очищення зерна від домішок.
- складальне креслення шнекового сепаратора
- розробити методику та провести експериментальні дослідження ефективності очищення зерна від домішок шнековим сепаратором

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

### 2.1 Обґрунтування технології та розробка пристрою для пневматичної очистки зерна

Технологічний процес збирання зернових здійснюється наступним чином (рис.2.1). Подільники відділяють смугу хлібних стебел відповідно до ширини захвату жатки. Планки мотовила підводять порції стебел до різального апарата відповідно до ширини захвату жатки. Зрізані стебла транспортуються шнеком до середини шнека, де їх захоплюють пальці пальцевого механізму і переміщують до похилого плаваючого транспортера. Останній подає стебла до приймального бітера, який направляє хлібну масу в молотильний апарат для обмолоту. Тут хлібна маса проштовхується барабаном, що обертається, через зазор між барабаном і підбарабанням. Хлібна маса, проходячи через зазор, потрапляє під удари і перетирається. При цьому, руйнуються механічні зв'язки насіння з колосом. Близько 75% зерна разом з частинками соломи провалюються через отвори підбарабання і потрапляють на стрясну дошку. Солома, що зійшла з соломотряса, розстиляється у валок по полю. Зерновий ворох із стрясної дошки – на пальцеву решітку. Ця решітка рівномірно розміщує ворох по верхньому решету очищення. На верхньому і нижньому решетах зерновий ворох продувається повітряним потоком, що створюється вентилятором. Повітряний потік виносить легкі частки, а полова і збоїна, що поступають з верхнього решета, розстиляються у валок. Необмолочені колоски, що провалилися через отвори жалюзійного подовжувача верхнього решета, надходять у колосовий шнек. На цей шнек поступають і частки, що зійшли з нижнього решета. З колосового шнека частки елеватором і верхнім колосовим шнеком спрямовуються в молотильний апарат для повторного

обмолоту . Очищене зерно з решіт поступає у зерновий шнек, з якого зерновим елеватором подається у пневматичний шнековий сепаратор. У

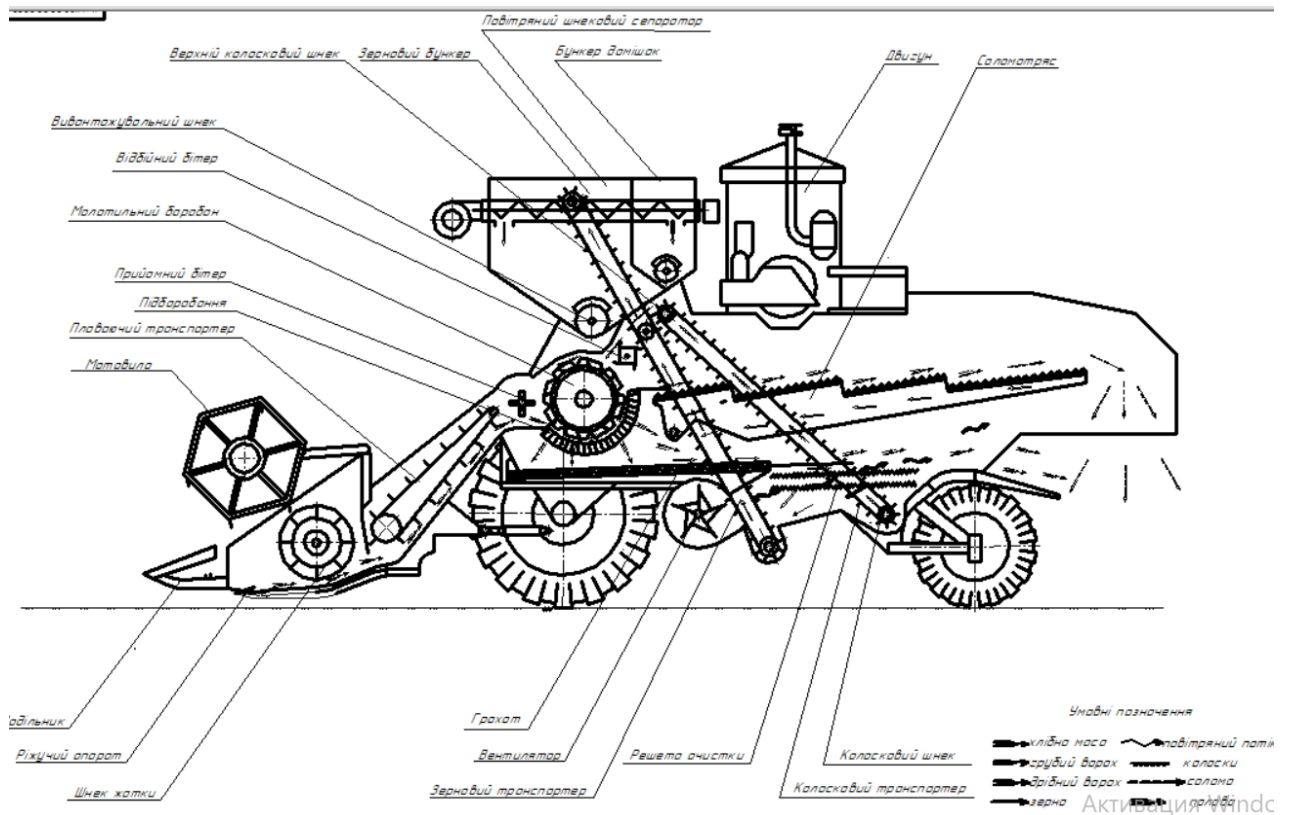


Рисунок 2.1 – Функціональна схема зернозбирального комбайна

сепараторі відбувається очищення зернового вороху від домішок. Очищене зерно подається у основний бункер а домішки у допоміжний, який додатково монтується на зернозбиральному комбайні. З бункера зерно вивантажується вивантажувальним шнеком у транспортний засіб. Домішки із додаткового бункера вивантажуються змонтованим додатковим вивантажувальним шнеком.

Пристрій для пневматичної очистки зерна складається із корпус з встановленим у нього шнеком, завантажувальний пристрій, вентилятор, отвір для виведення очищеного зерна та отвір для виходу. повітря та легких домішок, бункер для очищеного зерна. Особливістю конструкції є те, що корпус являє собою трубу діаметром, що відповідає зовнішньому діаметру шнека з зазором між стінкою корпусу і шнека, що забезпечує вільне обертання гвинта. Повітряно-шнековий пристрій працює наступним чином. Зерновий ворох із



завантажувального пристрою надходить у корпус сепаратора 2. Потім шнеком 3 рухається до вивантажувального отвору 5. Потік повітря, що подається вентилятором у сепаруючий канал, спрямовує до виходу бур'яни. Повітряний потік захоплює легкі частинки та виносить їх у отвір вихідної труби. Очищене зерно видаляється шнеком через вихідний отвір очищеного зерна з правого боку сепаратора та попадає у бункер комбайна. Ефект очищення зерна досягається потоком повітря у каналі та постійне перемішування продукту. Під час руху частинок по каналу на них додатково діє сила інерції, завдяки якій більш важкі частинки притискаються до стінок шнека, а легкі вільно переміщуються по повітрю. Схема пропонованого пневматичного очисника зернового вороху наведена на рисунку 2.1.

Ефективність сепарування зернового вороху залежить від конструктивно-технологічних параметрів пневматичного очисника сепаратора та фізико-механічних властивостей вихідного зернового вороху. До конструктивно-технологічних параметрів належать сепаратора: довжина робочого органу  $L_p$ , м; діаметр шнека  $D$ , м; діаметр валу  $d_b$ , м; відстань між витками шнека  $p_w$ , м; відстань від завантажувального до вивантажувального вікна; відстань від завантажувальної горловини до вікна виходу легких домішок  $h_1$ , м; відстань від завантажувальної горловини до вікна виходу очищеного зерна  $h_2$ , м; частота обертання шнека  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ; швидкість руху повітряного потоку  $V$ , м/с, тиск повітряного потоку  $P$ , Па, коефіцієнт заповнення шнека продуктом  $K_z$ , %.

Зерновий ворох являє собою суміш із зерна основної культури і різних домішок. Зерно основної культури і домішки мають наступні властивості: довжина  $l$ , мм; ширина  $b$ , мм; товщина  $d$ , мм; маса  $m$ , г; міделевий переріз  $F_m$ ,  $\text{м}^2$ ; коефіцієнт опору  $K$ . Від даних параметрів залежить швидкість витання  $V_g$ , м/с. Також має значення вміст домішку бур'янів у зерновому вороху до очищення  $X_c$ , %.

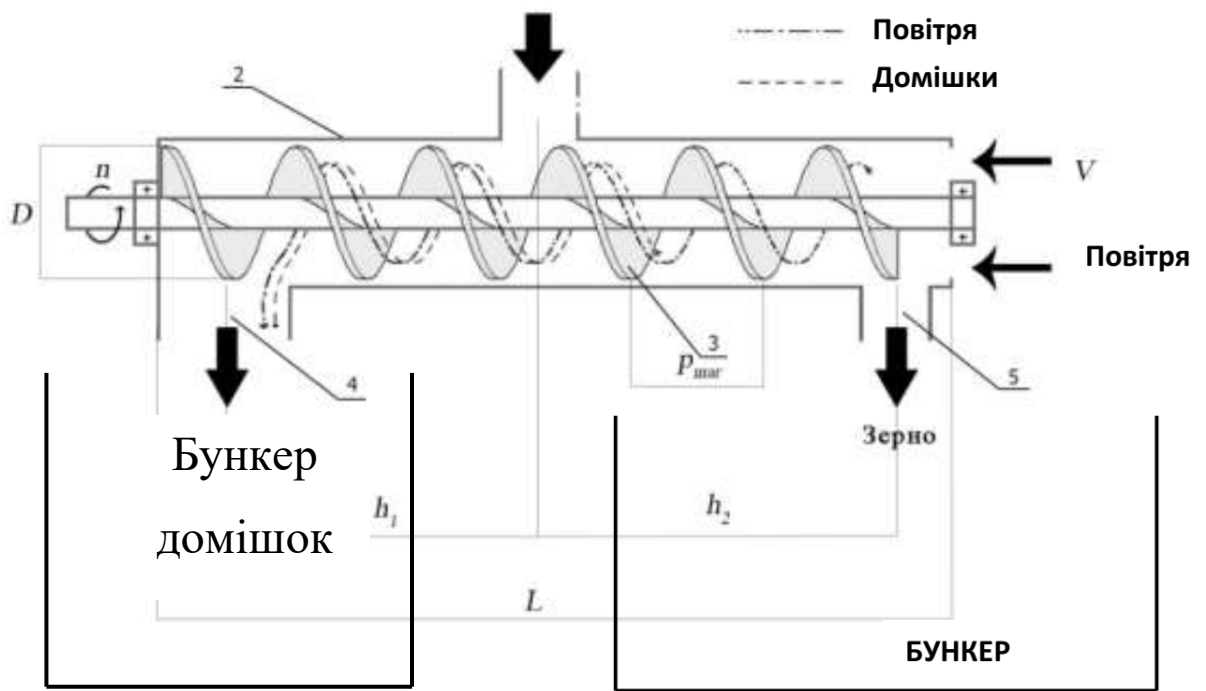


Рисунок 2.1 – Схема пневматичного очисника зернового вороху комбайна

Під час руху частки зернового вороху напрямок дії сили тяжіння  $G$  залишається незмінним, у той час як напрям сили опору  $R$  повітряному потоку змінюється. У такій схемі можна виділити чотири основні області сепарування (рис. 2.3)

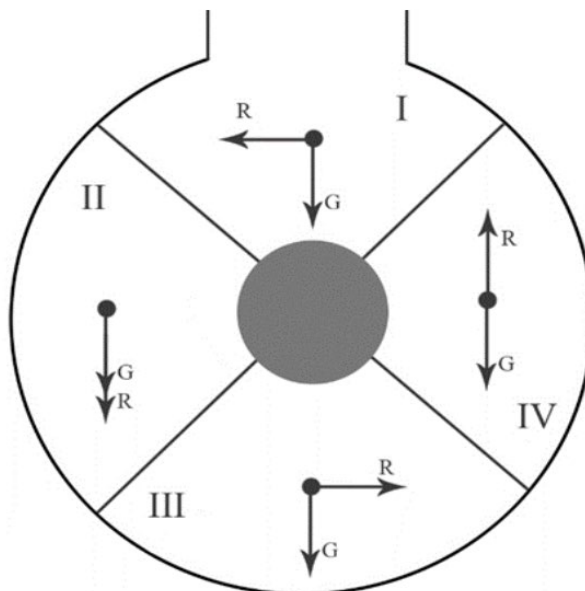


Рисунок 2.3 – Зони сепарування зернового вороху у шнековому робочому органі

Під час попадання у сепаратор частка знаходиться у зоні I. Далі вона переміщається у зону II, де обидві сили спрямовані вниз, завдяки цьому здійснюється розгін частки. В подальшому частинка потрапляє до зони III, при цьому важкі частки (зерно культур) залишаються на дні, тому, що сили повітряного потоку недостатні, для відриву їх від поверхні. У заключній IV зоні здійснюється класичний поділ зернового вороху на основі різниці швидкостей витання.

Швидкість витання показує таку швидкість повітряного потоку за якої частинка "зависає", тобто не рухається а ні вгору, а ні вниз. Для цього досить знати швидкість витання насіння зерна і задавати швидкість повітряного потоку менше цього значення, при цьому легкі частинки будуть виноситися вгору. Згідно проведених досліджень швидкість витання для зерен пшениці становить 8...12 м/с. Отже, для сепарації в зоні IV достатньо задати швидкість повітряного потоку менше, від швидкості витання зерна.

## 2.2 Обґрунтування діаметра шнека

Діаметр шнека сепаратора має бути досить великим, щоб частинки, рухаючись під дією повітряного потоку, не ударялися об стінки, так- як виникає ризик травмування зерна. Водночас діаметр шнека недоцільно робити більше, ніж траєкторії руху частинок, оскільки що це призведе до збільшення витрати повітря і металоємності конструкції.

Для визначення дальності польоту частинки M зробимо припущення, що дана частка рухається під дією рухомого опору середовища, у якому знаходиться рухома система координат  $x_2, \theta_2, y_2$ , тоді вектор  $R$  сили опору протилежний до напрямку вектора відносної швидкості  $V_r$ . Сила опору повітряного потоку визначається із залежністю:

$$R = m \cdot k \cdot \bar{V}_r^2, \quad (2.1)$$

де  $m$  - маса частинки, кг;

$k$  – розмірний коефіцієнт опору.

Розмірний коефіцієнт опору визначаємо використовуючи залежність:

$$k = \frac{C \cdot A \cdot \rho}{2 \cdot m}; \quad (2.2)$$

де  $C$  – коефіцієнт опору середовища;

$A$  – перетин міделя твердого тіла, м<sup>2</sup>;

$m$  – маса тіла, кг;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

Диференціальне рівняння руху матеріальної точки (рисунок 2.3) матиме вигляд:

$$m \cdot \vec{a} = \vec{R} + \vec{G}. \quad (2.3)$$

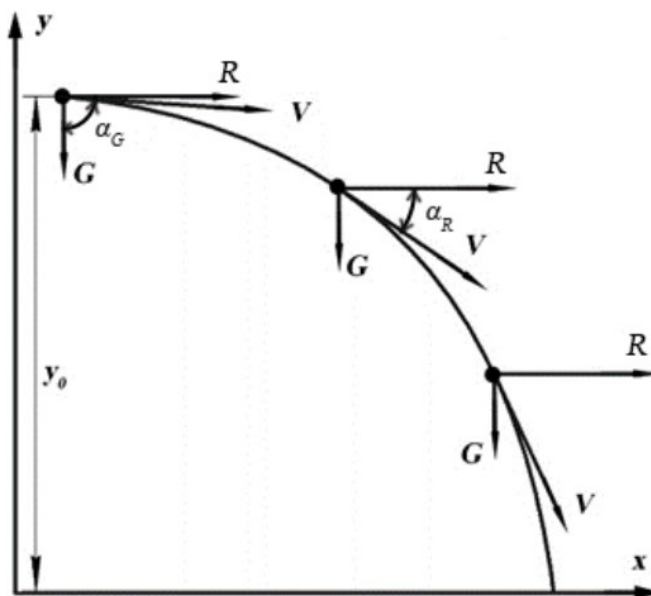


Рисунок 2.4 – Схема сил які діють на частинку у повітряному потоці

Рівняння (2.3) у проєкціях на осі координат матиме вигляд:

$$\begin{cases} m \cdot \frac{dV_\tau}{dt} = R \cdot \cos \alpha_R + G \cdot \cos \alpha_G; \\ m \cdot \frac{V_\tau^2}{\rho} = R \cdot \sin \alpha_R + G \cdot \sin \alpha_G. \end{cases} \quad (2.4)$$

кути  $\alpha_R$  і  $\alpha_G$  (рисунок 2.6), можна виразити через кути  $\alpha$  і  $\alpha_r$ . Кути  $\alpha$  і  $\alpha_r$  визначаються напрямом швидкостей  $V$  і  $V_r$  та осями координат  $xOy$ .

Враховуючи вище викладене рівняння (2.4) запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dV_\tau}{dt} = k \cdot V_r^2 \cos \alpha_R + g \cdot \cos \alpha_G; \\ \frac{d\alpha}{dt} = -\frac{k \cdot V_r^2 \cdot \sin \alpha_R + g \cdot \sin \alpha_G}{V_\tau}. \end{cases} \quad (2.5)$$

Параметри відносного руху частинки визначаються використовуючи теорему складання швидкостей:

$$\dot{V} = \dot{V}_e + \dot{V}_r \quad (2.6)$$

Переносна швидкість частинки  $V_e = \text{const}$  та рівна швидкості потоку повітря. Для дослідження траєкторію руху насіння зерна у шнековому пневматичному очиснику прийняті наступні значення параметрів:  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $T_0 = 0 \text{ с}$ ;  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ;  $\nu = 0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $V_0 = 1 \text{ м/с}$ . Для пшениці  $L_\text{ч} = D_\text{ч} = 3,55 \text{ мм}$ ,  $\gamma = 13243 \text{ Н/м}^3$ ; для ячменя  $L_\text{ч} = D_\text{ч} = 4,47 \text{ мм}$ ,  $\gamma = 12753 \text{ Н/м}^3$ .

Розв'язок диференційного рівняння (2.5) здійснюємо методом Рунге-Кутта із використанням ЕОМ.

За результатами розрахунків отримана залежність дальності польоту частинки зерна від швидкості руху повітряного потоку для пшениці та ячменю (рис. 2.5).

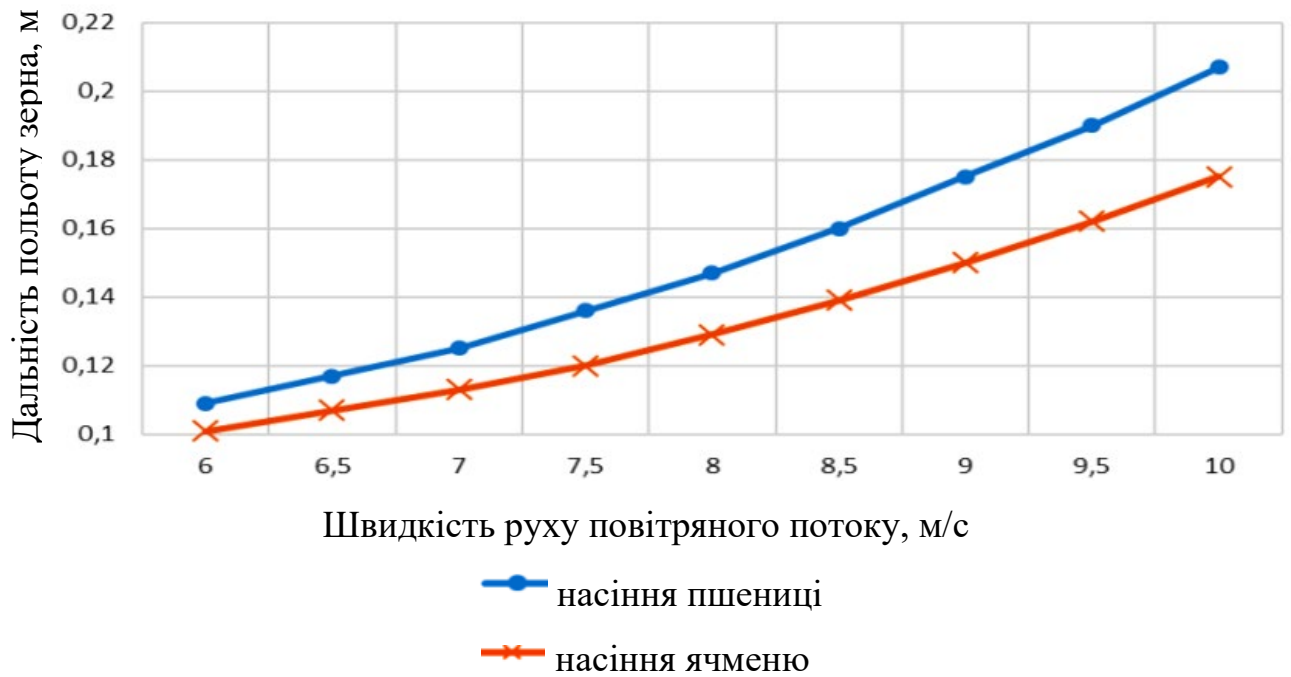


Рисунок 2.5 – Залежність дальності польоту насіння зерна від швидкості руху повітряного потоку

Провівши аналіз графічної залежності (рис. 2.4) можна зробити висновок, що пшениці при швидкості руху повітряного потоку 8 м/с та ячменю при швидкості руху повітряного потоку 9 м/с оптимальний радіус шнека становить 0,15 м. Даний розмір забезпечить безперешкодний політ частинки без ударів об стінки кожуха шнека.

### 2.3 Обґрунтування геометричних параметрів пневматичного шнекового сепаратора

Для реалізації технології «цифровий двійник» з допомогою програмного комплексу Creo 7.0. з встановленим модулем комп'ютерної симуляції FloEFD побудовано тримірну модель пневматичного шнекового сепаратора (рис. 2.5).

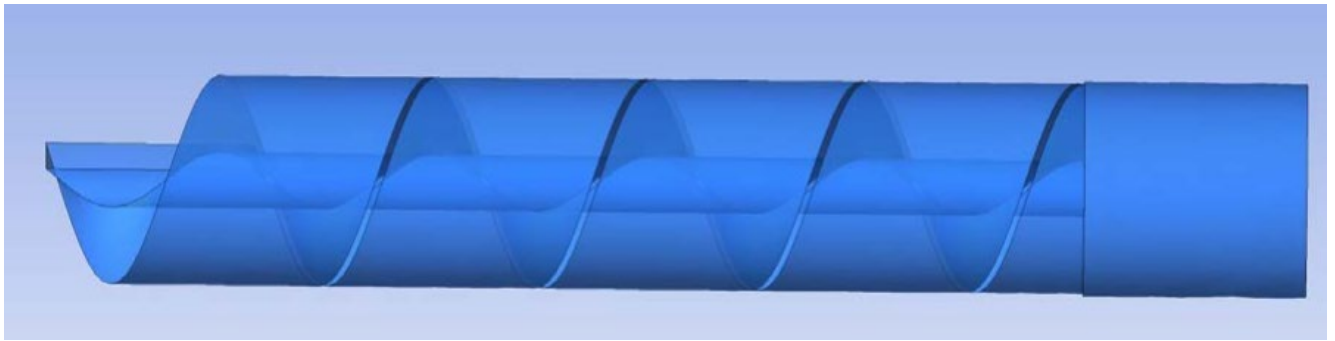


Рисунок 2.6 – Тримірна модель шнекового пневматичного сепаратора для проведення комп'ютерної симуляції

Для моделювання процесу руху потоку у пневматичному шнековому сепараторі задано наступні параметри конструкції: довжина 1,56 метра з урахуванням довжини патрубків (0,5 метра); крок гвинта 0,3 метри, діаметр 0,3 метри;. У результаті комп'ютерної симуляції руху повітряного потоку у сепараторі з початковою швидкістю  $3,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  було встановлено, що потік повітря рухається гвинтовим каналом. Швидкість повітряного потоку при переході із патрубків в канал підвищується за рахунок зміни площі перерізу (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – 3D симуляція роботи пневматичного шнекового сепаратора (траєкторії руху повітряного потоку, швидкість повітряного потоку, м/с)

У результаті моделювання встановлена швидкість повітряного потоку у пневматичному шнековому сепараторі. 3D-симуляція роботи пневматичного шнекового сепаратора наведена на рисунку 2.8.

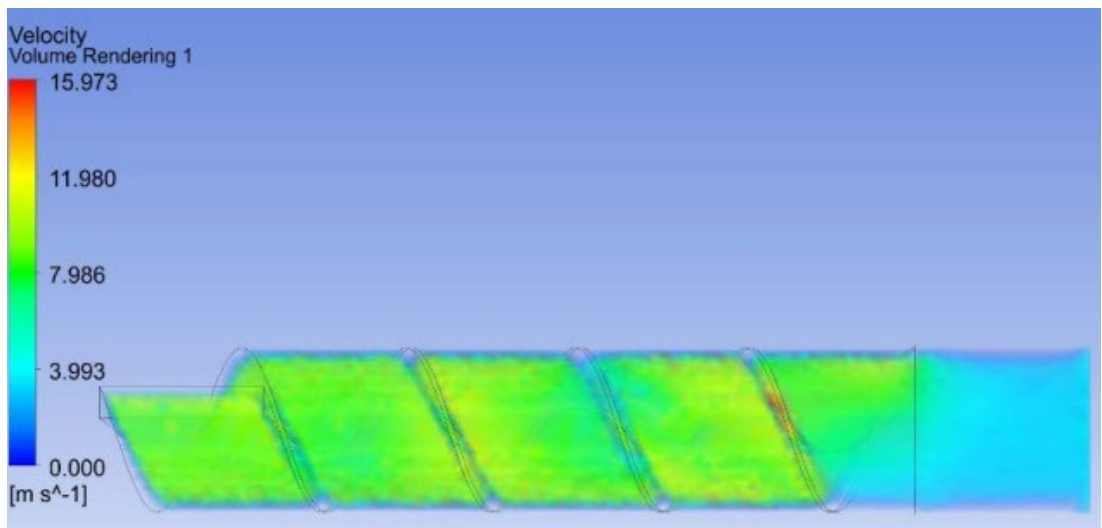


Рисунок 2.8 – 3D симуляція роботи пневматичного шнекового сепаратора (градієнт зміни швидкості повітряного потоку, м/с)

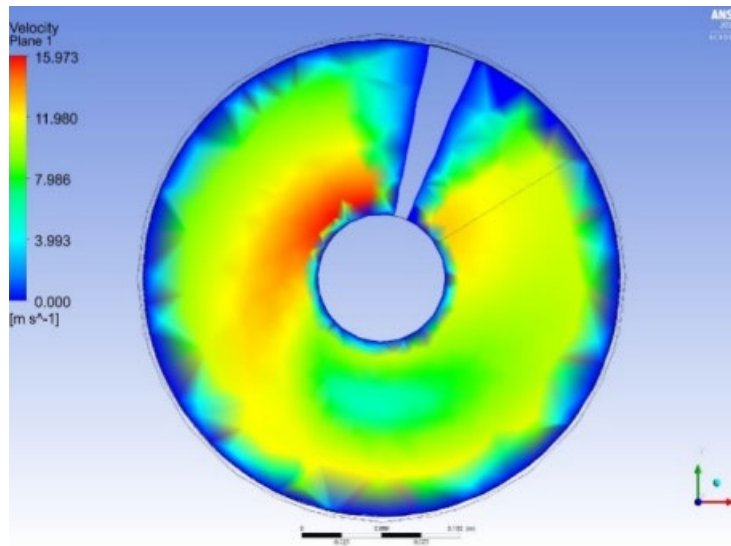
За ламінарного режиму руху повітря у шнеку в ньому виникають сили тертя, і повітря починає рухатися тонкими шарами із різними швидкостями. При наближенні до осі шнека швидкість шарів сягає максимальних значень. А при наближенні до стін кожуха шнека, швидкість руху наближається до нуля.

Стінки кожуха шнека гальмують рух прилеглих шарів повітря, а ці шари в свою чергу, гальмують наступні шари. Чим більша різниця у швидкостях між шарами повітря, тим більша з'являється сила тертя між ними.

На рисунку 2.9 зображена швидкість руху повітря у сепараторі, при цьому встановлено, що біля стінок корпусу шнека сепаратора швидкість повітряного потоку приймає мінімальне значення і становить 2 м/с, а при наближенні до осі шнека - швидкість зростає до максимального значення яке становить 8,3 м/с.

Для визначення необхідного тиску, який створюється вентилятором в каналі пневматичного шнекового сепаратора залежно від відстані від точки подачі повітряного потоку до точки завантаження продукту за діаметра сепаратора 0,3 м побудовано графічну залежність (рисунок 2.10).





б

Рисунок 2.9 – Показники залежності швидкості повітря у поперечному січенні пневматичного шнекового сепаратора, м/с

Встановлено, що зі зростанням довжини каналу від 1,1 до 3 м тиск у сепараторі необхідно збільшити із 129 до 140 Па. (рисунок 2.10).

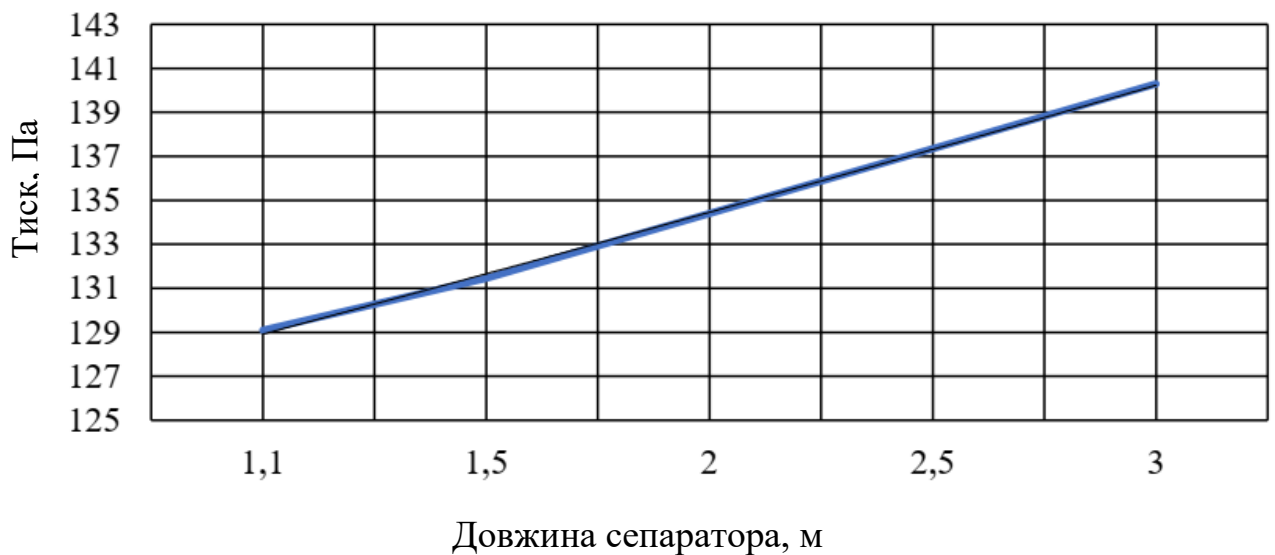


Рисунок 2.10 – Залежність тиску на вході у пневматичному шнековому сепараторі залежно від його довжини

З метою підвищення продуктивності пневматичного - шнекового сепаратора для очищення зернового вороху необхідно збільшити діаметр робочого органу. Продуктивність повітряного шнекового сепаратора  $Q_c$  визначається із залежності:

$$Q_c = \frac{D \cdot E \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho_n}{0,275}, \quad (2.7)$$

где  $D$  – діаметр гвинта, м;

$n$  – частота обертання шнека, об/хв;

$E$  – відношення кроку до діаметру гвинта;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення шнека;

$\rho_n$  – насипна щільність зернового вороху кг/м<sup>3</sup>.

Діаметр гвинта приймаємо 0,3 метри. Так-як пшениця є неабразивним матеріалом, то відношення кроку гвинта до діаметра гвинта приймаємо 1. Насипна щільність зернового вороху пшениці рівна 80 кг/м<sup>3</sup>. Для забезпечення якісного сепарування зернового вороху у пневматичному шнековому сепараторі коефіцієнт заповнення шнека повинен становити 0,3. Частота обертання шнека рівна 60 об/хв.

Продуктивність зернозбирального комбайна визначається із залежності:

$$W_k = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \cdot Y, \quad (2.8)$$

$B_p$  – робоча ширина захвата жатки, м

$V_p$  – робоча швидкість комбайна, км/ч;

$\tau$  – коефіцієнт використання зміни;

$Y$  – урожайність, т/га.

Врахувавши той факт, що продуктивність пневматичного шнекового очисника рівна продуктивності комбайна, побудуємо графічну залежність продуктивності очисника від урожайності зернових культур (рисунок 2.11).

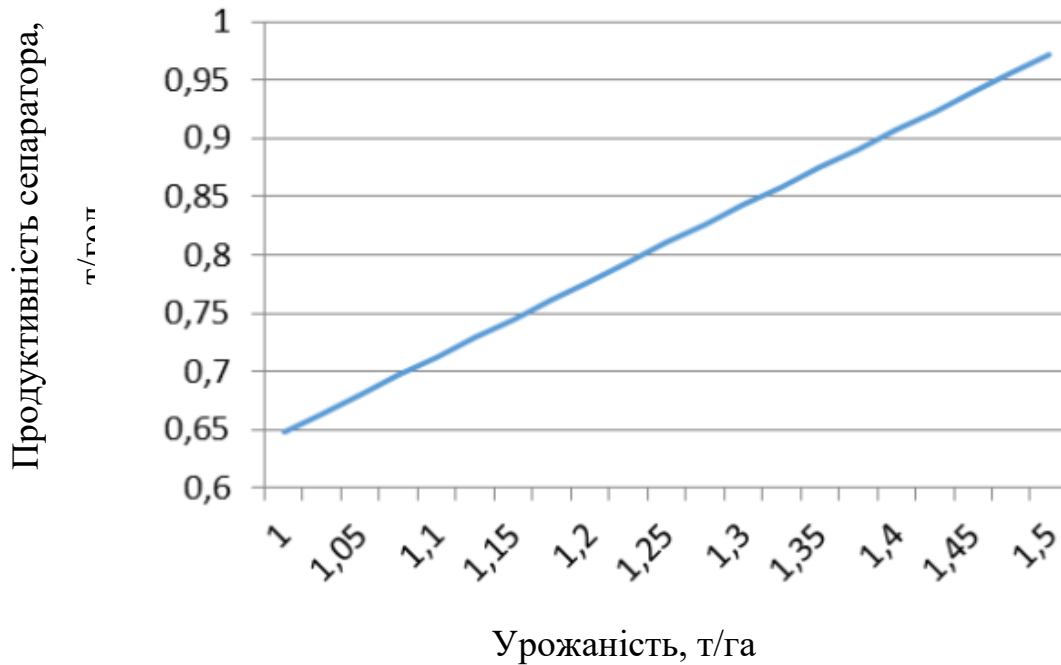


Рисунок 2.11 – Залежність продуктивності сепаратора від урожайності зернових культур

#### 2.4 Розрахунок потужності, яка затрачається на привід пневматичного шнекового сепаратора комбайна

Потужність на валу шнекового сепаратора становить:

$$N_0 = \frac{Q}{367} \cdot (L_r \cdot \omega + H) + (0,02 \cdot R \cdot g_k \cdot L_r \cdot \omega_e), \quad (2.9)$$

Де  $Q$  – продуктивність сепаратора, т/год;

$\omega$  – коефіцієнт опору переміщенню вантажу;

$L_r$  - Довжина робочого органу, м;

$H$  – висота підйому, м;

$g_k$  – погонна маса обертових частин конвеєра;

$R$  - коефіцієнт, що враховує характер переміщення гвинта;

$\omega_e$  – коефіцієнт опору у підшипниках.

Під час роботи пневматичного шнекового сепаратора шар зернового вороху переміщається горизонтально, тобто  $H = 0$ . Тому приймаємо  $\omega = 1,2$ ;  $R = 0,2$ .

У конструкції сепаратора застосовуємо стандартні підшипники кочення для яких  $\omega_e = 0,01$ . Знаходимо погонну маси частин  $g_k$ , що обертаються:

$$g_k = 80 \cdot D_{ш}, \quad (2.10)$$

где  $D_{ш} = 0,3$  – діаметр шнека, м.

## Висновки

Досліджено, що якісної сепарації зернового вороху, швидкість руху повітряного потоку у горизонтальному гвинтовому каналі на місці подачі зерна повинна становити 8 м/с.

Теоретичними дослідженнями встановлено оптимальні параметри конструкції пневматичного шнекового сепаратора. За діаметра шнека 0,3 м. Його довжина для подачі повітряного потоку становить 0,7 м, довжина робочого органу для очищення 0,6 м.

Для підвищення продуктивності пневматичного шнекового сепаратора при очищенні зернового вороху необхідно збільшення діаметра робочого органу.

### 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Програма експериментальних досліджень

Дослідження процесу сепарування зернового вороху та синтез сепаратора вимагає дослідження фізико-механічних властивостей зернового вороху.

При дослідженнях визначались такі фізико-механічні властивості:

- маса 1000 зерен;
- форма та лінійні розміри;
- вологість зерна;
- вміст домішок

У програму експериментальних досліджень входило також визначення раціональних параметрів роботи повітряно-шнекового сепаратора зернового вороху із використанням математичного методу планування експерименту.

Повторність дослідів при дослідженнях складала 3 рази. Математичну обробку результатів експериментальних досліджень проводилась із використанням програми Microsoft Excel за схемою:

– середня квадратична похибка окремого вимірювання.

:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}, \quad (3.1)$$

де  $x_i$  – результат окремого дослідів;

$n$  – число повторюваності дослідів;

$x_{cp}$  – середнє арифметичне результатів дослідження,

– коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S_c}{x_{cp}} \cdot 100, \% \quad (3.2)$$

– похибка досліду:

$$v = \pm \left( S_{c, \text{рез.}} / x_{cp.} \right) \cdot 100 \% = \pm \left( \frac{S_c}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.3),$$

### **3.2 Лабораторне обладнання, прилади та апаратура для проведення досліджень**

Визначення вологості зернового вороху та геометричних розмірів зерен проводили використовуючи зерна пшениці та наступне обладнання:

- сушильна шафа СНОЛ 3,5. 3,5. 3,5 із У42;
- електронні ваги ТВЛ-0,5;
- штангенциркуль Digital caliper;
- бюкси;
- секундомір.

Лабораторна установка повітряно-шнекового сепаратора складається із бункера, гвинтового пневмоканалу, шнека, корпусу, механізму приводу шнека та вентилятора. Зернова суміш з бункера надходить через завантажувальний отвір у корпус. Зустрічний потік повітря, що подається вентилятором, захоплює легкі частинки і забирає їх у випускний отвір. Зерно переміщується шнеком у бік випускного отвору для зерна.

Вимірювання швидкості руху повітря у повітряно шнековому сепараторі проводилося чашковим анемометром МС-13. У цих анемометрів на вісь посаджена крильчатка із пустотілими півсферами, у чашкового анемометра та вертушка млинчастого типу із алюмінієвої фольги. Під дією повітряного потоку вертушки приладу обертаються та через систему зубчастих коліс приводять в рух стрілки лічильника. Прилади вмикаються та вимикаються важільним-аретиром, що розміщений на боковій частині корпусу .

### **3.3 Методика визначення фізико-механічних властивостей зернового вороху**

Масу тисячі зерен визначали на лабораторних вагах ВЛТ2 шляхом зважування тисячі зерен пшениці у трьохкратній повторності.

Визначення геометричних розмірів проводили використовуючи цифровий штангенциркуль Digital caliper. Лінійні розміри зерна визначали шляхом вимірювання штангенциркулем 100 насінин. При дослідженнях заміряли довжину, ширину та товщину зерна. Еквівалентний діаметр зерна визначали за формулою:

$$d_{\text{зкв}} = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot l}, \quad 3.4$$

де  $a$  - товщина зерна, мм;

$b$  - ширина зерна, мм;

$l$  - довжина зерна, мм.

Визначення складу зернового вороху здійснювали за допомогою набору лабораторних сит за відомою методикою.

### **3.4 Методика визначення швидкості руху повітря пневмоканалі сепаратора**

Прилад встановлювали у пневмоканал сепаратора та вмикали важіль ареометра на боковій частині корпусу. Одночасно із ввімкненням важеля вмикали також секундомір. Після проходження 100 сек. анемометр вимикали записували його покази. Різниця у показах до та після досліду, поділена на час показує швидкість повітряного потоку у поділках за секунду.

За тарувальним графіком визначали дійсну швидкість руху повітряного потоку.

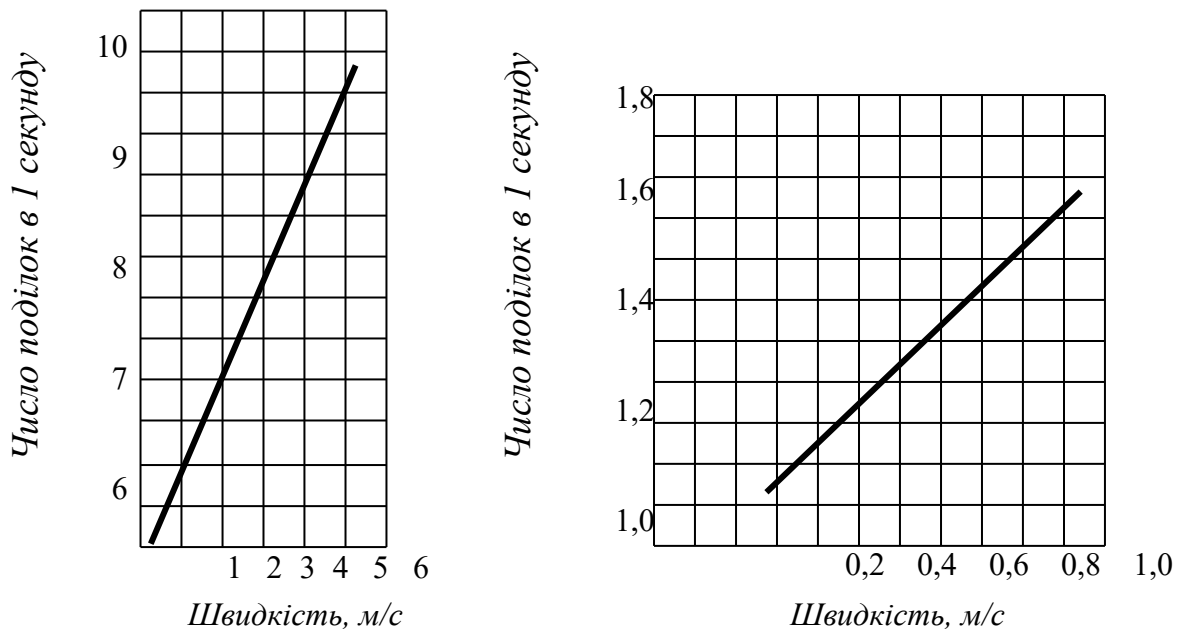


Рисунок 3.4 – Графік переводу лічильника анемометра в покази швидкості руху повітря

### 3.5. Дослідження ефективності процесу сепарування зернового вороху із використанням математичного методу планування експерименту

Для встановлення впливу частоти обертання шнека та швидкості повітряного потоку на маси домішок, які відділяються із зернового вороху було проведено лабораторно-виробничі випробування із застосуванням математичного методу планування експерименту.

Для дослідження використовувався некомпозиційний план Бокса-Бенкена.

Планування дослідження включало наступні етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;
- реалізація плану експерименту згідно з матрицею планування;
- складання рівняння регресії для визначення коефіцієнтів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;



- перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Фактори та рівні варіювання наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Фактори та рівні варіювання

Фактор	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодові		
			Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Частота обертання шнека $n$ , об/хв	x1	40	100	20	60	+1	-1	0
Швидкість повітряного потоку, $V$ м/с.	x2	1,61	7,5	4,28	5,89	+1	-1	0

Зв'язок між кодованими та натуральними значеннями факторів визначається залежностями:

$$x_1 = \frac{n - n_0}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{V - V_0}{\varepsilon_2}; \quad (3.4)$$

де  $x_1, x_2$ , – кодові значення факторів: частота обертання шнека та швидкість повітряного потоку, відповідно;

$n, V$  – натуральні значення факторів, відповідно, частота обертання шнека та швидкість повітряного потоку;

$n_0, V_0$  – натуральні значення факторів, відповідно, частота обертання шнека та швидкість повітряного потоку на нульовому рівні;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – інтервали варіювання факторів.

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (3.5)$$

Коефіцієнти регресії визначали за такими формулами:

$$b_0 = 0,33333 \sum_{j=1}^n y_j - 0,16667 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j; \quad (3.6)$$

$$b_i = 0,08333 \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j; \quad (3.7)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j + 0,0625 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j - 0,16667 \sum_{j=1}^n y_j; \quad (3.8)$$

$$b_{ir} = 0,25 \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{rj} y_j, \quad (3.9)$$

де  $j$  – номер дослідів в матриці планування;

$n$  – кількість дослідів в матриці планування;

$y_j$  – значення функції відгуку в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів;

$x_{ij}, x_{rj}$  – кодовані значення  $i$ -го чи  $r$ -го фактору в  $j$ -му досліді;

$i, r$  – номери факторів.

Перевірку значимості коефіцієнтів регресії здійснювали порівнюванням абсолютної величини цих коефіцієнтів із їх довірчими інтервалами.

## Висновки

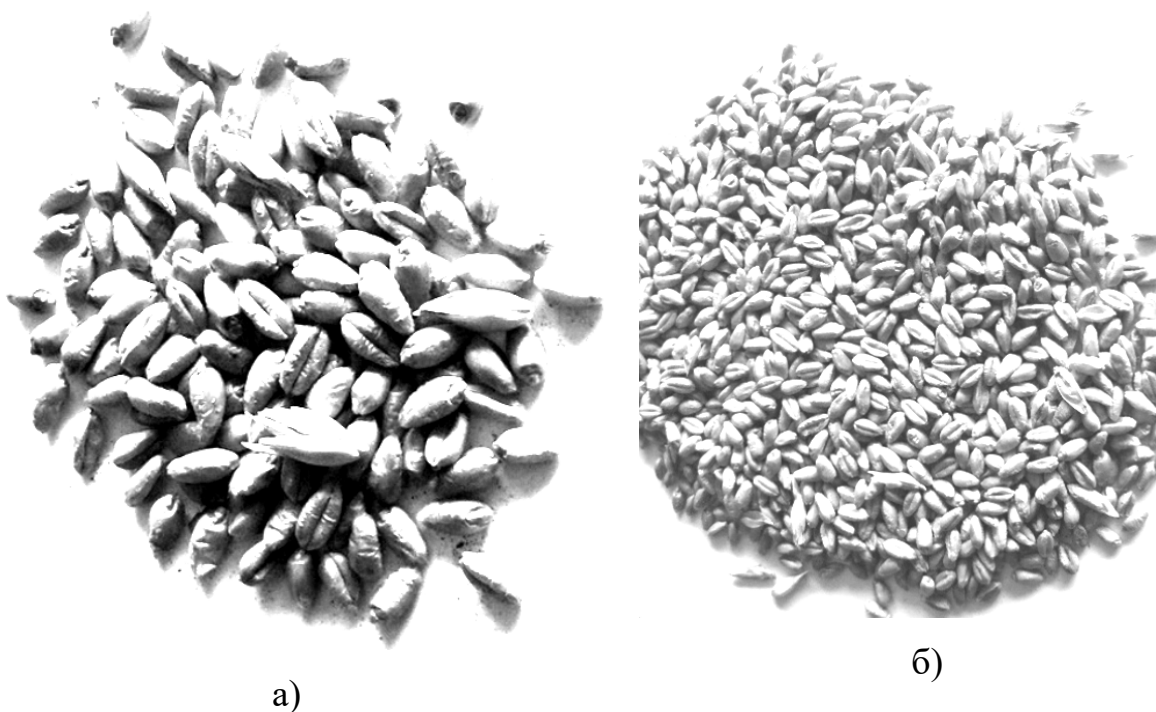
Коефіцієнт регресії вважали статистично значущим, у випадку коли його абсолютна величина більша або рівна довірчому інтервалу.

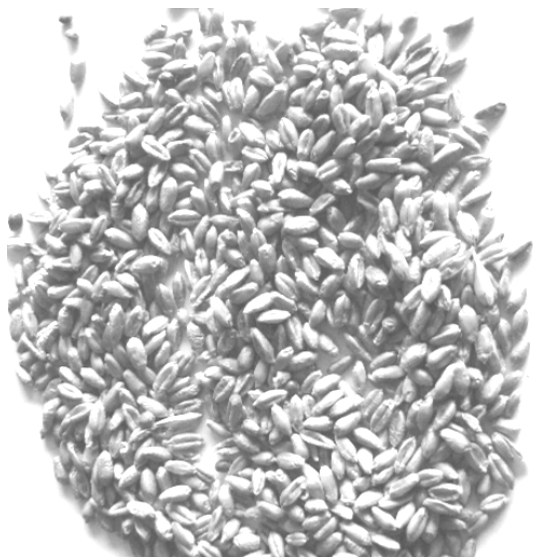
Проведення експериментів за наведеною методикою дозволило отримати математичні моделі процесу сепарації зернового вороху у вигляді рівнянь регресії, функцією відгуку якого є маси домішок, які відділяються із зернового вороху.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Результати дослідження фізико-механічні властивості зернового вороху

Дослідження складу зернового вороху проводили, згідно методики, яка наведена у п.п.3.3. При дослідженнях використовували набір лабораторних сит для зерна. Верхнє сито мало розмір отворів 3 мм. Після просіювання зернового вороху на цьому ситі залишились найбільші зерна пшениці рисунок 4.1 а.





в)



г)

Рисунок 4.1 – Схід із сит: а – 3мм ; б- 2,5мм; в – 2мм; г – 1,5мм

На ситах із розмірами отворів 2 та 2,5 мм залишився основний об'єм зерна пшениці (рисунок 4.1 б та 4.1 в).

На ситі із розмірами отворів 1,5 мм знаходиться бите зерно, та незначна кількість лушпиння (рисунок 4.1 г).

Таблиця 4.1 - Фізико-механічні властивості зернового вороху

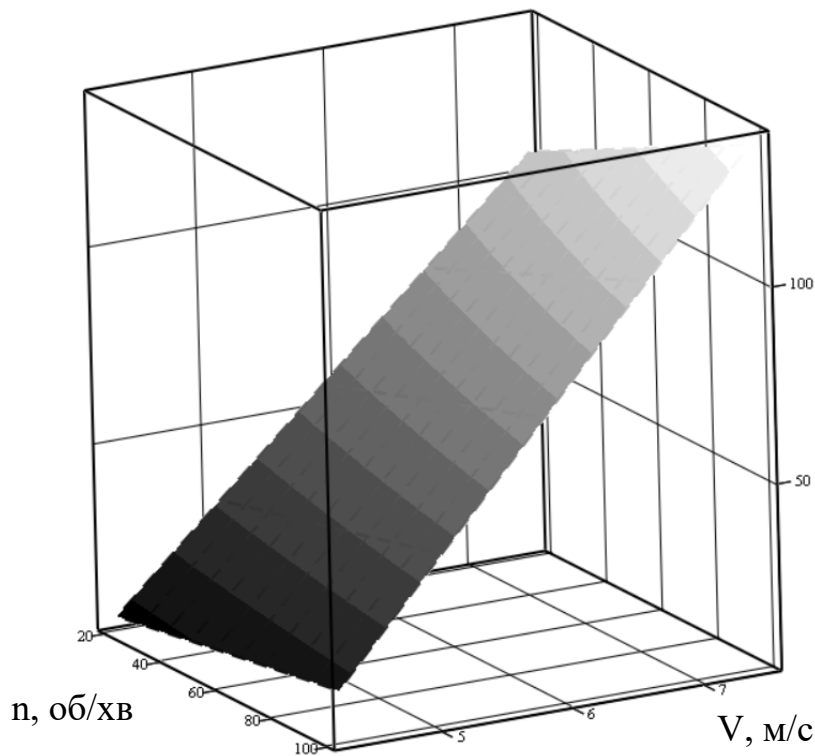
Показник	Значення
Лінійні розміри насіння, мм	
товщина $a$	2,9
ширина $b$	3,3
довжина $l$	6,1
Маса 1000 зерен, г	63,7
Еквівалентний діаметр, мм	3,84
Вміст домішок, %	7,8
Вологість зерна	18,0

Проаналізувавши сходи із решіт можна зробити висновки, що найбільше домішок бур'янів становлять частинки менше 1,5мм

## 4.2 Результати випробування повітряно-шнекового очисника зернового вороху

Експериментальні дослідження повітряно-шнекового сепаратора здійснювали згідно методики яка наведена у п.п. 3.3 Для досліджень використовували ворох пшениці вологістю 16%. Обробку результатів багатофакторного дослідження здійснювали із використанням системи комп'ютерної алгебри Mathcad. За результатами проведення експерименту було отриманні рівняння регресії у кодованому вигляді наступного виду:

$$Y = 65,94 + 10,09 x_1 + 54,57 x_2 + 5,16 x_1 x_2 \quad (4.1)$$



а)

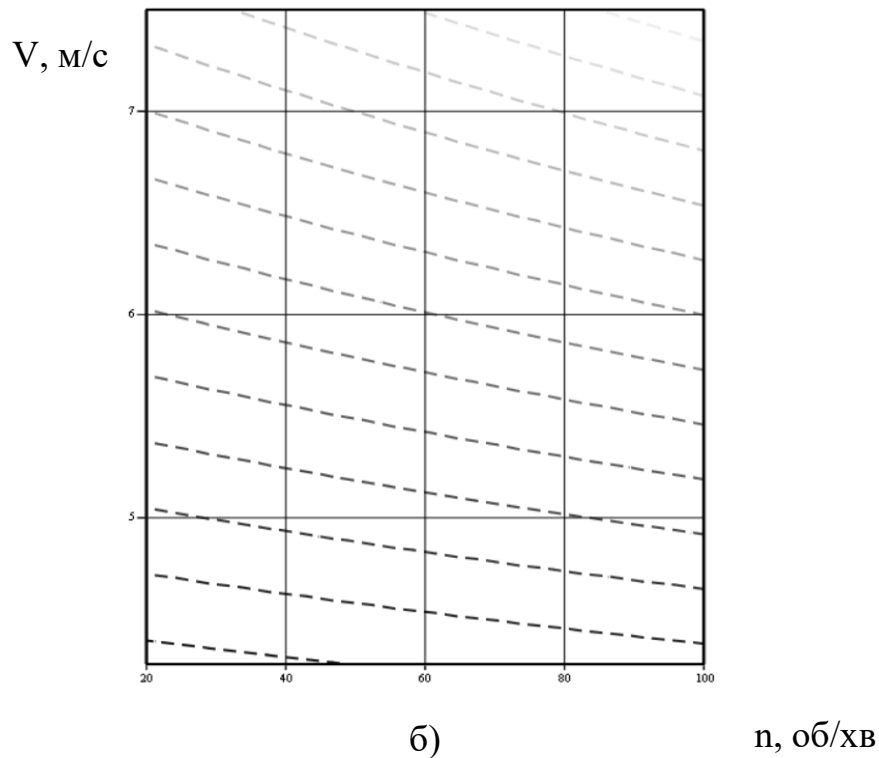


Рисунок 4.2– Залежність маси домішок, які відділяються із зернового вороху від частоти обертання шнека  $n$  та швидкості повітряного потоку  $V$ :  
 а - поверхня відгуку; б - двомірні січення

Аналіз отриманого рівняння регресії показує, що найбільший вплив на масу домішок, які відокремлені із зернового вороху має швидкість повітряного потоку швидкість повітряного потоку, про що свідчать коефіцієнти біля факторів.

Рівняння регресії у натуральному виді матиме вигляд:

$$Y = -120.52 - 0,22 \cdot n + 29.09 \cdot V + 0,08 \cdot n \cdot V \quad (4.2)$$

Аналіз отриманої поверхні відгуку (рисунок 4.2) показує, що зміна швидкості руху повітряного потоку рівномірно впливає на зміну вихідного параметра для будь-якого значення частоти обертання вала шнека.

## **Висновки**

Проведення багатофакторно експерименту дозволило визначити взаємозв'язок між частотою обертання шнека та швидкістю руху повітря у пневматичному шнековому сепараторі та встановити їх вплив на масу відокремлених домішок.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основні вимоги з техніки безпеки та охорони праці під час роботи на зернозбиральному комбайні:

### 1. Підготовка до роботи

Провести технічний огляд комбайна перед початком роботи: перевірити справність механізмів, електрообладнання, гальм, рульового управління, освітлення та сигналізації. Переконаватися, що захисні кожухи та огороження на робочих механізмах встановлені та надійно закріплені. Забезпечити наявність та справність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників), аптечки першої допомоги. Провести інструктаж із безпеки праці з усіма членами команди, які працюють з технікою.

### 2. Робота на комбайні

Забороняється працювати на несправному комбайні. Оператор повинен перебувати тільки на своєму робочому місці та мати відповідні засоби індивідуального захисту (спецодяг, рукавиці, захисні окуляри, якщо потрібно). Перед запуском механізмів упевнитися, що поблизу немає сторонніх осіб. Заборонено виконувати ремонт або технічне обслуговування під час роботи механізмів. Рух комбайна здійснюється лише за умови хорошої видимості, на безпечній швидкості та з урахуванням стану поля. Під час роботи уникати маневрів, які можуть спричинити перекидання машини.

### 3. Робота з валками і збирання зерна

Не дозволяється вручну очищати робочі механізми від залишків зерна чи соломи без вимкнення двигуна та зупинки механізмів. Очищення жатки, бункера та інших частин здійснюється лише після зупинки та вимикання техніки. Слід уникати перебування поблизу рухомих частин комбайна під час роботи.

### 4. Пожежна безпека

Заборонено курити та використовувати відкритий вогонь поблизу комбайна. Не допускати накопичення пилу, масла, соломи та інших горючих матеріалів на



двигуні та інших частинах техніки. Періодично перевіряти стан електропроводки, паливної системи та гідравлічних шлангів на предмет витоків.

#### 5. Завершення роботи

Зупинити двигун, вимкнути всі механізми та переконатися, що комбайн повністю зупинився. Очистити комбайн від залишків соломи та пилу, дотримуючись безпеки. Зберігати техніку в безпечному місці, подалі від джерел вогню. Дотримання цих вимог допоможе забезпечити безпечну експлуатацію комбайна та запобігти нещасним випадкам.

#### 6. Вимоги до експлуатації у складних умовах

У разі роботи на схилах слід уникати крутих поворотів і різких маневрів, які можуть призвести до перекидання комбайна. У дощову погоду чи за поганої видимості слід призупинити роботу, щоб уникнути аварійних ситуацій. Забезпечити додаткову перевірку механізмів і вузлів у разі роботи в умовах підвищеної запиленості або вологості.

#### 7. Вимоги до взаємодії з іншими працівниками

Забороняється перебування сторонніх осіб на платформі комбайна або поруч із ним під час роботи. Під час роботи у складі механізованого загону всі члени бригади повинні підтримувати постійний зв'язок і дотримуватися узгоджених сигналів. Навантаження зерна на транспортні засоби має здійснюватися лише на рівній поверхні, з дотриманням безпечної відстані між комбайном і транспортом.

#### 8. Додаткові рекомендації щодо охорони праці

Оператору забороняється працювати у стані втоми, алкогольного або наркотичного сп'яніння. Для уникнення перевантаження техніки слід дотримуватись рекомендацій виробника щодо максимально допустимого навантаження на механізми. Під час обслуговування комбайна використовувати лише інструменти, передбачені інструкцією, і працювати на рівній поверхні. Забезпечити контроль над дотриманням встановленого графіка технічного обслуговування (ТО).

#### 9. Дії у разі аварійної ситуації

У разі виявлення несправності або аварії негайно зупинити комбайн, вимкнути двигун і повідомити відповідальних осіб. При пожежі: Зупинити роботу механізмів. Використати вогнегасник, спрямовуючи струмінь в основу полум'я. При необхідності викликати пожежну службу.

#### 10. Вимоги до навчання та кваліфікації персоналу

Оператор комбайна повинен пройти відповідне навчання, мати кваліфікаційне посвідчення та бути ознайомлений із правилами техніки безпеки. Регулярно проводити повторний інструктаж із безпеки праці, особливо перед початком нового сезону чи роботи з новою технікою.

#### 11. Вимоги до умов праці

Робоче місце оператора повинно бути обладнане сидінням із регулюванням і забезпечувати комфортні умови праці (захист від вібрації, шуму, пилу). Забезпечити систему вентиляції або кондиціонування в кабіні оператора. Дотримання цих вимог гарантує безпечні умови роботи оператора та сприяє підвищенню ефективності виконання завдань.

#### 12. Вимоги до технічного обслуговування комбайна

Обслуговування проводити відповідно до інструкції виробника, дотримуючись встановлених інтервалів та умов експлуатації. Регулярно перевіряти рівень мастила, палива, охолоджувальної рідини та інших робочих рідин, а також стан фільтрів. Очищувати робочі механізми (жатку, молотарку, бункер) лише за вимкненого двигуна. Після завершення робочого дня проводити очищення від залишків зерна, соломи, пилу та мастильних матеріалів.

#### 13. Вимоги до забезпечення безпеки руху

Під час переміщення комбайна дорогами загального користування: Переконатися у справності світлових приладів і знаків сигналізації. Встановити попереджувальні знаки (наприклад, трикутники для повільно рухомої техніки). Дотримуватися правил дорожнього руху та безпечної швидкості. Заборонено перевозити людей на комбайні або буксирувати несправні транспортні засоби.

#### 14. Робота в темний час доби

Забезпечити справність освітлення та сигналізації для роботи вночі. Організувати додаткове освітлення в зоні обслуговування комбайна. Дотримуватися особливої обережності, працюючи на нерівних ділянках чи поблизу перешкод.

#### 15. Вимоги до екологічної безпеки

Використовувати комбайн з урахуванням екологічних норм, уникаючи надмірного викиду шкідливих речовин. Утилізувати використані мастильні матеріали, фільтри та інші відходи відповідно до екологічних вимог. Уникати проливання палива або мастила в ґрунт чи водойми.

#### 16. Додаткові заходи безпеки

У разі роботи поблизу ліній електропередач дотримуватись безпечної відстані між механізмами комбайна та проводами. Забезпечити чітке маркування зон обслуговування, куди не мають доступу сторонні особи. Забороняється залишати працюючий комбайн без нагляду.

#### 17. Вимоги до завершення роботи

Після завершення роботи вимкнути двигун, заблокувати систему запуску, переконатися, що всі механізми перебувають у нерухомому стані. Зберігати комбайн у спеціально відведеному місці, обладнаному засобами протипожежного захисту. Зробити записи про виконані роботи та виявлені несправності у журналі технічного обслуговування. Дотримання цих рекомендацій сприятиме збереженню здоров'я працівників, попередженню аварій і забезпеченню тривалої експлуатації техніки.

#### 18. Вимоги до забезпечення комфортних умов роботи оператора

Робоче місце оператора повинно бути ергономічним, із можливістю регулювання сидіння та кермової колонки для зручності. Кабіна комбайна має бути обладнана системами кондиціонування або вентиляції, а також забезпечувати захист від пилу та шуму. Освітлення в кабіні повинно бути достатнім для роботи в темний час доби.

#### 19. Особливості роботи на полях із нерівним рельєфом

Працювати на схилах слід лише в межах допустимого нахилу, зазначеного виробником техніки. Заборонено здійснювати різкі повороти або зупинки на схилах, що може призвести до втрати стійкості комбайна. За наявності глибоких колій або нерівностей оператор повинен зменшити швидкість і бути особливо уважним.

#### 20. Вимоги до використання допоміжних засобів

При буксируванні причепів чи інших агрегатів перевірити, чи надійно закріплені з'єднувальні пристрої. Забезпечити рівномірне навантаження на причіпний механізм і уникати перевищення максимально допустимого навантаження. Використовувати тільки ті причепа та пристрої, які сумісні з моделлю комбайна.

#### 21. Вимоги до роботи з механізмами підвищеної небезпеки

Жатка, молотарка та інші рухомі частини комбайна мають працювати лише за закритих захисних кожухів. Забороняється очищати механізми чи регулювати їх під час роботи або при ввімкненому двигуні. Оператор повинен забезпечити доступ до механізмів тільки після повної зупинки техніки.

#### 22. Заходи з підтримки здоров'я та профілактики втоми

Робочий день оператора повинен відповідати нормам, встановленим законодавством, з обов'язковими перервами для відпочинку. У разі тривалих змін забезпечити чергування операторів для зниження рівня втоми. Під час роботи у спекотну погоду надавати оператору доступ до питної води та умов для короткочасного відпочинку.

#### 23. Дії у разі небезпеки для навколишнього середовища

У разі витоку палива, мастила або інших рідин вжити заходів щодо їх зупинки та локалізації. Негайно повідомити відповідальних осіб про аварійну ситуацію. Здійснити очищення забруднених ділянок відповідно до вимог екологічної безпеки.

## **Висновки**

Керівники підприємств повинні забезпечити регулярний контроль за дотриманням працівниками техніки безпеки. Проводити перевірки стану комбайнів і наявності необхідного обладнання (вогнегасників, аптечок тощо). Організовувати регулярні інструктажі, навчання та тестування знань із питань охорони праці.

Механізатор несе відповідальність за дотримання правил техніки безпеки під час експлуатації комбайна. У разі виявлення порушень або недотримання вимог, роботу слід припинити до усунення недоліків. Усі порушення та аварійні ситуації повинні бути зафіксовані у відповідній документації, із зазначенням заходів, які було вжито для їх усунення. Ці вимоги забезпечують комплексний підхід до безпечної експлуатації зернозбирального комбайна, сприяють збереженню здоров'я працівників та підвищують ефективність роботи.

## 6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

Розрахунок економічної ефективності при модернізації зернозбирального комбайна включає в себе оцінку витрат на модернізацію та порівняння цих витрат з очікуваними перевагами від поліпшення ефективності роботи комбайна. Основними параметрами для оцінки економічної ефективності є витрати на модернізацію, зниження експлуатаційних витрат, збільшення врожайності та скорочення часу на обробку полів.

Кроки для розрахунку економічної ефективності наступні:

Задля детального розрахунку економічної ефективності модернізації зернозбирального комбайна, розглянемо основні етапи та фактори, що враховуються у цьому процесі. Для цього ми розглянемо покроковий розрахунок кожного з елементів, починаючи від витрат на модернізацію, зниження експлуатаційних витрат і до збільшення врожайності та зменшення витрат на персонал.

### 1. Витрати на модернізацію

Модернізація включає витрати на нові компоненти, заміну устарілих частин, вдосконалення систем управління та інші елементи.

Вартість модернізації:

Придбання нових деталей та комплектуючих: Це можуть бути елементи, які підвищують ефективність роботи (наприклад, нові жатки, молотарки, електроніка, новий двигун). Припустимо, що вартість цих елементів складає 500 000 грн.

Витрати на виконання робіт з модернізації: Це оплата праці робітників за монтаж і налаштування нових систем та компонентів. Припустимо, що ці витрати складають 200 000 грн.

Загальна вартість модернізації = 500 000 грн (деталі) + 200 000 грн (роботи)  
= 700 000 грн.

### 2. Зниження експлуатаційних витрат

Модернізація може призвести до зниження витрат на експлуатацію комбайна. Розглянемо кілька основних аспектів:

### 2.1. Зниження витрат на паливо

Модернізація може покращити паливну ефективність комбайна, зменшити витрату пального на годину роботи, що знижує загальні витрати на паливо.

Припустимо, що після модернізації витрати палива зменшуються на 10%.

Витрати на паливо до модернізації: 500 000 грн/рік.

Зниження витрат на паливо = 10% від 500 000 грн = 50 000 грн за рік.

### 2.2. Зниження витрат на ремонти та обслуговування

Модернізація може знизити частоту поломок та потребу в дорогому ремонті, що також скорочує витрати.

Витрати на ремонт до модернізації: 150 000 грн/рік.

Зниження витрат на ремонт = 20% від 150 000 грн = 30 000 грн за рік.

### 2.3. Зниження витрат на знос деталей

Модернізація техніки зменшує знос, що означає, що частота заміни частин зменшується.

Витрати на заміну деталей до модернізації: 80 000 грн/рік.

Зниження витрат на заміну деталей = 25% від 80 000 грн = 20 000 грн за рік.

Загальні річні заощадження на експлуатаційних витратах:

Заощадження на паливі: 50 000 грн.

Заощадження на ремонтах: 30 000 грн.

Заощадження на зносі деталей: 20 000 грн.

Загальні заощадження = 50 000 грн + 30 000 грн + 20 000 грн = 100 000 грн за рік.

## 3. Підвищення ефективності роботи

Модернізація також може призвести до збільшення врожайності та скорочення часу на збирання.

### 3.1. Збільшення врожайності

Модернізація може зменшити втрати зерна, покращити якість збирання та швидкість роботи, що призведе до збільшення врожайності.

Зменшення втрат завдяки модернізації: 5% від врожаю. Припустимо, що загальний дохід від врожаю складає 4 000 000 грн/рік.

Додатковий дохід = 5% від 4 000 000 грн = 200 000 грн за рік.

### 3.2. Скорочення часу на обробку поля

Модернізація може зменшити час на збирання через покращену технологію обробки. Якщо час роботи комбайна скорочується, можна обробити більше площ за той самий час.

Припустимо, що скорочення часу збирання дозволяє обробляти на 10% більше площ.

Додатковий дохід від збільшення площі, обробленої за той самий час: 10% від 4 000 000 грн = 400 000 грн за рік.

### 4. Зниження витрат на персонал

Модернізація може дозволити скоротити кількість працівників або зменшити їхню заробітну плату завдяки автоматизації процесів.

Припустимо, що після модернізації необхідність у персоналі зменшується на 2 працівники, що дозволяє заощадити на їхній заробітній платі.

Заощадження на зарплатах = 2 працівники \* 20 000 грн/рік = 40 000 грн за рік.

### 5. Амортизація та збільшення терміну служби техніки

Модернізація може збільшити термін служби техніки, знижуючи амортизаційні витрати на одиницю продукції.

Припустимо, що термін служби техніки збільшується на 2 роки, що дозволяє зменшити річні амортизаційні витрати.

Зниження амортизації = 30 000 грн на рік.

### 6. Підсумковий розрахунок економічної ефективності

Загальні річні переваги:

Загальні заощадження на експлуатаційних витратах: 100 000 грн.

Додатковий дохід від підвищення врожайності: 200 000 грн.

Додатковий дохід від скорочення часу на обробку: 400 000 грн.

Заощадження на витратах на персонал: 40 000 грн.

Зниження амортизаційних витрат: 30 000 грн.



Загальний дохід від модернізації = 100 000 грн + 200 000 грн + 400 000 грн + 40 000 грн + 30 000 грн = 770 000 грн.

Термін окупності:

Вартість модернізації: 700 000 грн.

Річний дохід від модернізації: 770 000 грн.

Термін окупності = 700 000 грн / 770 000 грн  $\approx$  0,91 року.

## **Висновки**

Модернізація зернозбирального комбайна з такою вартістю окупається менш ніж за 1 рік. З цього моменту модернізація приносить чистий економічний вигравш у вигляді заощаджень на витратах та додаткових доходів від підвищеної ефективності роботи техніки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Засміченість зернового вороху після комбайна складає 6 до 15%, при вологості – від 16 до 20%. Встановлення додаткового сепаратора зернового вороху на зернозбиральному комбайні, дозволить зменшити засміченість та вологість зерна. Метою дослідження є підвищення ефективності процесу очищення зерна від домішок у зернозбиральному комбайні на основі обґрунтування параметрів конструкції та режиму роботи шнекового сепаратора.

2. Досліджено, що якісної сепарації зернового вороху, швидкість руху повітряного потоку у горизонтальному гвинтовому каналі на місці подачі зерна повинна становити 8 м/с. Теоретичними дослідженнями встановлено оптимальні параметри конструкції пневматичного шнекового сепаратора. За діаметра шнека 0,3 м. Його довжина для подачі повітряного потоку становить 0,7 м, довжина робочого органу для очищення 0,6 м. Дослідження складу зернового вороху показало, що найбільше домішок бур'янів становлять частинки менше розміром 1,5 мм.

3. Отримано рівняння регресії яке описує процес очищення зернового вороху від домішок у пневматично - шнековому сепараторі. Найбільший вплив на процес очищення зернового вороху має швидкість повітряного потоку. Оптимальними параметрами пневматичного шнекового очисника є: швидкість повітряного потоку  $V = 7,1...7$  м/с, діаметр шнека  $d = 0,3$  м. Довжина сепаратора для подачі повітряного потоку рівна 0,7 м. Для підвищення продуктивності пневматичного шнекового сепаратора при очищенні зернового вороху необхідно збільшення діаметра робочого органу.

4. Керівники підприємств повинні забезпечити регулярний контроль за дотриманням працівниками техніки безпеки. Проводити перевірки стану комбайнів і наявності необхідного обладнання (вогнегасників, аптечок тощо). Організувати регулярні інструктажі, навчання та тестування знань із питань охорони праці. Механізатор несе відповідальність за дотримання правил техніки

безпеки під час експлуатації комбайна. У разі виявлення порушень або недотримання вимог, роботу слід припинити до усунення недоліків. Усі порушення та аварійні ситуації повинні бути зафіксовані у відповідній документації, із зазначенням заходів, які було вжито для їх усунення. Ці вимоги забезпечують комплексний підхід до безпечної експлуатації зернозбирального комбайна, сприяють збереженню здоров'я працівників та підвищують ефективність роботи.

5. Модернізація зернозбирального комбайна з такою вартістю окупається менш ніж за 1 рік. З цього моменту модернізація приносить чистий економічний вигаш у вигляді заощаджень на витратах та додаткових доходів від підвищеної ефективності роботи техніки.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Технологія очищення зерна. Буковинська бібліотека [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Buklib.net. <https://buklib.net/books/22811/> (дата звернення 1.10.2024) – Назва з екрана.
2. Очищення зерна як одна із передумов його якісного і довготривалого зберігання. - <https://propozitsiya.com/ua/ochishchennya-zerna-yak-odna-iz-peredumov-yogo-yakisnogo-i-dovgotrivalogo-zberigannya> (дата звернення 8.10.2024) – Назва з екрана.
3. Молотильно-сепарирующая система. - Режим доступу: <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru/produkcija/produkty/zernouborosnye-kombajny/cx6-90/detali/molotilno-separirujusaja-sistema> (дата звернення 1.10.2024) – Назва з екрана.
4. Сільськогосподарські машини. - [http://192.162.132.48:5000/MyWeb/manual/agroingenerija/silskogospodarski\\_mashynu](http://192.162.132.48:5000/MyWeb/manual/agroingenerija/silskogospodarski_mashynu) (дата звернення 4.10.2024) – Назва з екрана.
5. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. - К.: Каравела, 2004. – 552 с.
6. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. – К.: Урожай, 1982. – 312 с.
7. Хайліс Г. А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник / Г. А. Хайліс, Д. М. Коновалюк – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
8. Хайліс Г. А. Механика растительных материалов / Г. А. Хайліс – Киев: УААН, 1994. – 332с.
9. "Технологія і обладнання для післязбиральної обробки зерна", автори: М.М. Мартиненко, В.О. Карпенко, 2020.
10. "Післязбиральна обробка і зберігання зернових культур", ред. І.М. Мельника, 2015.

11. "Теорія і практика очищення та сортування зернових матеріалів", О.І. Бугай, 2019.
12. Петренко, С.М., та ін. "Аналіз ефективності роботи машин для очищення зернових культур", Збірник наукових праць НУБіП України, 2021.
13. Іванченко, О.Г., "Моделювання процесів очищення зернового матеріалу в аспіраційних колонках", Вісник Харківського аграрного університету, 2020.
14. ДСТУ 2837-2020: "Машини для очищення та сортування зерна".
15. "Postharvest Grain Management Technology", А.К. Srivastava, 2017.
16. "Grain Cleaning and Conditioning", edited by G.W. Allen, Springer, 2021.
17. ISO 5223:2017 – Сита для перевірки зернових культур.
18. ISO 7970:2021 – Вимоги до зернових матеріалів.
19. Державні норми: ДСТУ 3768:2019 (зерно), ДСТУ 7483:2017

## ДОДАТКИ