

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**НА ТЕМУ:**

## **«ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РОЗРОБКА ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗЕРНОВИХ СЕПАРАТОРІВ»**

**Виконав:**

здобувач освітнього ступеня «Магістр»  
освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної форми навчання  
**ЛУБКО Андрій Олегович**

**Керівник:**

к.т.н., доцент  
**ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ **ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙОЇ РОБОТИ.....	4
АНОТАЦІЯ.....	5
РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	7
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ</b>	
<b>ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Характеристики зернового вороху і технологічні показники процесу</b>	
<b>його очищення.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Аналіз досліджень процесів, способів очищення зернових сумішей</b>	
<b>від легких домішок і конструкцій пневмосепарувальних каналів.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Висновки до розділу, постановка мети та завдання дослідження.....</b>	<b>31</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ</b>	
<b>ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. Моделювання руху псевдозрідженої зернової суміші по нахиленій</b>	
<b>лускатій поверхні розробленого пневмосепарувального каналу.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2. Моделювання розшарування зернової суміші на повітропроникній</b>	
<b>лускатій поверхні розробленого пневмосепарувального каналу.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Моделювання процесу очищення зернової суміші в вертикальному</b>	
<b>пневмосепарувальному каналі.....</b>	<b>44</b>
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ</b>	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1. Характеристика об'єктів дослідження.....</b>	<b>53</b>
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1. Ефективність процесу очищення ЗС розробленим пневмосепарувальним</b>	
<b>каналом.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2. Закономірності руху компонентів зернових сумішей.....</b>	<b>79</b>
<b>4.3. Закономірності зміни пористості зернових сумішей.....</b>	<b>84</b>
<b>4.4. Визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів</b>	
<b>пневмосепарувального каналу.....</b>	<b>85</b>

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНОГО КАНАЛУ.....	87
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	96
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	102
ДОДАТОК А.....	106

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 208 - «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри,  
доцент \_\_\_\_\_ Василь ДУГАНЕЦЬ  
„04” квітня 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
Здобувачу ЛУБКО Андрію Олеговичу

**1. Тема роботи:** «ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РОЗРОБКА ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗЕРНОВИХ СЕПАРАТОРІВ»

**2. Керівник роботи:** ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович, доцент

Затверджено наказом Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року № 355с.

**Термін подання** здобувачем закінченої роботи 22 листопада 2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:**

1. Матеріали з технологій очищення зернових сумішей.
2. Науково-технічна література.
3. Результати досліджень пневмосепарувальних каналів.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

Вступ

1. Стан питання і перспективи підвищення ефективності процесів очищення зернових сумішей.
2. Теоретичні дослідження процесу очищення зернових сумішей в пневмосепарувальних каналах.
3. Методика та обладнання для проведення експериментальних досліджень.
4. Результати експериментальних досліджень.
5. Оцінка ефективності розробленого пневмосепарувального каналу.
6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Загальні висновки по роботі.

Список використаних джерел.

Додатки.

## 5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Титульний аркуш.
2. Мета і завдання досліджень.
3. Аналіз досліджень процесів, способів очищення зернових сумішей.
4. Аналіз досліджень процесів, способів очищення зернових сумішей.
5. Схема пневмосепараторів з попередньою підготовку сипких матеріалів.
6. Комплексний барабанний сепаратор КБС.
7. Схема розробленого пневмосепарувального каналу.
8. Моделювання руху псевдозрідженої зернової суміші.
9. Моделювання процесу очищення зернової суміші.
10. Проведення експериментальних досліджень.
11. Проведення експериментальних досліджень.
12. Результати експериментальних досліджень.
13. Результати експериментальних досліджень.
14. Оцінка ефективності розробленого пневмосепарувального каналу.
15. Загальний вигляд сепаратора з розробленим пневмосепарувальним каналом.
16. Розподіл витрат потужності на процес очищення зернових сумішей.
17. Загальні висновки по роботі.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	ДЕВІН В.В., доцент		

## 7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Термін виконання розділів роботи		Примітка
		планово	фактично	
	Вступ	12.04.2025 р.	12.04.2025 р.	
1.	Стан питання і перспективи підвищення ефективності очищення.	27.04.2025 р.	27.04.2025 р.	
2.	Теоретичні дослідження процесу очищення зернових сумішей.	13.05.2025 р.	13.05.2025 р.	
3.	Методика та обладнання для проведення досліджень.	20.06.2025 р.	20.06.2025 р.	
4.	Результати експериментальних досліджень.	12.07.2025 р.	12.07.2025 р.	
5.	Оцінка ефективності розробленого пневмосепарувального каналу.	15.08.2025 р.	15.08.2025 р.	
6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	10.09.2025 р.	10.09.2025 р.	
	Загальні висновки по роботі.	15.10.2025 р.	15.10.2025 р.	
	Список використаних джерел.	10.11.2025 р.	10.11.2025 р.	
	Додатки.	24.11.2025 р.	24.11.2025 р.	

Здобувач

**Андрій ЛУБКО**

Керівник

**Василь ДУГАНЕЦЬ**

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра обґрунтовані раціональні параметри ПСК з розшарувальним пристроєм, використання якого підвищує ефективність роботи зернових барабанних сепараторів.

Запропонована, науково-обґрунтована нова конструкція ПСК зернових сепараторів, яка підвищує ефективність процесу очищення ЗС від легких домішок на 30...40% (до 80...96%) і збільшує продуктивність зернових сепараторів типу КБС на 23,5...29%, у порівнянні з існуючими.

## SUMMARY

The master's qualification work substantiates the rational parameters of the PSC with a stratifying device, the use of which increases the efficiency of grain drum separators.

A new, scientifically substantiated design of the PSC of grain separators is proposed, which increases the efficiency of the process of cleaning grain from light impurities by 30...40% (up to 80...96%) and increases the productivity of grain separators of the KBS type by 23.5...29%, compared to existing ones.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 99 аркушах формату А4, яка вміщує 6 розділів 4 таблиць, 77 рисунків, 40 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 17 слайдах.

Метою роботи є підвищення продуктивності барабанних зернових сепараторів шляхом обґрунтування параметрів ПСК з розшарувальним пристроєм.

В процесі виконання роботи використовувались методи розв'язання диференціальних рівнянь та обчислювальної техніки. Експериментальні дослідження проведені на виготовлених лабораторних установках з використанням відеозйомки та розробленого програмного забезпечення.

Встановлені залежності ефективності процесу очищення ЗС за умови їх попереднього розшарування на розробленому ПСК. Визначено, що збільшення швидкості повітряного потоку, в діапазонах що досліджується, підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 9,3...21 %. Встановлені діапазони варіювання коефіцієнтів розшарування для ЗС: пшениці  $k_1=0,23...0,9$ ; соняшнику  $k_1=0,12...0,22$ ; кукурудзи  $k_1=0,24...0,48$ . Підвищення продуктивності розробленого ПСК при очищенні попередньо розшарованих ЗС склало 3...42%, порівняно з базовою конструкцією.

Ключові слова: ПРОЦЕСИ ОЧИЩЕННЯ, ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИЙ КАНАЛ, ЗЕРНОВІ СУМІШІ, ЛЕГКІ ДОМШКИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Основним завданням АПК України є забезпечення населення високоякісними і екологічно безпечними продуктами харчування, промисловість – сировиною, а також – формування експортного потенціалу. Україна, завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам, є потужним світовим виробником основних зернових культур: пшениця, кукурудза, соняшник, ячмінь та ін. Збільшення виробництва зернових культур до 64 млн. т та їх експорту до 42,5 млн. т на основі застарілої матеріально-технічної бази господарств та зернопереробних підприємств вимагає інтенсифікації технологічних процесів роботи зернових сепараторів.

Технології очищення зернових матеріалів визначаються технічним рівнем зерноочисних машин і обладнання. При цьому 80% зазначеної техніки відпрацювала амортизаційні строки, що збільшує вірогідність незапланованих відмов. Процес очищення ЗС здійснюється за різними ознаками розділення: аеродинамічні властивості, розмірні характеристики, щільність, стан поверхні, форма та ін. Найпоширенішими (42%) є машини універсального призначення з повітряно-решітними робочими органами. Розділення ЗС у повітряному потоці - пневмосепарація, виконується у пневмосепарувальних каналах (ПСК), які можуть бути як вузлом так і окремою машиною. Розділення ЗС за розмірами виконується у решітному блоці, які мають декілька решіт з різними отворами.

Подальше підвищення обсягів виробництва зерна, підвищення засміченості ЗС ведуть до того, що ПСК сучасних зерноочисних машин мають недостатню пропускну здатність. Також слід відмітити, що стислі агростроки виконання зерноочисних робіт (внаслідок засміченості та вологості вороху) при недостатньо ефективній пневмосепарації призводить до багаторазових пропусків ЗС через робочі органи. Це призводить до втрат зерна у відходи та його травмування, збільшення експлуатаційних витрат та собівартості виконання робіт.

ПСК комплексних барабанних сепараторів типу КБС призначені для очищення ЗС у повітряному потоці від легких домішок, але мають недостатню ефективність роботи. Наявне засмічення ЗС та перспективне збільшення обсягів виробництва зерна в Україні вимагають підвищення ефективності процесу його очищення на барабанних сепараторах.

Проведеним аналізом відомих досліджень і конструкцій встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності процесів очищення ЗС від легких домішок є їх інтенсифікація шляхом застосування попереднього розшарування.

Таким чином, обґрунтування параметрів процесу очищення ЗС і розробка конструкції ПСК є актуальним і перспективним завданням для розвитку аграрного виробництва України, вирішення якого забезпечить підвищення продуктивності зернових сепараторів.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення продуктивності барабанних зернових сепараторів шляхом обґрунтування параметрів пневмосепарувального каналу з розшарувальним пристроєм. Для досягнення сформульованої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести оцінку і аналіз існуючих підходів до підвищення ефективності процесів очищення ЗС;
- виконати моделювання руху двофазного полідисперсного середовища ЗС в ПСК, встановити закономірності швидкості переміщення компонентів ЗС з урахуванням їх властивостей та попереднього розшарування;
- обґрунтувати підхід і розробити метод оцінки функціональних залежностей складових швидкості ЗС від конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК, що визначають ефективність розшарування та подальшого очищення ЗС;
- обґрунтувати критерії оптимізації процесу очищення ЗС, запропонувати цільову функцію та визначити раціональні конструктивні параметри розробленого ПСК барабанних зернових сепараторів;
- виконати оцінку впливу конструктивно-технологічних параметрів ПСК на траєкторії та поле швидкості ЗС в розробленому ПСК;
- провести ідентифікацію швидкості, пористості ЗС та розмірних характеристик їх компонентів, виконати оцінку адекватності та ефективності отриманих залежностей процесу очищення ЗС експериментальними дослідженнями і виробничою апробацією розробленого ПСК.

**Об'єкт дослідження:** процес очищення ЗС від легких домішок, його зв'язок з конструктивними параметрами ПСК.

**Предмет дослідження:** рух ЗС в робочих зонах розшарувального пристрою та вертикального каналу, їх інтенсифікація та обґрунтування параметрів розробленого ПСК.

**Методи дослідження:** теоретичні дослідження виконані із застосуванням основних положень механіки суцільних та гетерогенних середовищ, аеродинаміки. Розв'язок побудованих математичних моделей виконано з використанням методів розв'язання диференціальних рівнянь та обчислювальної техніки. Експериментальні дослідження проведені на виготовлених лабораторних установках з використанням відеозйомки та розробленого програмного забезпечення. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана із застосуванням положень теорії ймовірності та математичної статистики з використанням пакетів програм "Mathcad", "MatLab", "Excel". Для визначення оптимальних співвідношень конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК застосована методика планування факторного експерименту.

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами теоретичних та експериментальних досліджень комплексно обґрунтовані раціональні параметри ПСК з розшарувальним пристроєм, використання якого підвищує ефективність роботи зернових барабанних сепараторів.

Запропонована, науково-обґрунтована нова конструкція ПСК зернових сепараторів, яка підвищує ефективність процесу очищення ЗС від легких домішок на 30...40% (до 80...96%) і збільшує продуктивність зернових сепараторів типу КБС на 23,5...29%, у порівнянні з існуючими.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи обговорювались і схвалювались на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2025», а також розглянуті на засіданні кафедри під час попереднього розгляду кваліфікаційної роботи.

## **РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ**

Зерновий ворох, що надходить з бункерів комбайнів чи молотарок складається із зерна основної культури та домішок. Відповідно до ДСТУ 2422-99 "Зерно заготівельне і постачальне. Терміни та визначення" домішки поділяють на зернові та сміттєві. До зернової домішки відносять: бите, давлене, щупле, проросле, морозобійне, пошкоджене самозігріванням або при сушінні, недозріле зерно. До сміттєвої домішки відноситься сміття мінерального та органічного походження, шкідливі домішки, пошкоджене хворобами та шкідниками зерно. Своєчасне очищення вороху від домішок попереджує самозігрівання зерна, поліпшує якість його сушіння.

Відповідно до для очищення та сортування зернових матеріалів використовують наступні типи зерноочисних машин: повітряно-решітні, трієрні, повітряно-решітні-трієрні.

Подальше підвищення продуктивності повітряно-решітних зернових сепараторів на пряму пов'язане з необхідністю інтенсифікації процесу очищення зернових сумішей (ЗС) від легких домішок шляхом удосконалення пневмосепарувальних каналів (ПСК). Розділення компонентів ЗС повітряним потоком ґрунтується на відмінностях аеродинамічних властивостей компонентів насінневої суміші (парусності, розмірів, маси, стану і формі поверхні та ін.). Відділення легких домішок на початковому етапі розвантажує решітні блоки та підвищує ефективність сепараторів.

Дослідженнями взаємодій сипучих середовищ з робочими органами зерноочисних машин, інтенсифікацією їх технологічних процесів займалися такі вчені як: П.М. Василенко, П.М. Заїка, Б.І. Котов, В.В. Адамчук, Д.І. Мазоренко, О.І. Завгородній, Л.М. Тіщенко, В.О. Дубровін, С.І. Малюта, В.М. Дринча, М.В. Бакум, С.П. Степаненко, О.М. Васильковський, В.В. Бредихін, М.В. Півень та інші. Проведення дослідження з встановлення способів підвищення ефективності очищення ЗС від легких домішок та розробка конструкції ПСК зернових сепараторів є актуальним та перспективним завданням, вирішення якого дозволить створити конкурентоздатну вітчизняну зерноочисну техніку.

### 1.3. Характеристики зернового вороху і технологічні показники процесу його очищення

ЗС, що надходить у ПСК, представляє гетерогенну систему, яка складається з газоподібної (повітряної), зернової та домішкової фаз.

Для підприємств, що займаються зберіганням і переробкою зерна, домішки - це неоднорідна система частинок, які мають різну геометричну форму, розміри та густину. Домішки комплексно характеризуються як основними геометричними ознаками (дисперсний склад, форма, макро - і мікрорельєф поверхні), так і такими фізико-механічними властивостями, як масові (густина однієї та сукупності частинок); аеродинамічні (обумовлені в'язкісним та динамічним опором повітряному середовищу); електрофізичні; теплофізичні та ін. Важливішою фізико-механічною характеристикою домішок, з точки зору пневмосепарації, є дисперсність – інтервальний розподіл частинок за крупністю. Засміченість зернового вороху смітними та зерновими домішками залежить від природно-кліматичних умов, рівня агротехніки, стиглості хлібів, а також від якості роботи зернозбиральних комбайнів, та складає від 1 до 25%, причому вміст легких домішок – до 5%. Така кількість легких домішок потребує використання ефективного ПСК.

Проведений аналіз відділених повітряним потоком легких домішок (для певної ЗС) дозволив встановити наступні фракції: бите зерно – 27,5%, щупле зерно – 29,1%, насіння смітних рослин – 22%, смітні домішки органічні – 20,9%, зерно основної культури – 0,5%.

Сортування та очищення ЗС засноване на здатності частинок чинити різну протидію повітряному потоку в залежності від їх властивостей. Ці фізичні властивості називають аеродинамічними властивостями частинок ЗС, а відповідна реакція зі сторони повітряного потоку – опір середовища.

При дослідженнях динаміки дисперсних частинок у повітряному потоці використовують показник – швидкість витання (критична швидкість). Швидкість витання – це відносна швидкість, при якій частинка знаходиться у повітряному потоці у зваженому стані ( $R / G = 1$ ) та визначається за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{G}{kF\rho}}. \quad (1.1)$$

Швидкість витання частинок є визначаючим показником процесу очищення ЗС у повітряному потоці ПСК. Швидкості витання компонентів ЗС визначають у парусних класифікаторах з вертикальним повітряним потоком РПК-30, ППК-ВИМ, РПК-30 та ін.

Швидкості витання компонентів ЗС є довідковими, але в цих даних є розбіжність. Швидкості витання частинок ЗС у повітряному потоці змінюються в залежності від їх форми та стану поверхні.

Авторами одержані значення динамічних коефіцієнтів для частинок різних форм: кулеподібна – 1,0; закруглена з нерівною поверхнею – 2,4; довгі – 3; пластинчасті – 5; для змішаної форми – 2,9.

Для досліджень процесу очищення ЗС застосовують спрощення форми частинок до сферичної, що призводить до похибки результатів. Значення поправочних коефіцієнтів, що враховують форму частинок, в літературних джерелах різноманітні. Для досліджень та обґрунтування параметрів процесу очищення ЗС необхідно встановити коефіцієнти форми компонентів ЗС.

Для роботи ПСК потрібен повітряний потік, який створюється вентилятором. Виконання технологічного процесу вимагає енергію на приведення в дію вентилятора, на подолання гідравлічного опору системи.

ПСК сепаратора, особливо мобільної машини, повинен бути легшим та займати найменший обсяг. Чим досконаліша конструкція, тим менші габаритні розміри та вага при всіх рівних умовах. Для оцінки габаритних і вагових показників ПСК використовують показники питомої ваги та об'єму по відношенню до продуктивності.

#### **1.4. Аналіз досліджень процесів, способів очищення зернових сумішей від легких домішок і конструкцій пневмосепарувальних каналів**

Експериментальні та теоретичні дослідження процесу очищення зерна повітряним потоком, практика експлуатації зернових сепараторів визначили технологічні фактори, що впливають на ефективність процесу: питома завантаження та початкова швидкість частинок зернового вороху; швидкість та рівномірність повітряного потоку.

Експериментами встановлено, що початкова швидкість вводу ЗС у ПСК, направлення руху впливає на ефективність розділення. Визначено способи подачі ЗС: за допомогою направляючої, що встановлена з нахилом; вібруючим лотком; рифленим живильником-валком. Дослідниками визначено, що оптимальна швидкість вводу ЗС складає 0,3...0,4 м/с. При цьому кут нахилу направляючої поверхні приймають до кута тертя зерна по металу, а саме 25...35°.

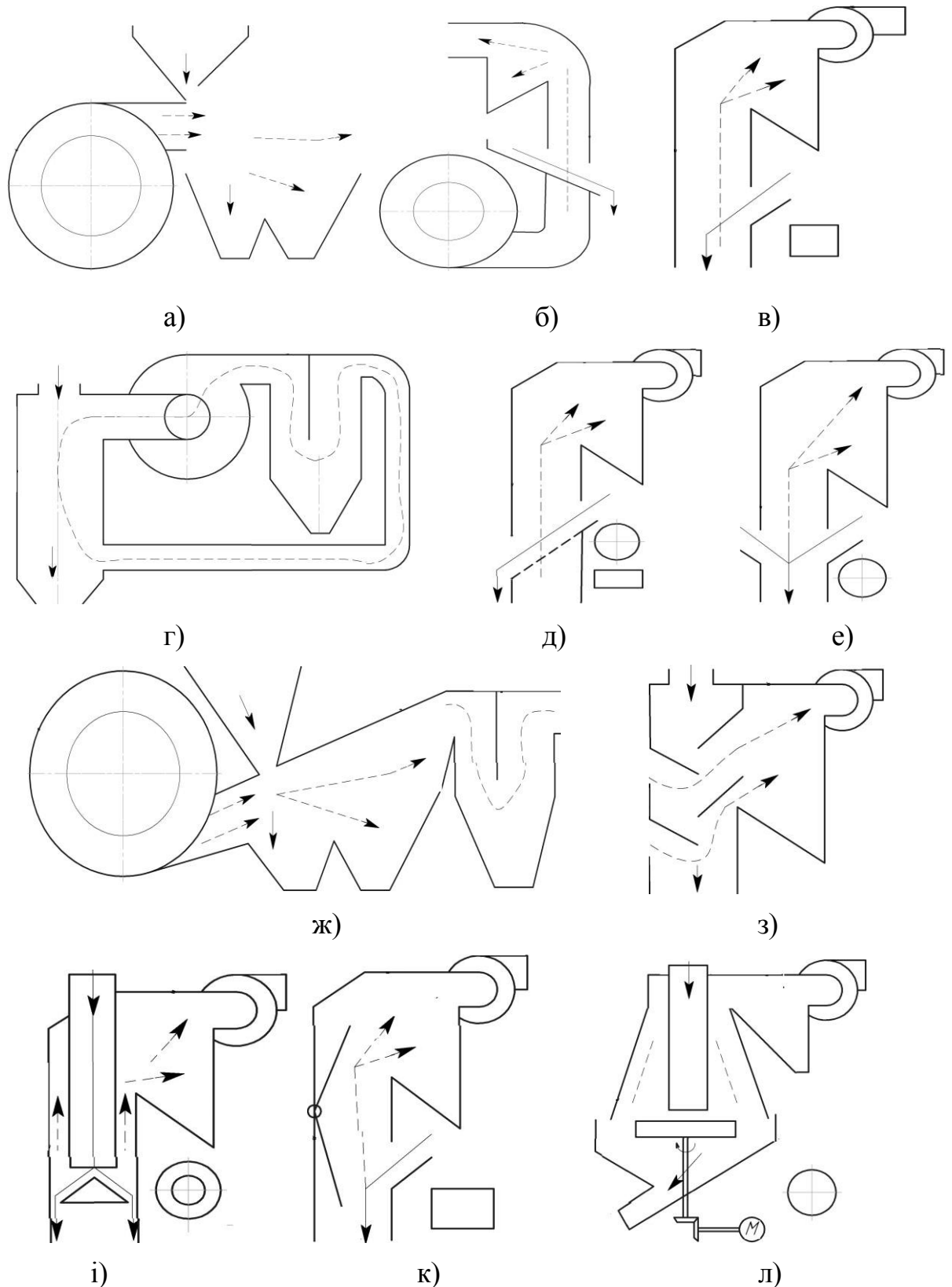
Ще одним з технологічних параметрів роботи ПСК є швидкість та рівномірність повітряного потоку в робочій зоні. Якість розділення компонентів ЗС перш за все залежить від різниці швидкості витання зерна та домішок, забезпечення певної швидкості повітряного потоку.

Таким чином, підвищити продуктивність та якість ПСК можливо шляхом забезпечення оптимальних технологічних параметрів. В практиці конструювання повітроочисних систем комбінованих зерноочисних машин набули розвитку три основні конструктивні схеми: одноканальні, секційні та безканальні.

Спеціальні зерноочисні сепаратори для очищення ЗС від легких домішок з одночасним сортуванням матеріалу за різницею аеродинамічних властивостей їх компонентів сформованим повітряним потоком розрізняють за розміщенням сепарувальних каналів: з вертикальним, нахиленим і горизонтальним.

В результаті проведеного аналізу встановлено конструкції ПСК:

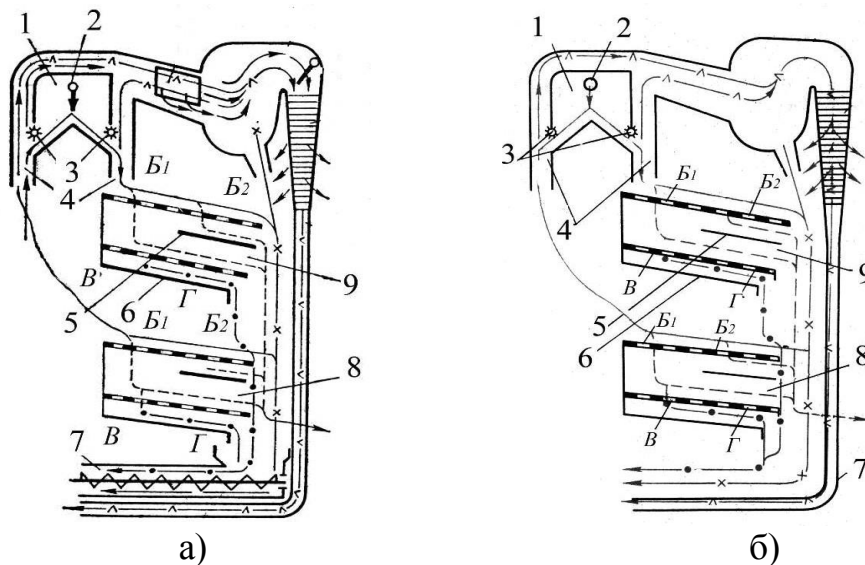
- від наявності каналів: безканальні (рис. 1.1, а), каналні (рис.1.1, б-л),
- за принципом дії: пасивні (рис.1.1, а-к), активні (обертальні) (рис.1.1, л);
- за розташуванням: одноканальні (рис.1.1, б-ж, і-л), секційні (рис.1.1, з);
- за формою перетину каналів: прямокутні (рис.1.1, в, д, з, к), круглі (рис.1.1, д, е), кільцеві (рис.1.1, і);
- за направленням каналів: вертикальні (рис.1.1, б-е, з-к), горизонтальні (рис.1.1, а), похилі (рис.1.1, ж);
- за типом руху повітряного потоку: нагнітальні (рис.1.1, а, б, ж), всмоктувальні (рис.1.1, в, д, е, з-л), всмоктувально-нагнітальні (рис.1.1, г);
- за типом пневмосистеми: машини з розімкненим (рис.1.1, а,-в, д-л) та замкненим циклами повітряного потоку (рис.1.1, г). З горизонтальним каналом «САД» (рис.1.1, ж).



а – нагнітальний безканалний; б, в – нагнітальний та всмоктувальний каналний вертикальний; г – каналний з замкнутою системою; д – всмоктувальний вертикальний з похилою сіткою; е – всмоктувальний вертикальний з подачею за периметром; ж – нагнітальний похилий; з – всмоктувальний секційний; і – всмоктувальний кільцевий; к – всмоктувальний зі змінним робочим перетином; л – всмоктувальний дисковий ротаційний

Рисунок 1.1 – Схеми пневмосепарувальних пристроїв

Прямокутні ПСК є поширеними на зернових сепараторах (рис. 1.2 – 1.4).



а)

б)

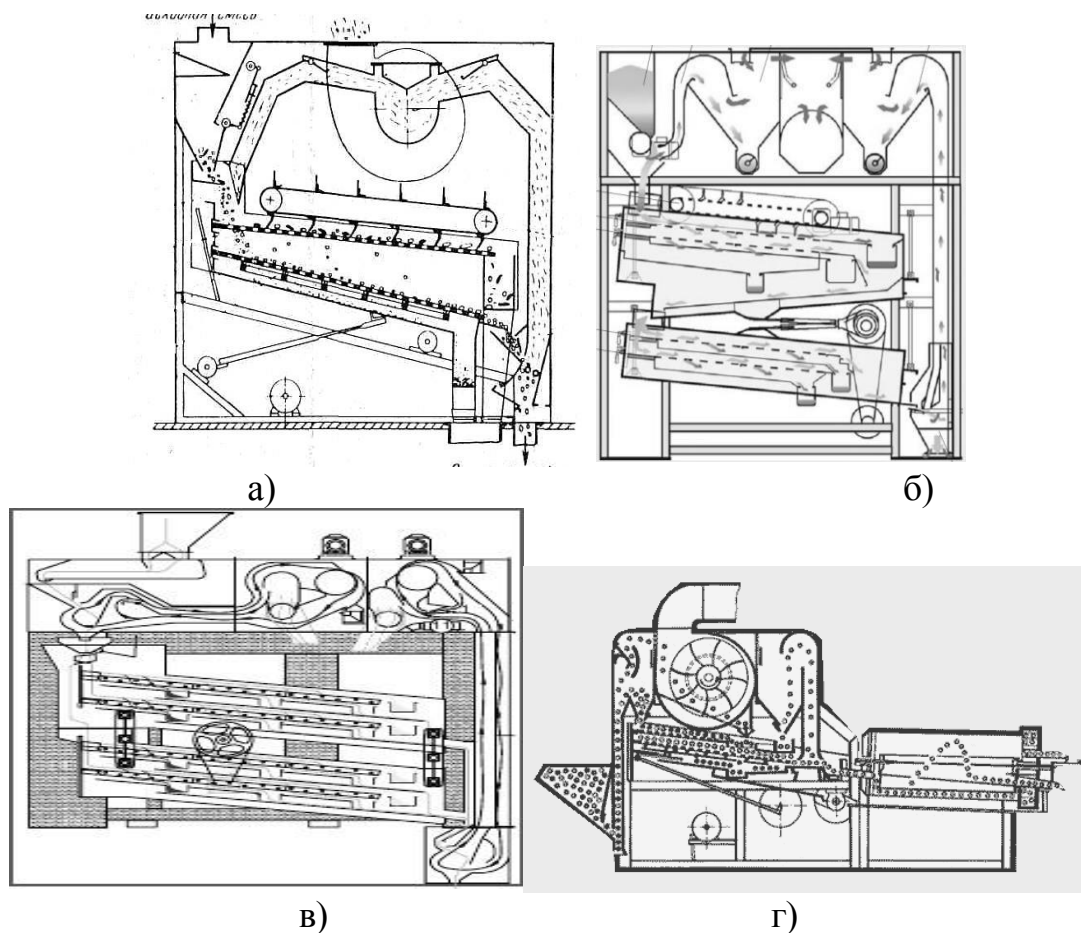
а – ОВС-25; б – ВП-20А;

1 – приймальна камера; 2 – розподільний шнек; 3 – живильні валики;

4 – повітряні канали; 5, 6 – верхня і нижня нахилені дошки;

7 – транспортер; 8, 9 – нижній і верхній решітні стани

Рисунок 1.2 – Схема зернових сепараторів



а)

б)

в)

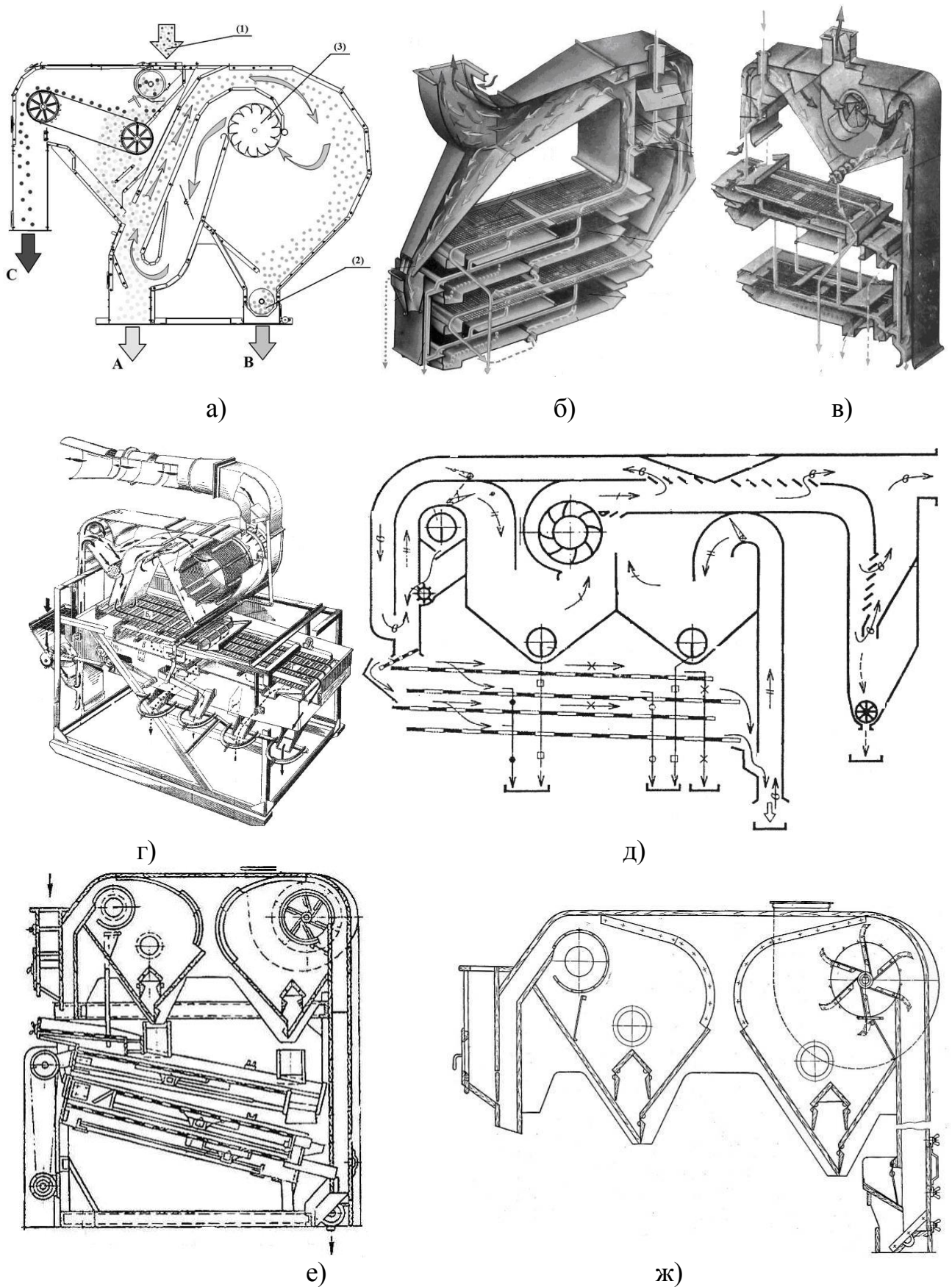
г)

а – РЕТКУС К 523; б – аспіраційна система зерноочисника РЕТКУС U12/U15; в –

Cimbria Delta Combi Cleaner 157; г – насінне-сортувальна машина К 541 Gigant

фірми РЕТКУС

Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу сепараторів



а – МПО-50М; б – ЗАВ -20.30 000; в – СВУ-10А; г – насіннєочисна універсальна машина СУ-01; д – МВО-10 (МЗУ-25/15); е – ЗСМ-10 (ЗСМ-20); ж – пневмосепарувальний пристрій сепаратора ПДП-10

Рисунок 1.4 – Технологічні схеми роботи сепараторів

Подібні канали є елементом сепараторів ОВС-25 та ОВП-20А (рис.1.2), РЕТКУС К 541 (Німеччина), Cimbria Delta Combi Cleaner 157 (Данія) (рис.1.3), МПО-50, СВУ-10А, МВО-10, ЗСМ-10 (рис.1.4) та інших. Одноканальні повітряноочисні системи у сепараторах, як правило, включають приймальну камеру, ПСК (переважно вертикальний), пилоосаджувальну камеру, вентилятор. Використання таких пристроїв передбачає відділення домішок на початковому етапі, що розвантажує решета та підвищує продуктивність сепараторів.

До машин, які використовують одноканальні ПСК, слід віднести сепаратори типу МВО, ЗСМ, ПДП, ЗСП, КДП та ін. За рахунок встановленого після ПСК подільника ЗС подається двома потоками, які поступають на верхній та нижній решітні стани (рис.1.2, рис.1.4, б-е). Ефективність відокремлення легких домішок в таких ПСК низька, особливо при збільшенні продуктивності.

При підготовці насіннєвого матеріалу або роботи в приміщеннях використовують ПСК з секційними каналами (колонка БКА) (рис.1.1, з) та багатократним очищенням (рис.1.1, г, 1.4, а). Такі конструкції мають переваги: низький викид пилу, зменшення металоємності за рахунок спрощеної осаджувальної системи, зменшення повітрообміну. До недоліків відносять необхідність герметичності, складність конструкції і експлуатації машини. ПСК з розімкнутим циклом потребують ефективних пиловловлювачів, які забезпечують нормовану запиленість робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005-88.

Для підвищення якості очищення ЗС від легких домішок використовують багатократне очищення (рис. 1.5, 1.6). Подібне очищення забезпечується за рахунок замкнутої системи (рис.1.5) або використанням двох каналів (основного та каналу другої аспірації). Подвійні ПСК є елементами в двократній аспіраційній системі з замкнуто–розімкнутим циклом повітрообміну конструкції А.І. Буркова, сепараторі Denis NSD-3 та сепараторі TAS 152A-2. Таке розташування каналів збільшує ефективність очищення ЗС від домішок але потребує незалежного регулювання кожного та потребує підвищення витрати повітря та ускладнює конструкцію.

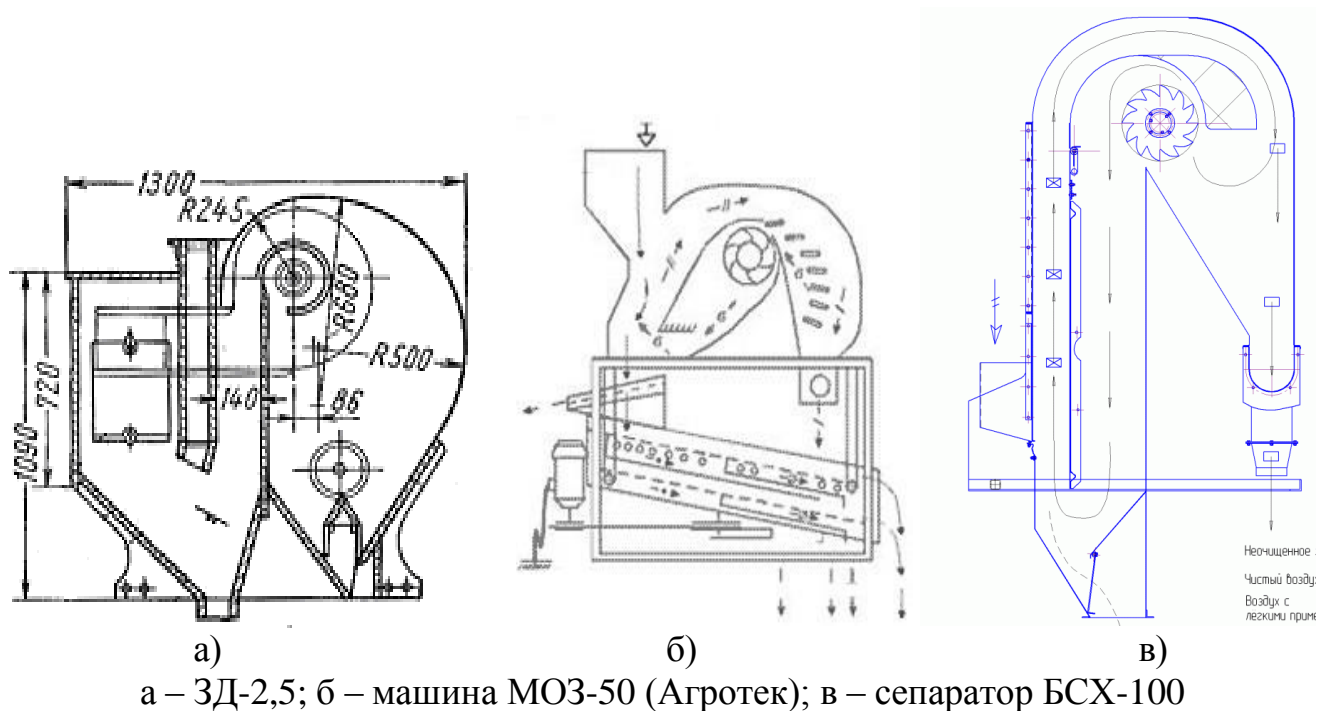


Рисунок 1.5 – Схеми пневмосепарувальних пристроїв з замкнутою системою циркуляції повітря

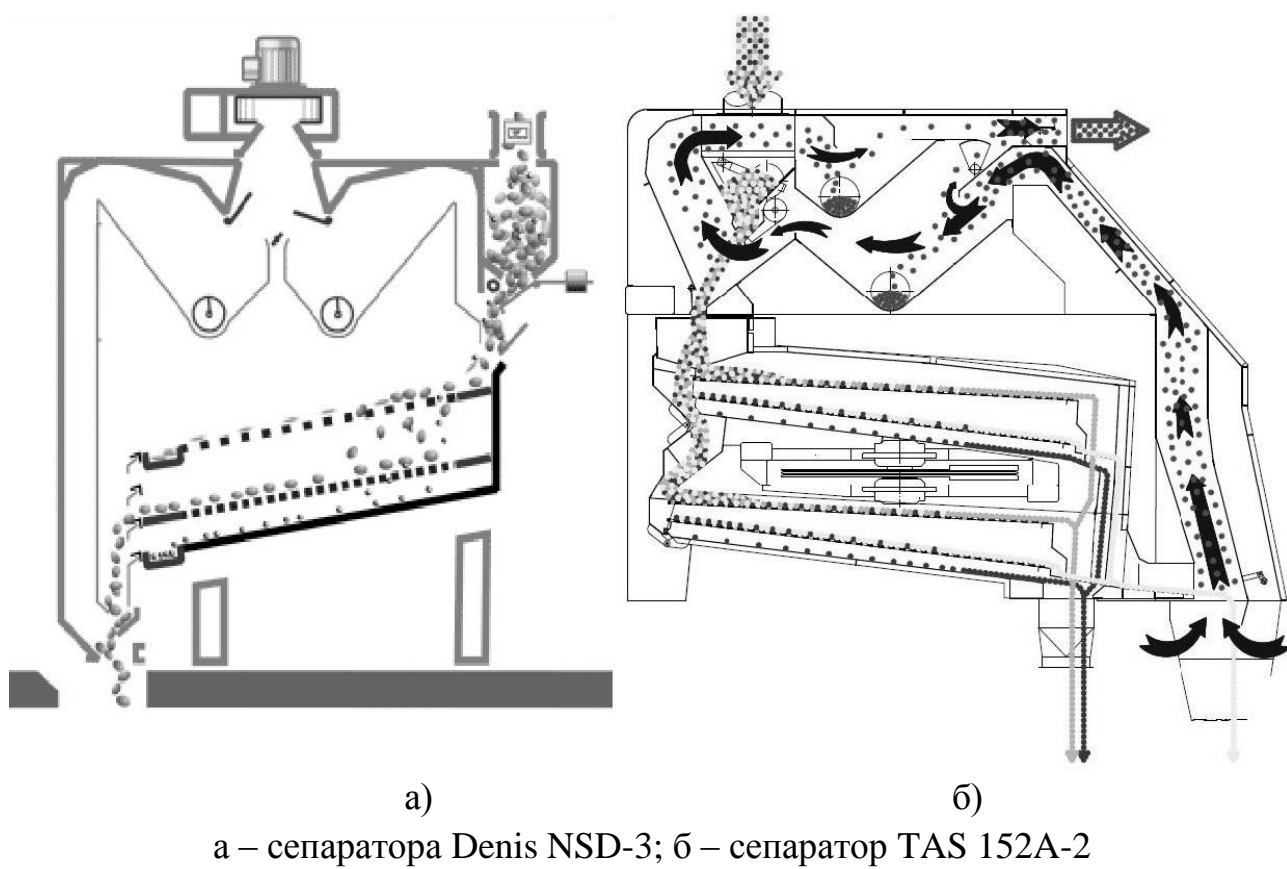


Рисунок 1.6 – Пневмосепарувальні пристрої з багатократним очищенням

Використання кільцевих ПСК у більшості випадків має вигляд (рис.1.7), наприклад, машина ПЗА-40, агрегат ЗА-40, ворохоочисник ВО-40 (ВО-50), сепаратори ПЗС-10, ОВВ-20. За відсутності зон завихрення та наявності рівномірності поля швидкості повітряного потоку кільцеві канали ефективніші за круглу та прямокутну форму перетинів.

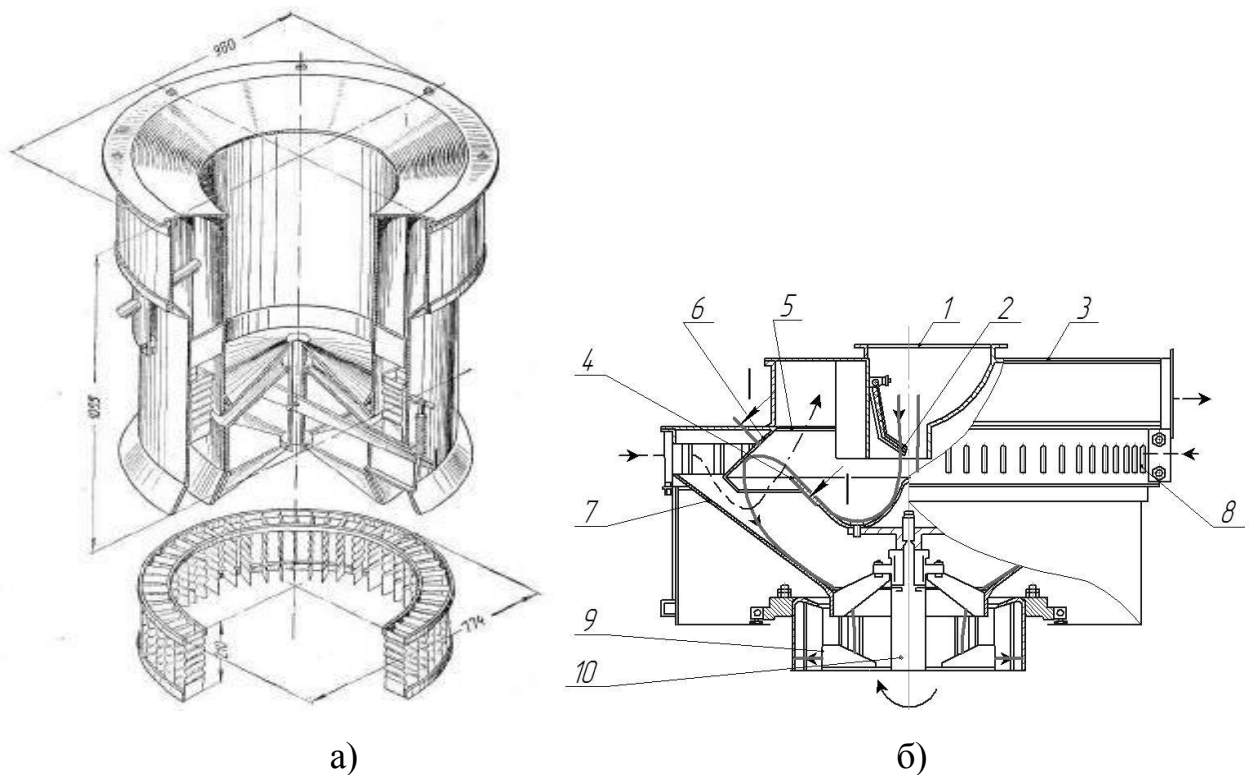
Більш удосконалену конструкцію кільцевого ПСК розроблено Гончаровим Є.С. впроваджено у серії вібровідцентрових сепараторах (СВС-5, СВС-15, СВС-25, Р8-БЦСМ-25, Р8-БЦСМ-50, А1-БЦСМ-100), де використано активний обертальний розкидач (рис.1.7, в). Для рівномірності подачі зернового матеріалу в кільцевий канал тарілчастий розкидач виконано в формі пологого усіченого конусу, з встановленими лопатками.

Таким чином, з аналізу ПСК серійних сепараторів видно, що потенціал більшості конструкцій не вичерпано та потребує подальшого удосконалення.

Одним з факторів, що впливає на ефективність розділення ЗС у повітряному потоку, є питома завантаження каналу. Попередня підготовка матеріалу (рис.1.8), а саме розшарування суміші з перерозподілом частинок легких домішок, дозволяє значно підвищити якість розділення.

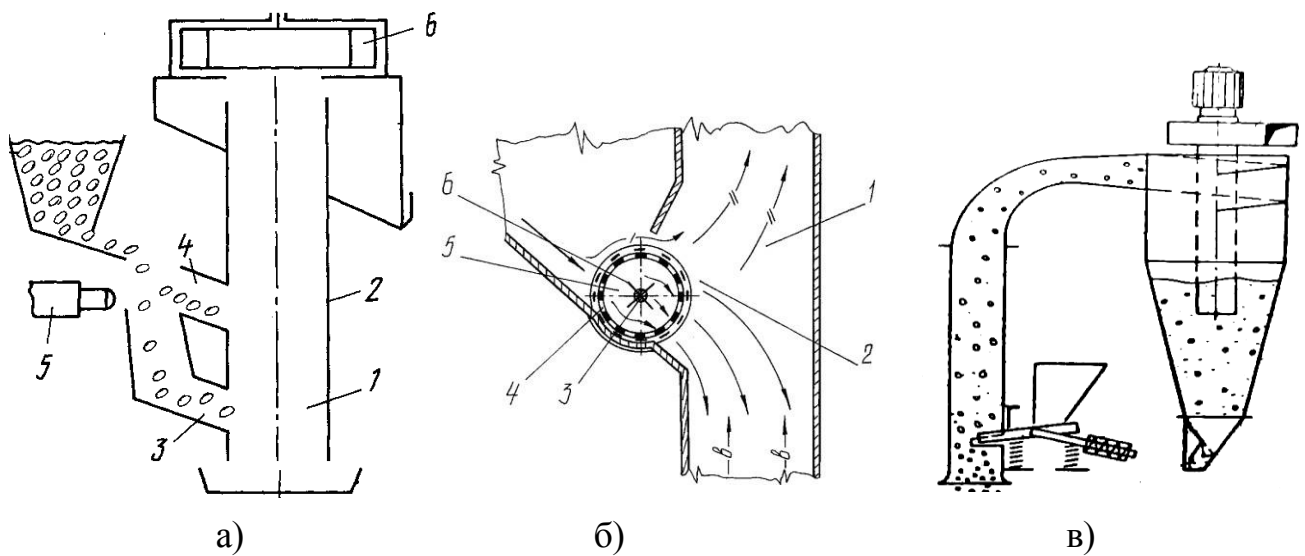
Ямпіловим С.С., Дринчою В.М. для підвищення ефективності очищення ЗС у ПСК запропоновано використати пристрій (рис.1.8, а). Сопла пристрою діють на ЗС та виділяють на початковому етапі легкі домішки. Це забезпечує підвищення якості очищення ЗС на 9...12% та продуктивності на 15%. Одним зі способів підвищення ефективності процесу очищення ЗС є використання живильних пристроїв в ПСК. Досліджено пневмосепаратор, який включає ПСК з живильником у вигляді рифленого валика з чарунками на зовнішній стінці. Це дозволило зменшити нерівномірність подачі ЗС за шириною ПСК чим підвищити ефективність його роботи.

В пневмосепаратор (рис.1.8, б) встановлено живильник з решітчастою поверхнею та активаторами, який забезпечує попереднє виділення соломистих домішок та перенос їх у верхні підшари ЗС. Це дозволяє рівномірно розподілити шар в робочій зоні ПСК, підвищити якість очищення ЗС.



а) кільцевий ПСК; б) ПСК сепараторів СВС та БЦС

Рисунок 1.7 – Схеми сепараторів з кільцевим пневмосепарувальним пристроєм



а – з соплом: 1 – вертикальний канал; 2 – стінки вертикального каналу; 3 – патрубок для важкої фракції ЗС; 4 – патрубок для легкої фракції ЗС; 5 – сопло; 6 – вентилятор; б – з решітчастим барабаном живильником: 1 – канал; 2 – вікно для введення вороху; 3 – вал; 4 – живильник; 5 – пола центральна частина; 6 – активатори; в – з вібраційним лотком

Рисунок 1.8 – Схема пневмосепараторів з попередньою підготовку сипких матеріалів

Для підвищення ефективності процесу очищення ЗС в живильний пристрій виконано у вигляді вібруючого лотка (рис.1.8, в). За рахунок цього зерно перерозподіляється в шарі перед ПСК та забезпечується необхідна рівномірність подачі. Це дозволяє підвищити якість процесу очищення ЗС.

Для підвищення ефективності розділення ЗС пропонується встановлення вирівнювальних пластин-жалюзі у вертикальній та повздожній площині. Вирівняний потік та задана швидкість повітряного потоку за шириною робочої зони дозволили підвищити ефективність очищення ЗС до 20 %.

Таким чином, попередня підготовка ЗС, повітряного потоку дозволяє поліпшити якість та збільшити продуктивність ПСК.

Способом підвищення ефективності ПСК є розділення або повторення їх робочої зони (рис.1.9-1.15), забезпечивши при цьому етапність процесу очищення ЗС. Так, у класифікаторі (рис.1.19) пропонується використовувати пристрій, що дозволяє рівномірно розподілити зерновий матеріал в робочій зоні. Пристрій має вигляд жалюзійної решітки, яка складається з пластин розташованих ступінчасто. Продуктивність модернізованого класифікатора збільшується в 2-3 рази, при цьому якість розділення підвищується до 15%.

Авторами розроблено ПСК (рис.1.10) із встановленими в робочій зоні розділювальними перегородками. За рахунок забезпечення заданої швидкості повітряного потоку в дільницях робочої зони підвищується ефективність очищення ЗС на 18%.

У роботах для підвищення ефективності розділення компонентів ЗС пропонується встановлювати в робочий вертикальний ПСК перегородки (рис.1.11), які можуть змінювати власну товщину  $s$ , та пристрій для регулювання зазору  $h$  між підтримуючою сіткою та нижніми краями перегородок.

Оптимальні параметри подібних перегородок досліджені авторами, де визначені довжина каналу, зазор між перегородкою і скатною, відстань від передньої стінки до перегородки і між сусідніми перегородками. Дослідження роботи таких каналів довели залежність швидкості повітряного потоку від товщини шару ЗС, визначили витрати зерна з легкими домішками.

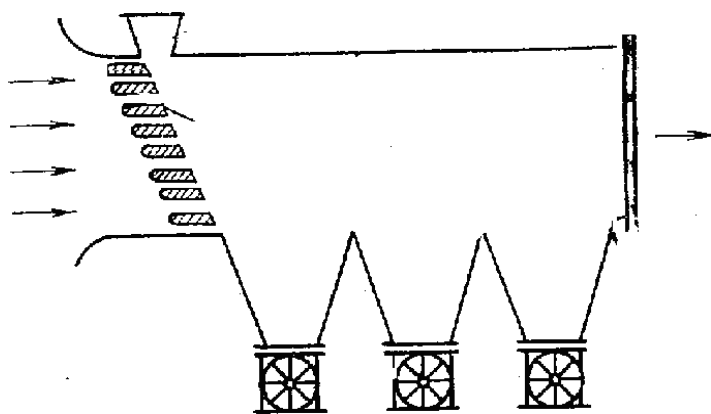
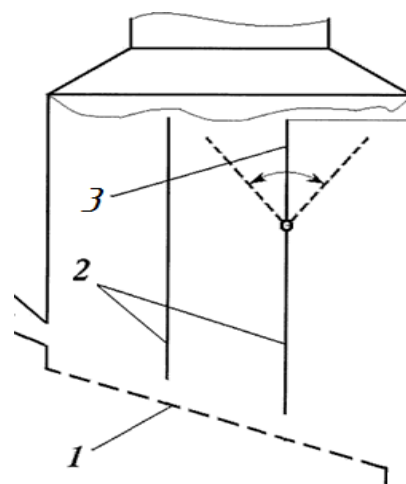


Рисунок 1.9 – Пневматичний класифікатор



1 – сітка; 2 – перегородки;  
3 – рухома частина перегородки  
Рисунок 1.10 – Канал для сепарування зерна

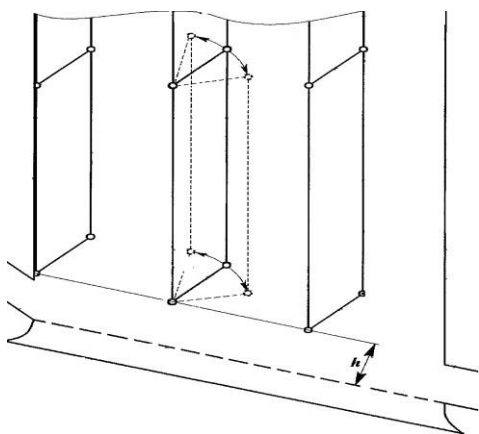


Рисунок 1.11 – Канал з регульовальними перегородками

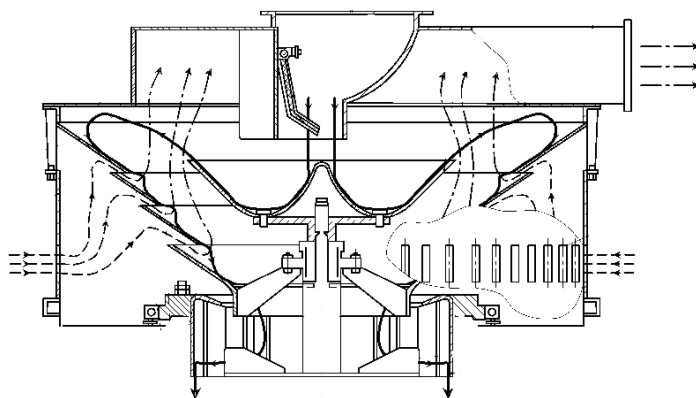


Рисунок 1.12 – Схеми кільцевого пневмосепарувального каналу

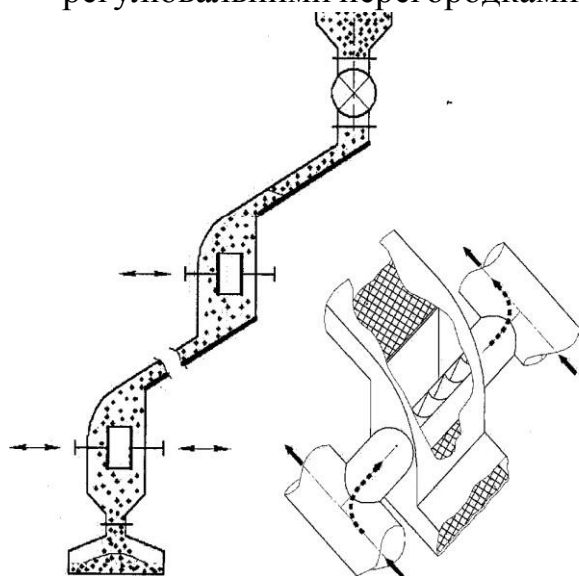


Рисунок 1.13 – Схема класифікатора

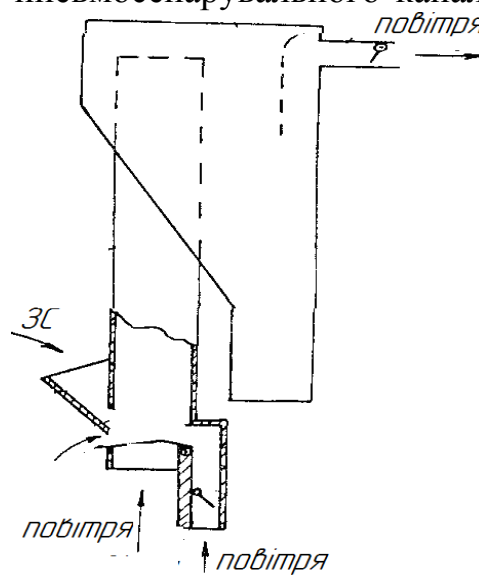


Рисунок 1.14 – Схема аспіраційного пристрою

Для підвищення ефективності процесу очищення в кільцевих ПСК з активним розкидачем досліджено конструкцію, яка передбачає каскади з багатократним очищенням (рис.1.12). Це дозволило підвищити ефективність процесу сепарації на 30...40%.

Також запропоновано конструкцію класифікатора (рис.1.13), що містить послідовну подачу шаром ЗС на ряд площин з нахилом, які розташовані каскадом. Відділення домішок ЗС проходить над пневмокамерами з патрубками через які проходить повітряний потік.

На (рис.1.14) для підвищення ефективності пневмосепарації пропонують систему доочищення ЗС. Так, після розділення у вертикальному каналі, ЗС потрапляє на повітропроникну поверхню і у додатковий повітряний канал, на яких і відбувається доочищення від домішок.

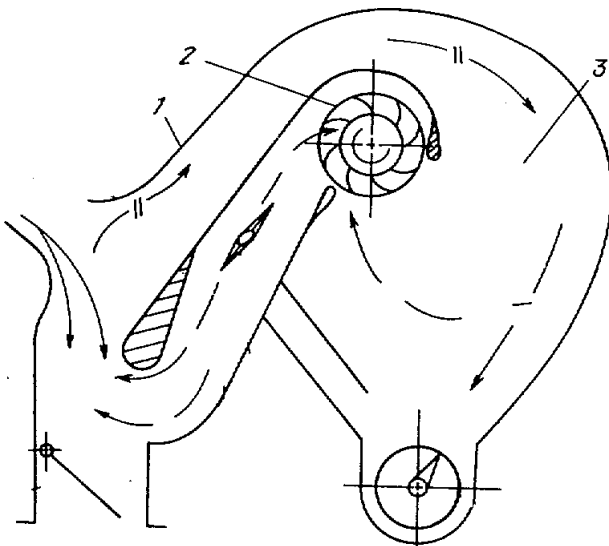
З метою поліпшення якості процесу очищення зерна в ПСК впроваджено розшарування вихідного матеріалу та рівномірний розподіл по робочій зоні за рахунок вигнутих крайок вікна завантажувального бункера (рис.1.15).

Для поліпшення даного ефекту розроблено пневмосепаратор з багатоярусним пристроєм введення ЗС (рис.1.16). За рахунок встановлення заслінок під кутом та поєднання із загальною тягою є можливість використання у відповідності з властивостями ЗС та керування процесом очищення. Встановлення заслінок дозволяє підвищити продуктивність ПСК.

Авторами запропоновано ПСК, який має рухомі повітропроникні стрічки (рис.1.17). Багатократна дія повітряного потоку на ЗС дозволяє підвищити якість розділення на 15%, а продуктивність – на 30%.

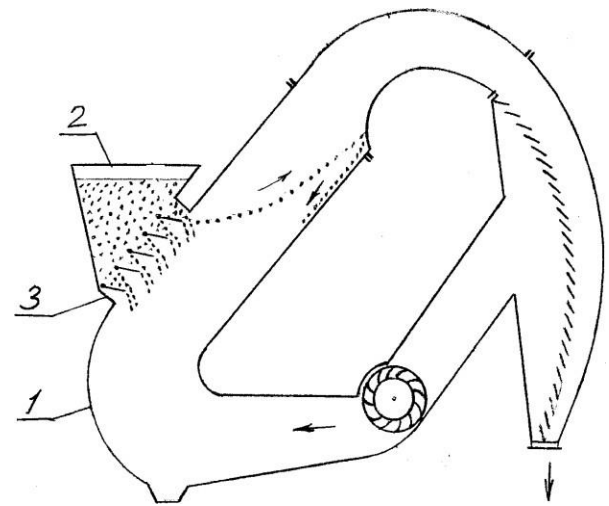
Для збільшення часу взаємодії «ЗС - повітряний потік» запропонована конструкція гравітаційного класифікатора, який складається з нахиленої повітропроникної решітки та додаткових жалюзійних (рис.1.18).

Таким чином, із зміною форми перетину та розмірів ПСК, використанням додаткового повітряного потоку, багатократністю його дії, впливу на початковому етапі можливе підвищення ефективності процесу очищення ЗС.



1 – канал; 2 – вентилятор; 3 – камера

Рисунок 1.15 – Схема пристрою для очищення зернистих матеріалів



1 – аспіраційний канал; 2 – бункер;  
3 – пристрій для подавання матеріалу;

Рис.1.16 – Схема пневмосепаратора

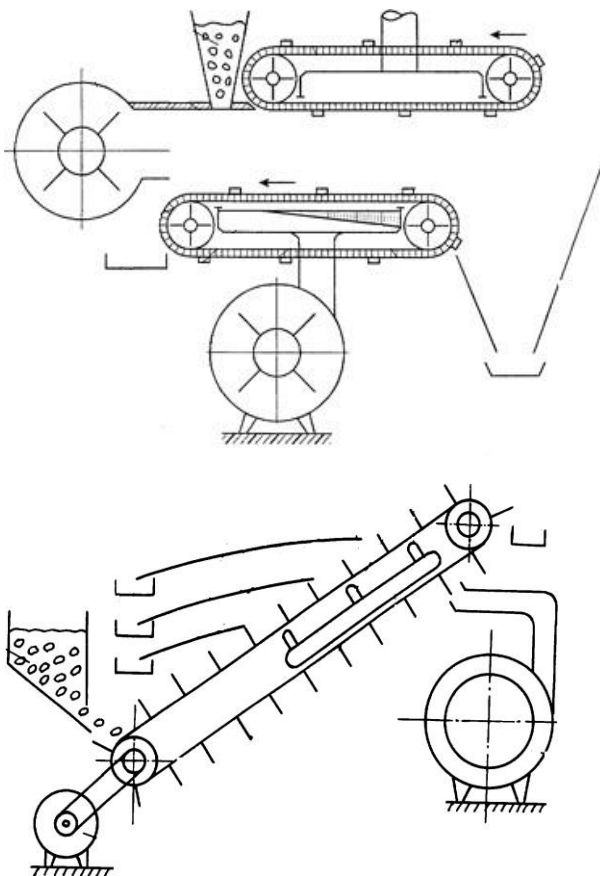


Рисунок 1.17 – Сепаратор зі стрічками

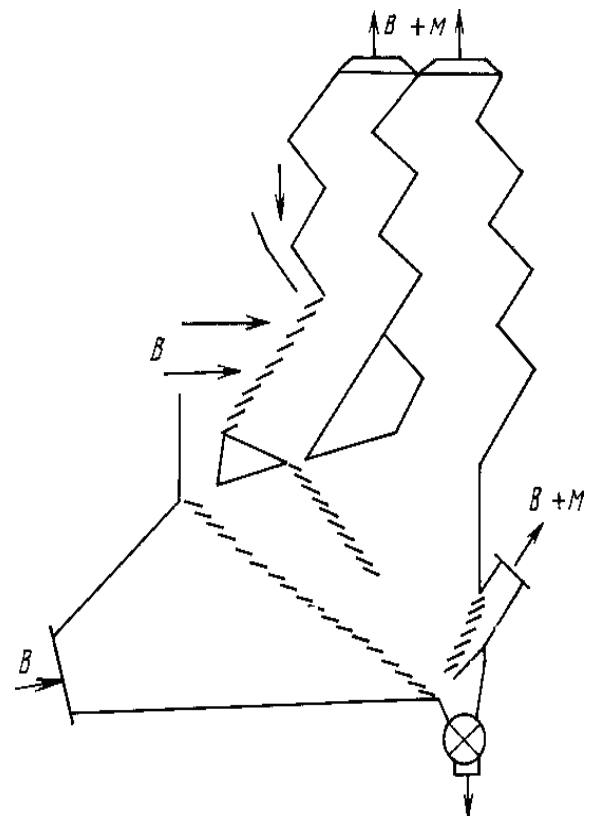


Рисунок 1.18 – Гравітаційний пневматичний класифікатор

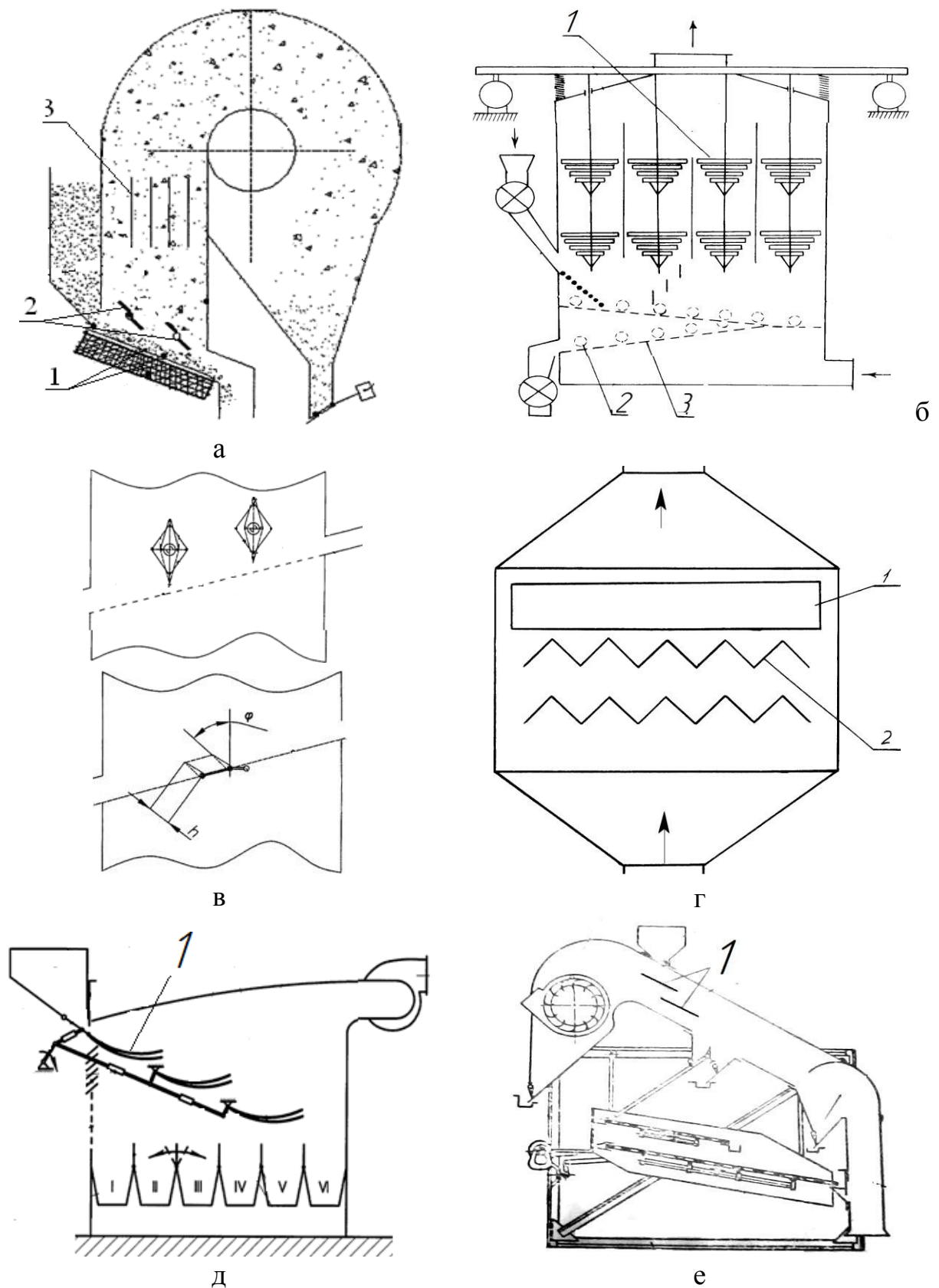
Ще одним аналогічним конструктивним рішенням є сепаратор, який має пристрій для подавання зерна, виконаний у вигляді поділяючої перегородки. Розділення на два підшари дозволяє поліпшити якість розділення та збільшити продуктивність пневмосепаратора.

В очисній машині ПСМ-5 необхідний ступень рівномірності розподілу швидкості повітряного потоку за глибиною каналу забезпечується використанням сітки, а для стабілізації густини зернового потоку – бар'єрами. Внаслідок забивання сітки, через дестабілізацію розподілу швидкості повітряного потоку, ефективність очищення ЗС зменшується до 70%.

Для забезпечення стабільного розподілу швидкості повітряного потоку в робочій зоні ПСК перед підтримуючою сіткою встановлено захисну сітку з розміром отворів  $2 \times 2$  мм (рис.1.17, а). Для рівномірного розподілу зерна в робочій зоні авторами запропоновано встановити поворотні бар'єри.

З метою підвищення якості очищення ЗС запропоновано використовувати пневмокласифікатор (рис.1.17, б). У даній конструкції час знаходження матеріалу у робочій зоні збільшено за рахунок використання розподільчої решітки П-подібної форми. Використання додаткової розподільчої решітки на вході у ПСК дозволяє підвищити якість процесу розділення. Однак слід відмітити, що нетривале перебування матеріалу на решітці, його налипання вимагає періодичного механічного очищення класифікатора.

Для підвищення якості роботи ПСК, вперек їх бокових стінок запропоновано встановлювати перегородки у вигляді ромбів або поворотних пластин (рис.1.17, в). Елементи виконані регульованими та дозволяють: одержувати задане поле швидкості за перетином, розпушувати та збільшувати висоту шару в робочій зоні. Подібні конструкції здатні очищувати ЗС різних культур з якістю розділення вищою за аналоги.

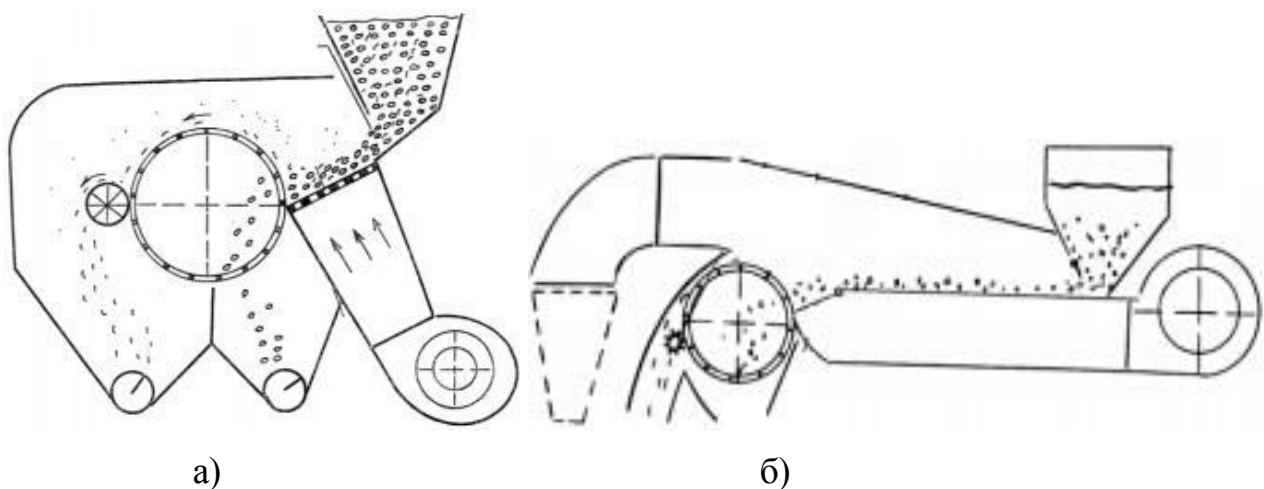


а – сіткою (1), бар'єрами поворотними (2), пластинами (3);  
 б – сепараційними колонками (1), соплами (2), розподільчою решіткою (3);  
 в, г – перегородкою у вигляді ромбів та поворотних пластин;  
 д – пристроєм зі ступінчастими решітками; е – віброплощинами (1)  
 Рисунок 1.19 – Схеми пневмосепарувальних каналів з додатковими елементами

Відомі пневмосепаратори (рис.1.19, г), в яких для підвищення продуктивності та якості розділення встановлені перфоровані повітропроникні поверхні. При русі по ним ЗС змінює траєкторію руху під дією повітряного потоку та додатково продувається через перфорацію. Збільшення площі контакту «повітряний потік – ЗС» та попередня підготовка за рахунок повітропроникних полиць призводить до підвищення ефективності процесу пневмосепарації. Недоліком даного класифікатора є ефективність у пристінному просторі, що в свою чергу дає неповне використання робочого об'єму апарату.

Значущим фактором ефективності процесу пневмосепарації є умови введення ЗС різними конструкціями живильних пристроїв.

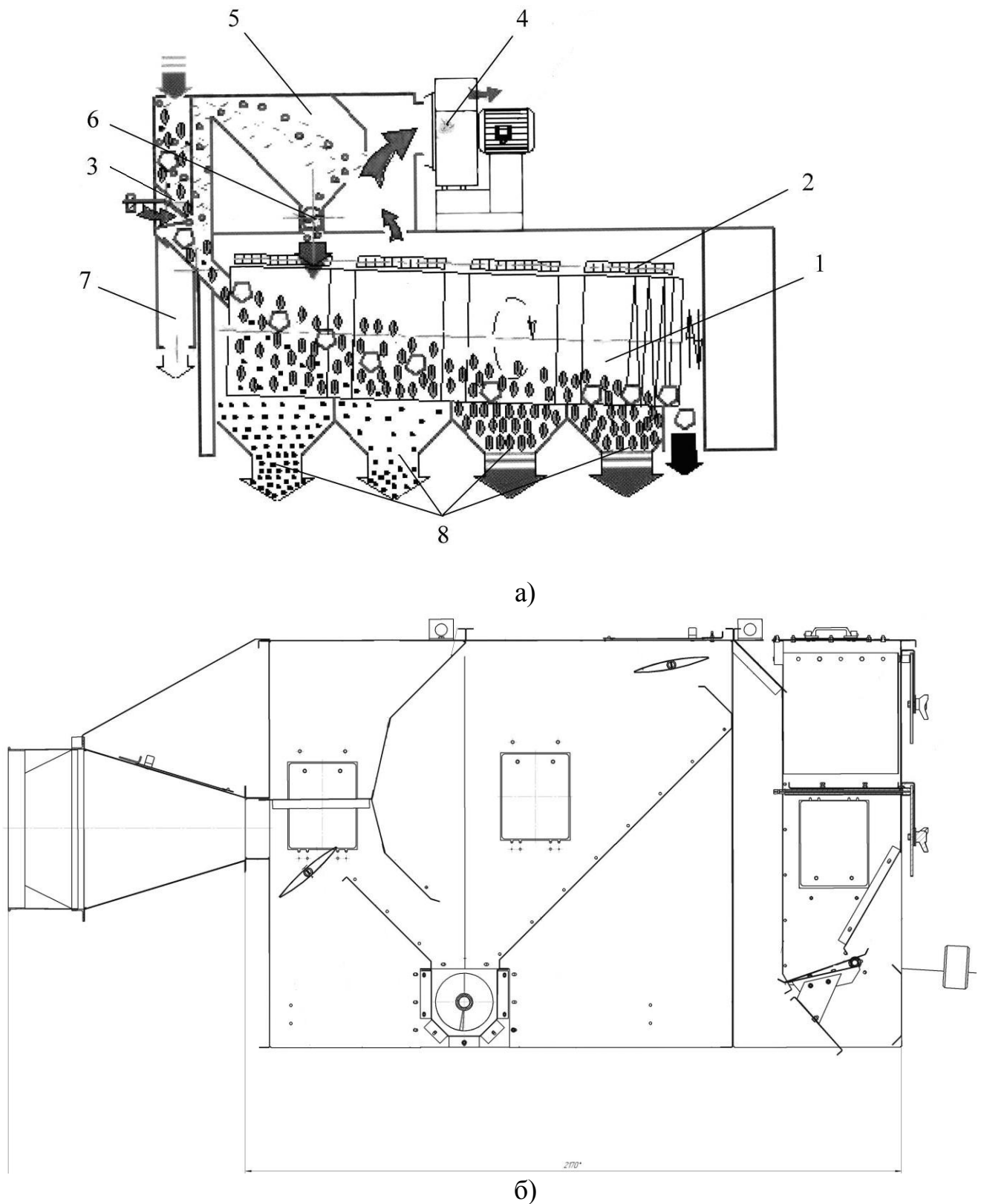
Подібний метод підвищення ефективності розділення ЗС використав Михайлов Є.В. Для попередньої підготовки ЗС перед циліндричним решетом (рис.1.18, б) використано аероживильник з повітророзподільчою решіткою, що забезпечило питому продуктивність 5...6 т/год дм.



а – аеролоток з решетом; б - аероживильник з повітророзподільчою решіткою

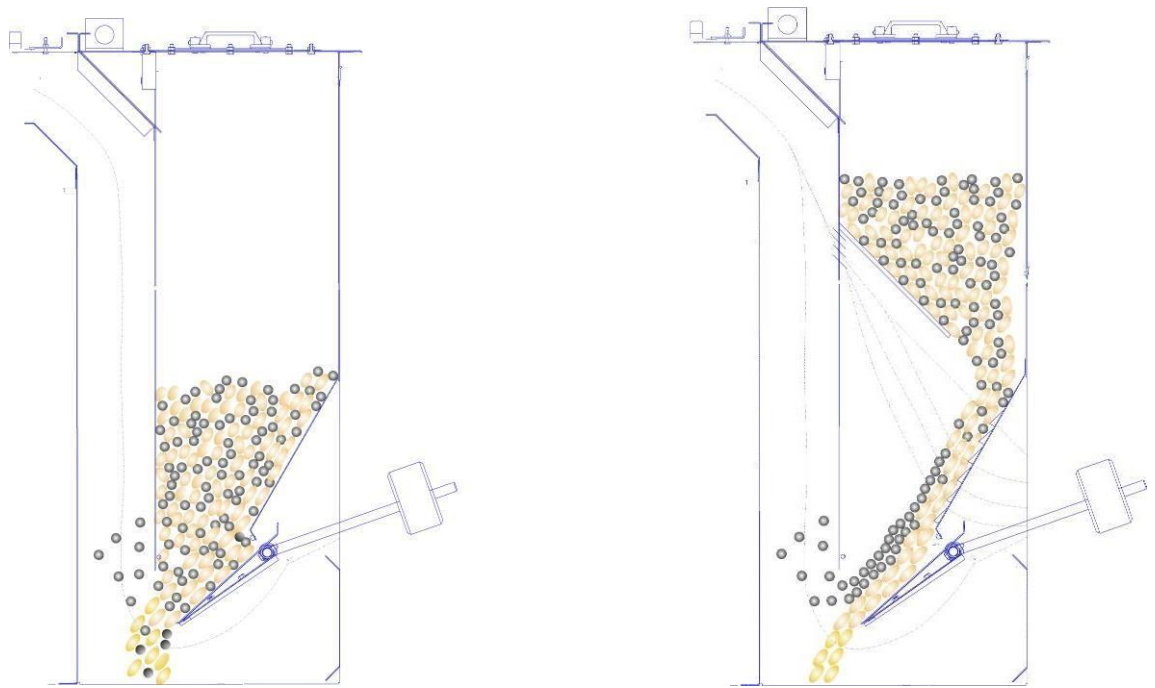
Рисунок 1.20 – Схеми ворохоочисників з попередньою підготовкою суміші

Таким чином, підвищення ефективності процесу пневмосепарації залежить від умов введення та розподілу ЗС в робочих зонах ПСК. Для підвищення продуктивності ПСК деякі дослідники використовують збільшення ширини каналу. Це в свою чергу веде до збільшення габаритів сепараторів та до нерівномірності завантаження за шириною каналу, що викликає втрату якості сепарування ЗС та не призводить до оптимального результату.



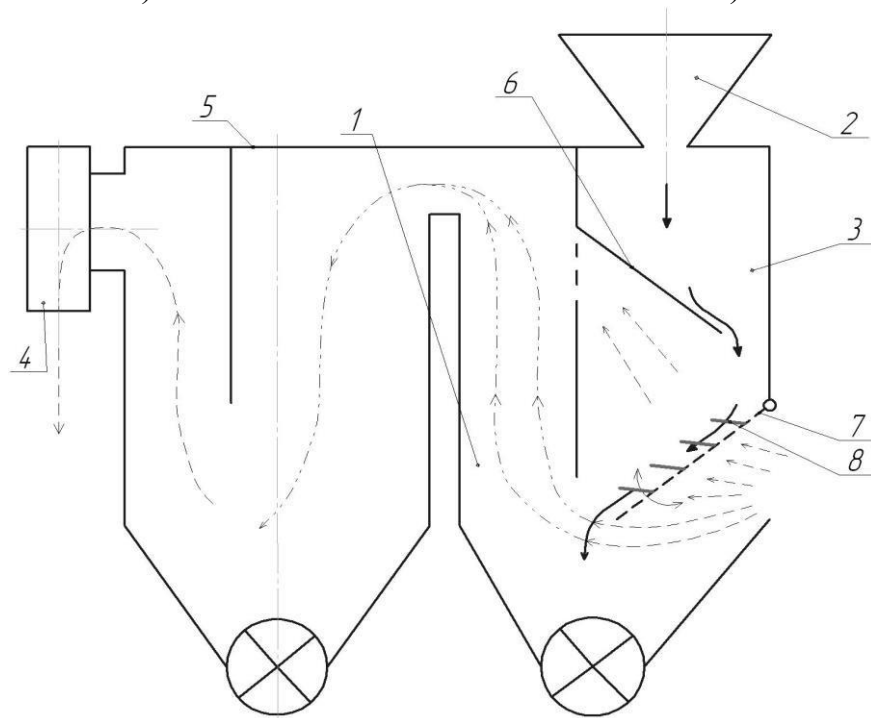
а – схема сепаратора: 1 – барабан; 2 – решета; 3 – канал пневмосепарувальний; 4 – вентилятор; 5 – камера пилоосаджувальна; 6 – розвантажувальний пристрій легких домішок; 7 – патрубок вихідний; 8 – приймачі продуктів розділення; б – аспіраційна система сепаратора КБС

Рисунок 1.21 – Комплексний барабанний сепаратор КБС



а)

б)



— траєкторія руху зернового виходу,  
 - - - - - повітряного потоку,  
 - - - - - повітряного потоку з легкими домішками

в)

а – серійного; б – розробленого з розшарувальним пристроєм; в – технологічна  
 схема розробленого пневмосепарувального пристрою: 1 – вертикальний канал;  
 2 – бункер завантажувальний; 3 – камера накопичувальна; 4 – вентилятор;  
 5 – камера пилоосаджувальна; 6 – поверхня скатна; 7 – поверхня  
 повітропроникна; 8 – розпушувачі

Рисунок 1.22 – Схема розробленого пневмосепарувального каналу

Зерно потрапивши до барабану 1 розділяється за розмірами на решетах 2 та направляється до відповідних приймачів 8.

Потрапивши до накопичувального бункера ПСК ЗС рухається шаром до основного вертикального каналу. Подальше збільшення товщини шару веде до того, що легкі домішки з нижніх підшарів не мають змоги виділитися з ЗС. Легкі домішки потрапляють з зерном до решітного блоку, що спричиняє втрату продуктивності та якості очищення ЗС. Це вимагає зменшення висоти шару ЗС, а відповідно і завантаження ПСК, і, як наслідок, викликає втрату продуктивності зернового сепаратора в цілому.

Для підвищення ефективності процесу очищення ЗС пропонується використати перспективний спосіб попередньої підготовки ЗС шляхом використання розшарувального повітропроникного пристрою (рис.1.22, б). Для цього в ПСК серійного сепаратора КБС встановлено нахилену поверхню 6 та повітропроникну поверхню 7.

Накопичувальна камера має нахилені поверхні 6, 7, що розташовані з нахилом. Поверхня 6 призначена для направлення ЗС на поверхню 7. Поверхня 7 формує висоту шару ЗС, що надходить у вертикальний канал ПСК. Для здійснення перерозподілу частинок в ЗС поверхню 7 виконано повітропроникною. При проходженні повітряного потоку через ЗС, яка рухається по поверхні 7, частинки легких домішок перерозподіляються у верхні підшари. Таким чином, у вертикальний канал надходить двошарова ЗС, в якій зверху знаходяться легкі домішки. При розділенні у ПСК легкі домішки виносяться з ЗС та осаджуються у пиловловлювачі.

Для поліпшення перерозподілу легких домішок у ЗС повітропроникна поверхня виконана лускатою з розпушувачами 8. Це дозволяє збільшити кількість пор у ЗС, що сприяє перерозподілу частинок легких домішок в шарі та збільшує ефективність очищення. Таким чином, обґрунтування параметрів процесу очищення ЗС від легких домішок розробленим ПСК підвищує ефективність очищення і веде до створення конкурентоздатних зернових сепараторів, що є актуальним завданням для розвитку АПК України.

## 1.5. Висновки до розділу, постановка мети та завдання дослідження

1. На підставі аналізу результатів досліджень підвищення ефективності процесу очищення обґрунтовано актуальність проблеми підвищення продуктивності зерноочисних машин внаслідок недостатньої ефективності роботи їх ПСК при розділенні відмінних за властивостями ЗС сільськогосподарських культур.

2. Аналіз стану проблеми підвищення продуктивності зерноочисних машин та огляд їх існуючих конструкцій ПСК виявили наступні недоліки: обмеження технологічних показників роботи (товщини шару ЗС при їх завантаженні, ширини ПСК і т.п.); більшість досліджень проведена для окремих параметрів сепараційних каналів, які підлягали оптимізації; експериментальна апробація приводиться частково або відсутня зовсім; отримані математичні вирази ускладнені або не мають подальшого практичного використання; відсутність додаткової обробки ЗС. Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу очищення ЗС від легких домішок є створення ПСК з розшарувальним пристроєм, який дозволяє не змінюючи габарити серійних сепараторів типу КБС підвищити ефективність очищення ЗС.

3. В літературі не знайдено теоретичних досліджень процесу очищення ЗС від частинок легких домішок за допомогою рівнянь багатофазних середовищ, закономірностей зміни ефективності розшарування та очищення ЗС, швидкостей їх компонентів та пористості. В результаті аналізу стану поставленого завдання підвищення продуктивності зернових сепараторів розроблено ПСК, використання яких забезпечить розшарування ЗС та істотно підвищить ефективність їх очищення.

4. Відповідно до поставленої мети для вирішення проблеми намічені завдання: провести оцінку і аналіз існуючих підходів до розв'язання проблеми підвищення продуктивності процесів очищення ЗС; виконати моделювання руху ЗС в робочих зонах ПСК з урахуванням їх попереднього розшарування та властивостей компонентів ЗС; обґрунтувати критерії оптимізації процесу очищення ЗС, запропонувати цільову функцію та визначити раціональні конструктивні параметри розробленого ПСК барабанних зернових сепараторів.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ**

Моделювання процесу очищення ЗС на розробленому ПСК (рис.1.22) проводилося з використанням гідродинамічної аналогії та з метою вирішення трьох завдань: моделювання нелінійної динаміки ЗС по нахиленій лускатій поверхні ПСК, моделювання процесу розшарування двофазного потоку «зерно – легкі домішки» на повітропроникній лускатій поверхні ПСК, моделювання процесу очищення розшарованої ЗС у основному вертикальному каналі ПСК.

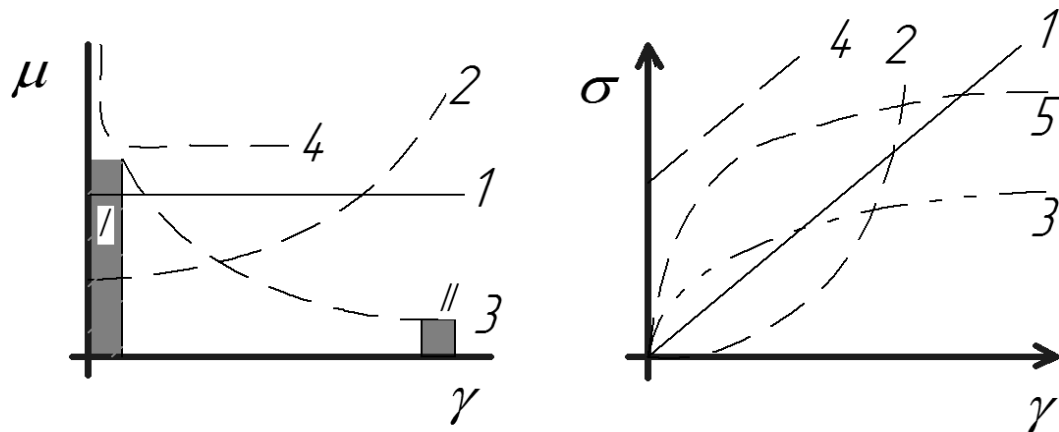
### **2.1. Моделювання руху псевдозрідженої зернової суміші по нахиленій лускатій поверхні розробленого пневмосепарувального каналу**

Початковим етапом розробки математичного апарата для обґрунтування параметрів розробленого ПСК є моделювання руху частинок ЗС по нахиленій лускатій поверхні.

Рух сипких середовищ, до яких відноситься ЗС, що розглядається, можна умовно поділити на два ідеалізованих режими. В першому (квазістатичному) режимі частинки рухаються і знаходяться у безперервному ковзаючому контакті один з одним і внутрішнє напруження в середовищі виникає внаслідок дії сухого кулонівського тертя. Це призводить до незалежної від швидкості деформації пластичній поведінці середовища. У другому режимі частинки рухаються хаотично і внутрішня напруга в середовищі виникає внаслідок перенесення імпульсу (між частинками завжди є ті або інші проміжки, і їх взаємодія обумовлена непружними зіткненнями) аналогічно тому, як це відбувається в рідині або газі. Такий механізм виникнення напруження призводить до їх істотної залежності від швидкості зрушення. Зокрема, він спостерігається в режимах псевдозрідження і русі досить тонких шарів сипких матеріалів з вільною поверхнею по робочих органах змішувачів і іншого устаткування. Саме цей режим реалізується при даному русі псевдозрідженої повітряним потоком ЗС. Зручними і досить точними виявляються гідродинамічні моделі, ґрунтовані на аналогії руху в'язких рідин і сипких середовищ.

Таким чином, псевдозріджена потоком повітря ЗС відноситься до неньютонівських рідин, тобто рідин, при перебігу яких в'язкість залежить від градієнта швидкості.

Такі рідини класифікують за залежністю в'язких напружень від швидкості зсуву. Для так званих ділатантних рідин в'язкість зростає при збільшенні швидкості (рис. 2.1.a), а для псевдопластичних рідин при повільному русі в'язкість збільшена, а потім зменшується (рис. 2.1.a).



1 – ньютонівське середовище; 2 – ділатантне середовище; 3 – псевдопластичне середовище; 4 і 5 – лінійні і нелінійні в'язкопластичні середовища;

I і II – перша і друга ньютонівські області

Рисунок 2.1 – Криві в'язкості (а) і течії (б)

При дуже низьких і дуже високих швидкостях зсуву псевдопластичні рідини поведуться подібно ньютонівським рідинам з в'язкістю, яка, як правило, відрізняється на кілька порядків величини, в першій і другій областях (рис. 2.1.a) відповідно.

Для опису течій таких середовищ можна використовувати емпірично встановлену ступеневу залежність напруження від швидкості зсуву. Існують різні модифікації цього ступеневого закону, які дозволяють розширити її рамки, наприклад, відома модель Кросса. Залежно від опису напружень в текучій фазі лінійним або нелінійним законом такі середовища розділяють на лінійні і нелінійні в'язкопластичні.

У той час як тензор напружень, отриманий відповідно до мікроструктурної теорії, містить тільки частину, яка залежить від швидкості. Тому при високій концентрації частинок у потоці і відносно низьких швидкостях зсуву тензор

в'язких напружень мало залежить від швидкості зсуву, а при більш низьких концентраціях і високих швидкостях зсуву переважає «в'язкісна» складова.

Нааявні експериментальні дані показали, що при низьких швидкостях зсуву потік сипучих матеріалів, до яких відноситься і псевдозріджена ЗС, поводитья як звичайна ньютонівська рідина. При більш високих швидкостях напруження зсуву пропорційні квадрату швидкості зсуву. Це пояснюється одночасним, пропорційним зростанням величини ударних імпульсів і їх числа в одиницю часу зі збільшенням швидкості зсуву. При цьому частинки крім поступальної швидкості руху в напрямку зсуву набувають розподілену в просторі компоненту швидкості хаотичних переміщень (швидкості флуктуації), модуль якої має той же порядок, що й модуль відносної швидкості поступального переміщення частинок.

На рис.2.2 показана схема руху псевдозрідженої ЗС по поверхні, яка продувається повітряним потоком та нахилена під кутом до горизонту.

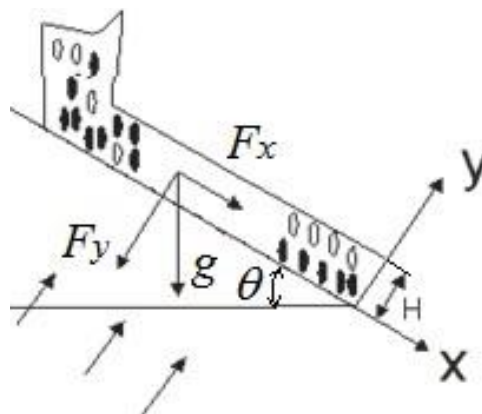


Рисунок 2.2 – Схема руху псевдозрідженої ЗС по нахиленій поверхні

ЗС відноситься до так званих полідисперсних сипких матеріалів, для яких перехід в псевдозріджений стан відбувається поступово в інтервалі швидкостей. У таких шарах відбувається обмін кількістю руху між частинками різного розміру і маси. Тому критична швидкість псевдозрідження полідисперсного шару нижче, ніж для монодисперсного, складеного з найбільш великих і важких частинок, і вище швидкості псевдозрідження шару, складеного з найбільш дрібних і легких частинок. У момент початку псевдозрідження порушується стійкість шару, тиск зернистого матеріалу врівноважується силою гідравлічного опору шару і у подальшому до досягнення швидкості вільного витання одиночних частинок перепад тиску в шарі зберігає майже постійне значення.

Як відомо, при малих кутах нахилу поверхні ЗС "прилипає" до неї. Зі збільшенням кута нахилу починається ковзання суміші і швидкість проковзування визначається за умови динамічної рівноваги ЗС на площині контакту. Однак, так як нахилена поверхня має структуру "лускатої" решета (рис.2.3), то зерновий шар буде затримуватися на виступах та гальмуватися.

Тоді можна з достатньою точністю використовувати в площині контакту традиційну умову "прилипання":

$$u_0 = 0. \quad (2.1)$$

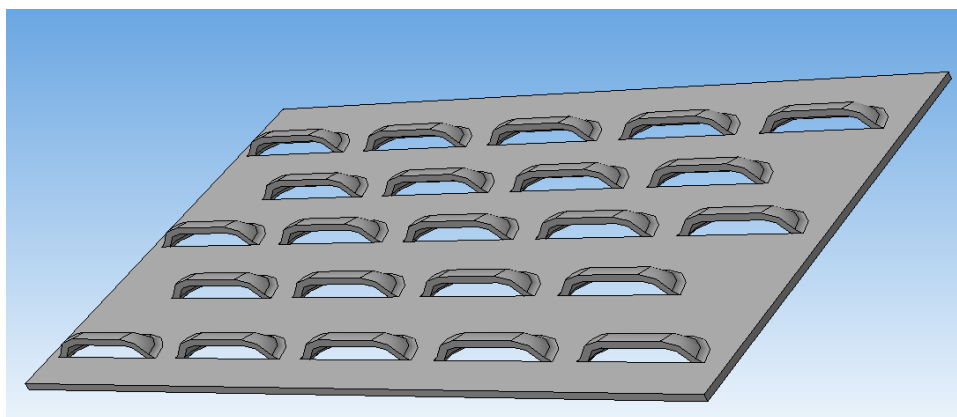


Рисунок 2.3 – Структурна схема нахиленої лускатої поверхні

Для моделювання приймали ЗС з насипною щільністю  $750 \text{ кг/м}^3$ .

У результаті досліджень проведено аналіз впливу кута нахилу лускатої поверхні і товщини зернового шару на питому продуктивність, тобто на кількість ЗС, що проходить в одиницю часу по ширині нахиленої поверхні (рис.2.4, 2.5). Встановлено, що основний вплив на підвищення продуктивності має товщина зернового шару. Її збільшення призводить до інтенсивного підвищення продуктивності. В той час як збільшення кута нахилу лускатої поверхні призводить до незначного підвищення продуктивності.

Так збільшення товщини шару ЗС з 2 см до 5 см призводить практично до десятиразового збільшення продуктивності, в той час як збільшення кута нахилу лускатої поверхні з  $35^\circ$  до  $45^\circ$  дозволяє збільшити продуктивність всього на 10%. Тому слід прагнути, насамперед, до збільшення товщини шару ЗС, що рухається по нахиленій поверхні.

Однак, збільшення товщини шару ЗС, як відомо, призводить до погіршення ступеня очищення в ПСК. Це відбувається через те, що частинки легких домішок не встигають пройти через товстий шар ЗС і підхоплюються ним.

Тому особливої важливості набуває попереднє розшарування зернового потоку на нахиленій поверхні, в результаті чого легкі домішки переміщуються у верхню частину шару ЗС.

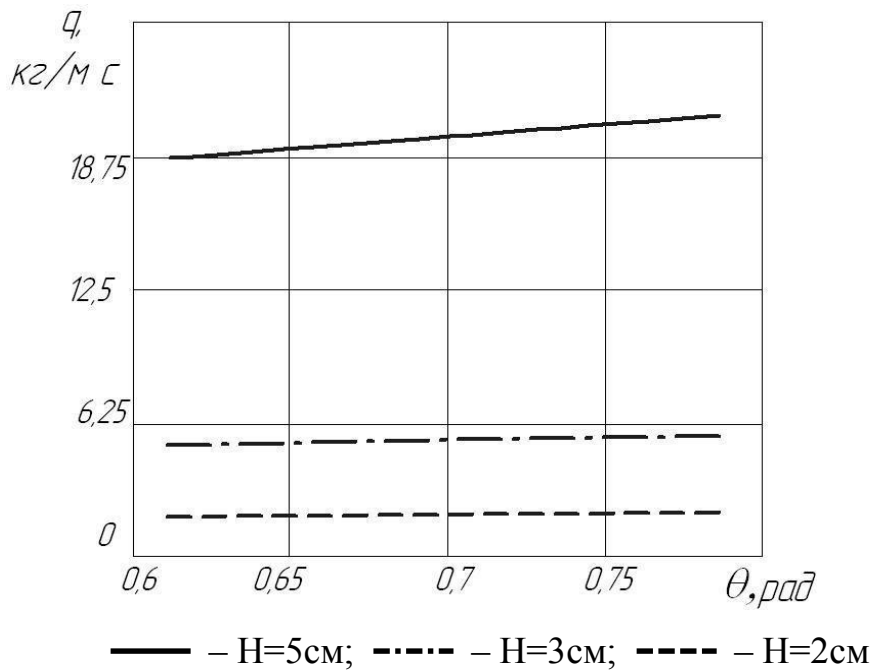


Рисунок 2.4 – Залежності питомої продуктивності від кута нахилу лускатої поверхні

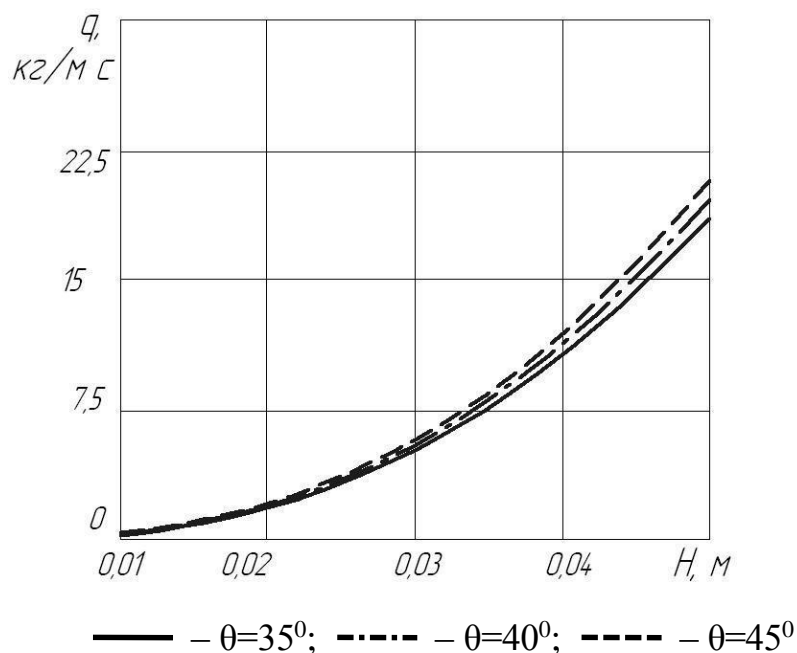


Рисунок 2.5 – Залежність питомої продуктивності від товщини зернового шару

Для аналізу процесу переміщення легких домішок по товщині рухомого псевдозрідженого зернового шару важливе значення має характер зміни його швидкості руху за товщиною і величина градієнта швидкості. У нижній зоні шару ЗС швидкість його руху швидко наростає, але з наближенням до верхньої зони зростання швидкості сповільнюється - практично уповільнення починає позначатися приблизно з половини товщини шару (рис. 2.6). Тому найбільш важливими є процеси розшарування ЗС саме в нижній зоні шару, де горизонтальні швидкості потоку ще відносно невеликі.

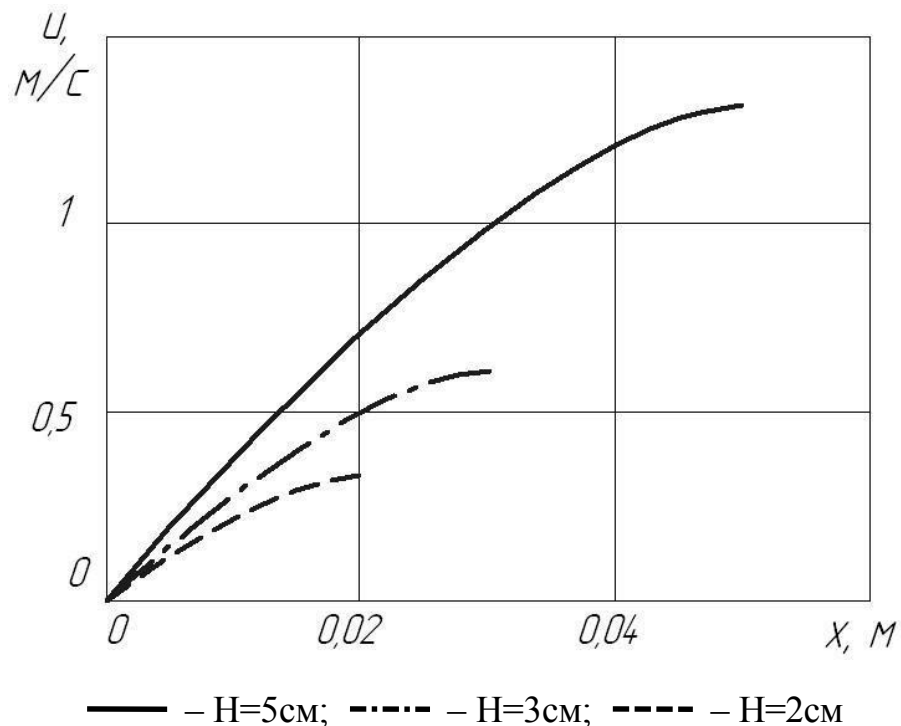


Рисунок 2.6 – Залежності профілю швидкості зернового шару від його товщини

Однак, як видно, вертикальний градієнт швидкості на нахиленій поверхні дорівнює нулю (рис. 2.7). Це означає, що поблизу цієї поверхні процес розшарування ЗС на якісне зерно і легкі домішки утруднений і для його інтенсифікації, очевидно, необхідно забезпечити додаткове розпушення шару ЗС. При цьому, оскільки градієнт швидкості наростає вельми швидко (рис. 2.7), то достатньо забезпечити розпушення зернового шару тільки в безпосередній близькості від нахиленої поверхні. Це розпушення забезпечується "лускатою" структурою застосованої нахиленої поверхні (рис. 2.3).

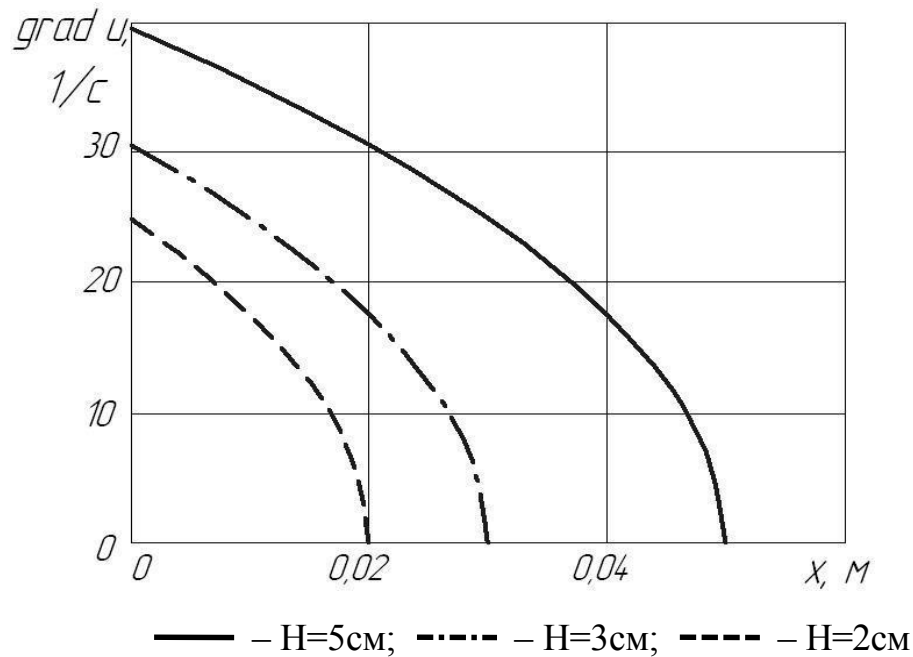


Рисунок 2.7 – Залежності градієнта швидкості зернового шару від його товщини

Зауважимо, що «луската» структура нахиленої поверхні практично виключає проковзування зернового потоку, а відносно високі швидкості зсуву дозволяють для розрахунку профілю швидкості з достатньою точністю використовувати рівняння (2.28).

## 2.2. Моделювання розшарування зернової суміші на повітропроникній лускатій поверхні розробленого пневмосепарувального каналу

ЗС відноситься до так званих полідисперсних сипучих матеріалів, для яких перехід в псевдозріджений стан відбувається поступово в деякому інтервалі швидкостей. В таких шарах відбувається обмін кількості руху між частинками різного розміру і маси. Тиск зернистого матеріалу урівноважується силою гідравлічного опору шару. У подальшому, до досягнення швидкості вільного витання одиночних частинок, перепад тиску на шарі зберігає майже постійні значення. Це пояснюється тим, що зі зростанням швидкості повітряного потоку, який псевдозріджує, контакт між частинками зменшується і вони отримують більшу можливість хаотичного перемішування за всіма напрямками.

У результаті досліджень (п.2.1) встановлено, що раціонально моделювати динаміку псевдозріджених ЗС за гідродинамічними аналогіями з рухом нестискаємої неньютонівської рідини, з урахуванням реологічного закону, умов на вільній та на нахиленій поверхнях.

У момент початку псевдозрідження вага ЗС урівноважується силою гідравлічного опору шару:

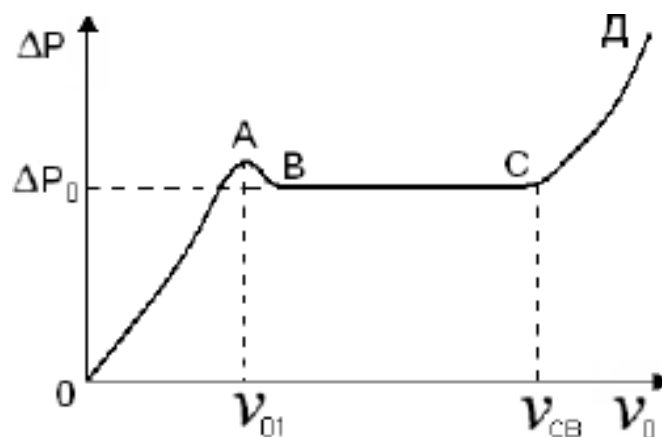
$$\Delta p = (\rho - \rho_z)(1 - \varepsilon_0)h_0 g, \quad (2.2)$$

де  $h_0$  – висота нерухомого шару;  $\rho$ ,  $\rho_z$  – щільність твердих частинок і густина псевдозрідженого повітря;  $\Delta p$  – перепад тиску на шарі;  $\varepsilon_0$  – пористість нерухомого шару:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_0 - V}{V_0}, \quad (2.3)$$

де  $V_0$ ,  $V$  – об'єм нерухомого шару і частинок ЗС, відповідно.

Зауважимо, що зі швидкості початку псевдозрідження і вище перепад тиску на шарі зберігає практично постійні значення (рис. 2.8).



ОА – фільтрування; ВС – псевдозрідження; CD – пневмотранспортування;  
 АВ – падіння опору після подолання сил зчеплення між частинками

Рисунок 2.8 – Залежність тиску від швидкості повітряного потоку

Це пояснюється тим, що з підвищенням швидкості повітряного потоку, що псевдозріджує, контакт між частинками зменшується і вони отримують більшу можливість хаотичного переміщення за всіма напрямками.

При цьому підвищується середня відстань (пори) між частинками, тобто збільшується пористість шару і, відповідно, його висота.

Для визначення величини швидкості початку псевдозрідження існує значна кількість напівемпіричних і теоретичних залежностей, зокрема, відома формула Годеса:

$$\text{Re} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (2.4)$$

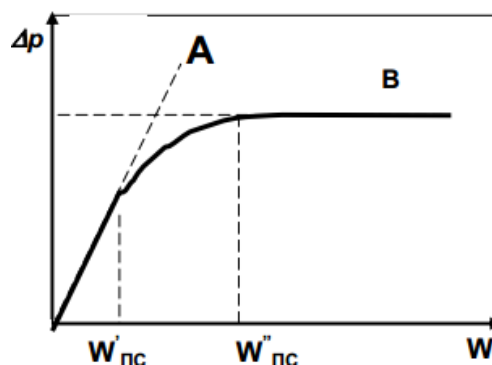
Еквівалентний діаметр для частинок неправильної форми визначають як діаметр умовної кулі, об'єм якої дорівнює об'єму реальної частинки, помноженому на фактор форми:

$$d = 6 \frac{V}{S}, \quad (2.5)$$

де  $V$  – об'єм частинки;  $S$  – площа її поверхні.

Наведені вище формули Годеса відносяться до однорідної суміші, причому для тієї що знаходиться на горизонтальній поверхні. В той час ЗС, що досліджується, розглянута як полідисперсна (складається з частинок з різними характерними розмірами і щільністю). При цьому суміш розглянута, як рухома по нахиленій поверхні.

Очевидно, розраховані швидкості повітряного потоку, що відповідають нижній і верхній границі псевдозрідженого стану, будуть різними залежно від того, до частинок з якими параметрами, що знаходяться в рухомому шарі, їх застосувати (рис. 2.9).



$W'_{пс}$  – псевдозрідження дрібних частинок;  $W''_{пс}$  – повне псевдозрідження

Рисунок 2.9 – Діаграма псевдозрідження полідисперсних матеріалів

Для ефективного псевдозрідження ЗС необхідно забезпечити достатню швидкість повітряного потоку. Остання, якщо враховувати полідисперсний склад ЗС, повинна бути значно вище швидкості початку псевдозрідження. При цьому швидкість потоку повинна бути нижче швидкості витання основного зерна.

На легкі частинки домішок, які знаходяться в псевдозрідженому середовищі діють сили Стокса, Архімеда, приєднаних мас і Бассе-Бусінеска. Сили Бассе-Бусіненска пропорційні поверхні частинки, але незначні для дрібних частинок. Як відомо, ці сили виникають тільки при прискореному русі частинок, а так як час швидкісної релаксації в псевдозрідженому середовищі невеликий, то ці сили не враховуються.

Зауважимо, що підвищення швидкості повітряного потоку (рис. 2.10), викликає збільшення товщини зернового шару і зменшення концентрації твердої фази в ньому (тобто збільшення пористість). Це, відповідно до прийнятої реологічної моделі, веде до зменшення в'язкості. У першому наближенні можна вважати, що зі збільшенням швидкості повітряного потоку швидкість «спливання» легких частинок домішок збільшується.

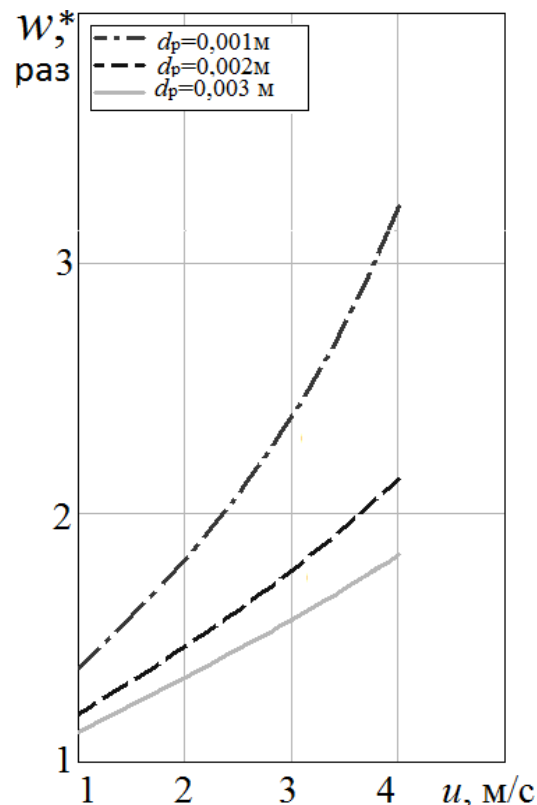


Рисунок 2.10 – Залежності збільшення швидкості «спливання» домішок від їх розмірів та швидкості повітряного потоку

При цьому критерій Архімеда визначаємо з урахуванням нахилу лускатої поверхні:

$$Ar = \frac{d^3 (\rho - \rho_z)}{\rho_z v^2} g \cos \theta . \quad (2.6)$$

Для досліджень приймаємо лускату поверхню і напрямок подачі повітряного потоку (рис. 2.11). При русі ЗС по наведеній нахиленій поверхні шар відчуває вібрацію, що призводить до зменшення його ефективної в'язкості.

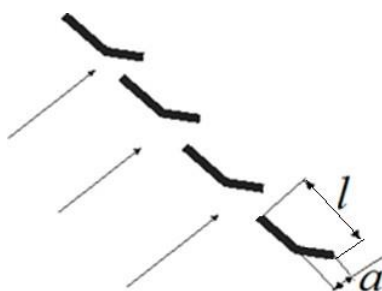


Рисунок 2.11 – Схема подачі повітряного потоку для псевдозрідження

В'язкість зменшується при збільшенні амплітуди коливань, яка визначається висотою «лусок» і їх частотою розташування. При цьому вона залежить від відстані між «лусками» і швидкості руху зернового шару. Тому доцільно прагнути до збільшення відношення висоти «лусок» до відстані між ними.

Швидкість спливання частинок домішок пропорційно підвищується по мірі зменшення в'язкості, але при цьому швидкість руху шару зерна також пропорційно збільшується. Це є характерним за умови відповідності руху шару ЗС з ньютонівською рідиною. Однак попередній аналіз виявив, що характерна швидкість шару зерна дещо нижче ніж у звичайної ньютонівської рідини. Таким чином, зміна в'язкості ЗС, що спричинена дією лусок, позитивно впливає на її розшарування. Для визначення раціональних параметрів «лускатості» поверхні визначимося з наступними умовами. При умові збільшення «лускатості», внаслідок зменшення періоду розташування лусок, в'язкість шару ЗС зменшиться. ЗС після лусок опускається на поверхню під дією сил тяжіння, і, якщо їх розташувати близько один до одного амплітуда вібрацій буде менше.

Так як довжина швидкісної релаксації частинок домішок мала, то можна вважати, що вони рухаються з середньою швидкістю, яка визначається з умови балансу діючих на частинку сил. Тобто «легкі» частинки домішок «спливають», рухаючись по вертикалі, і при цьому зміщуються за рахунок захоплення їх рухомим псевдозрідженим зерновим шаром.

Зауважимо, що так як кількість частинок домішок відносно незначна (до 5%), то в першому наближенні можна не враховувати змінність щільності змінюється по товщині шару ЗС при її розшаруванні. Це в кінцевому випадку, призводить до деякого уповільнення швидкості «спливання» частинок домішок.

На рис. 2.12 представлені траєкторії частинок домішок у шарі ЗС, який рухається по нахиленій лускатій поверхні.

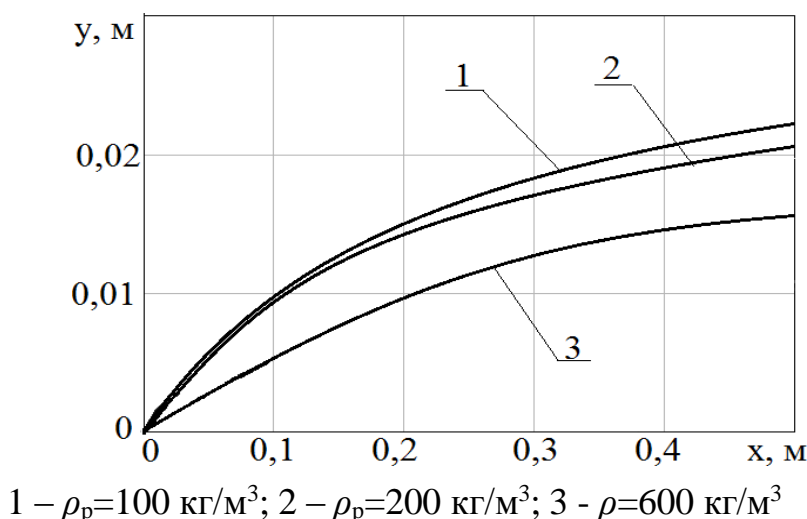


Рисунок 2.12 – Траєкторії руху частинок домішок в шарі суміші на нахиленій повітропроникній лускатій поверхні ( $u=3$  м/с,  $d_p=0,002$  м)

З рис. 2.12 видно, що рух частинок домішок всередині шару залежить від їх щільності. При щільності 100 - 200 кг/м<sup>3</sup> координати частинок домішок підвищуються на 10 – 15% в порівнянні з частинками щільності 600 кг/м<sup>3</sup> з рухом по лускатій поверхні.

Цей коефіцієнт, очевидно, зростає по мірі подовження нахиленої поверхні і істотно залежить як від розмірів та щільності часток домішок, параметрів лускатості поверхні і швидкості продування її повітряним потоком. Зауважимо, що коефіцієнт розшарування незначно залежить від кута нахилу лускатої поверхні.

В результаті моделювання також отримані залежності коефіцієнту розшарування від властивостей компонентів ЗС: розмірів та щільності частинок, товщини їх шару. Встановлено, що підвищення щільності частинок домішок ЗС в межах характерного діапазону, збільшує розшарування на 30-40%. Також встановлено, що зі збільшенням розмірів домішок (до діаметру 0,003 м) коефіцієнт розшарування підвищується в 1,21...2,5 разів в залежності від їх щільності і товщини шару ЗС.

Збільшення товщини шару ЗС негативно впливає на її розшарування, зменшуючи його в 1,5...4,3 рази в залежності від щільності частинок домішок. Встановлені діапазони варіювання коефіцієнту розшарування ЗС, які склали  $k_1=0,19...0,63$  при висоті шару 0,05м.

Дослідження проводилися для зернового потоку, насипна щільність якого  $750 \text{ кг/м}^3$ , розрахункове значення в'язкості потоку  $\mu_0=0,1 \text{ Па с}$ ,  $\mu_\infty=0,1 \text{ Па с}^2$ , еквівалентний діаметр домішок  $d_p=0,002 \text{ м}$ , щільність частинок домішок  $\rho_p=100 - 600 \text{ кг/м}^3$ , кут нахилу лускатої поверхні  $\theta=40^\circ$  та її довжина  $l=0,5 \text{ м}$ , висота шару ЗС  $H=0,02 \text{ м}$  (0,05м); швидкість повітряного потоку 1 – 3 м/с.

Встановлено, що процес розшарування ЗС присутній в заданих умовах. Коефіцієнт розшарування характеризує процес і залежить від властивостей частинок ЗС, швидкості повітряного потоку. Збільшення швидкості продування поверхні лускатої решета в діапазоні від 1 м/с до 3 м/с підвищує коефіцієнт розшарування на 20 – 25%. Зменшення щільності частинок домішок, в діапазоні що досліджується, також підвищує коефіцієнт розшарування на 25 – 35%. Зменшення висоти шару також позитивно впливає на процес розшарування, коефіцієнт розшарування збільшується на 30 – 35% при зменшенні шару з 0,05 м до 0,02 м.

### **2.3. Моделювання процесу очищення зернової суміші в вертикальному пневмосепарувальному каналі**

У ПСК на частинки ЗС діють сила тяжіння і протилежно спрямована сила від взаємодії частинки з повітряним потоком. Залежно від співвідношення цих сил частинка може рухатися як вниз, так і вгору.

Таким чином, відбувається розподіл частинок ЗС: легші частинки домішок виносяться вгору, більш важке зерно основної культури – падає вниз. Повітряний потік в ПСК, як правило нерівномірний. ЗС надходить до каналу з деякою швидкістю та під кутом. Відповідно до поставленого завдання домішки, перш ніж відокремитися від основного зерна, повинні перейти у верхні підшари ЗС (п.1.2).

На нахиленій поверхні типу «лускاته» решето за допомогою повітряного потоку ЗС переходить до псевдозрідженого стану. При цьому домішки частково переміщуються у верхні підшари. Сепарація такої розшарованої ЗС значно більш ефективна. Однак, існуючі методики розрахунку процесів очищення в ПСК, припускають рівномірне перемішування ЗС з домішками при їх потраплянні до робочої зони. Тому необхідне відповідне коректування методик розрахунку з урахуванням заданого попередньо розшарування шару зерна, який подається до вертикального ПСК.

У першому наближенні при розгляді процесів в ПСК обмежуються розглядом траєкторій руху окремих частинок, нехтуючи їх взаємодією.

У повітряному потоці на частинки ЗС діє сила тяжіння, що спрямована вертикально вниз, та сила опору з боку повітряного потоку. Величина цієї сили залежить від швидкості частинок ЗС і повітряного потоку.

При ламінарному режимі обтікання повітряним потоком дисперсних частинок сила, що діє на частинку ЗС, визначається формулою Стокса і залежить від в'язкості середовища, їх діаметра та швидкості. Проте такий режим не характерний для ПСК, де реалізується турбулентний режим обтікання.

При збільшенні швидкості руху частинок ЗС в опорі середовища починають переважати сили тиску. При цьому в'язкість середовища відіграє все меншу роль, а головною стає її щільність і швидкість.

Взаємодія частинок зернового шару один з одним в ПСК буде приводити до вирівнювання швидкостей руху частинок. Тому можна вважати, що в основному частинки зернового шару мають близькі швидкості руху.

Введемо систему координат, спрямувавши вісь  $Ox$  горизонтально, а вісь  $Oy$  – вертикально та помістивши початок системи координат в точку введення на нахиленій поверхні в ПСК (рис. 2.13).

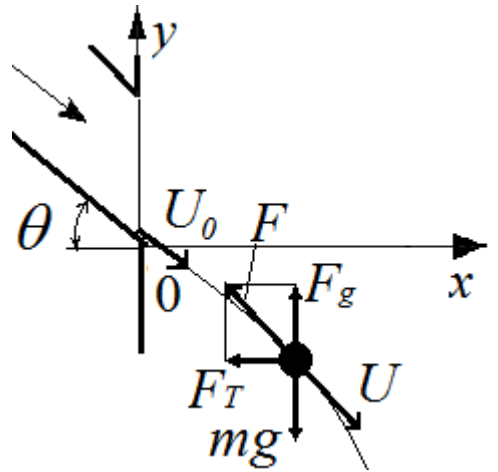
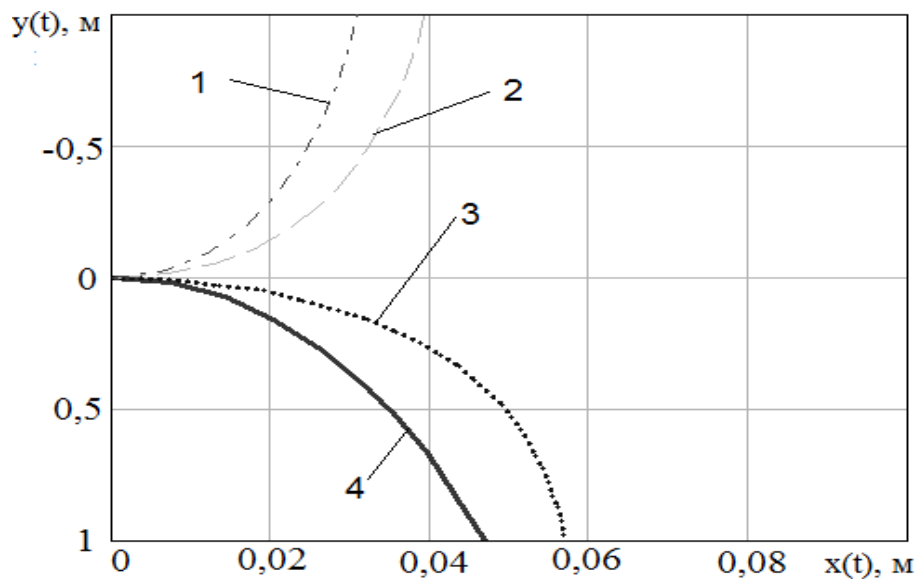


Рисунок 2.13 – Схема вертикального пневмосепарувального каналу

Рівняння руху частинки, що надходить до ПСК, під дією сил тяжіння і опору, має вигляд:

$$\begin{cases} d^2x \\ m \frac{d^2x}{dt^2} = -F \sin \gamma \\ d^2y \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -mg + F \cos \gamma \end{cases} \quad (2.7)$$

Цю систему можна вирішити аналітично. Тоді траєкторії руху частинки ЗС визначено рівняннями (знак при  $m$  “-”, бо сила тяжіння спрямована донизу):



1 –  $\rho_p = 150 \text{ кг/м}^3$ ; 2 –  $\rho_p = 200 \text{ кг/м}^3$ ; 3 –  $\rho_p = 600 \text{ кг/м}^3$ ; 4 –  $\rho_p = 700 \text{ кг/м}^3$ ;

Рисунок 2.14 – Траєкторія руху частинок ЗС у вертикальному каналі від їх щільності ( $U=7 \text{ м/с}$ ;  $d_p=0,0015 \text{ м}$ ;  $\theta = 40^\circ$ )

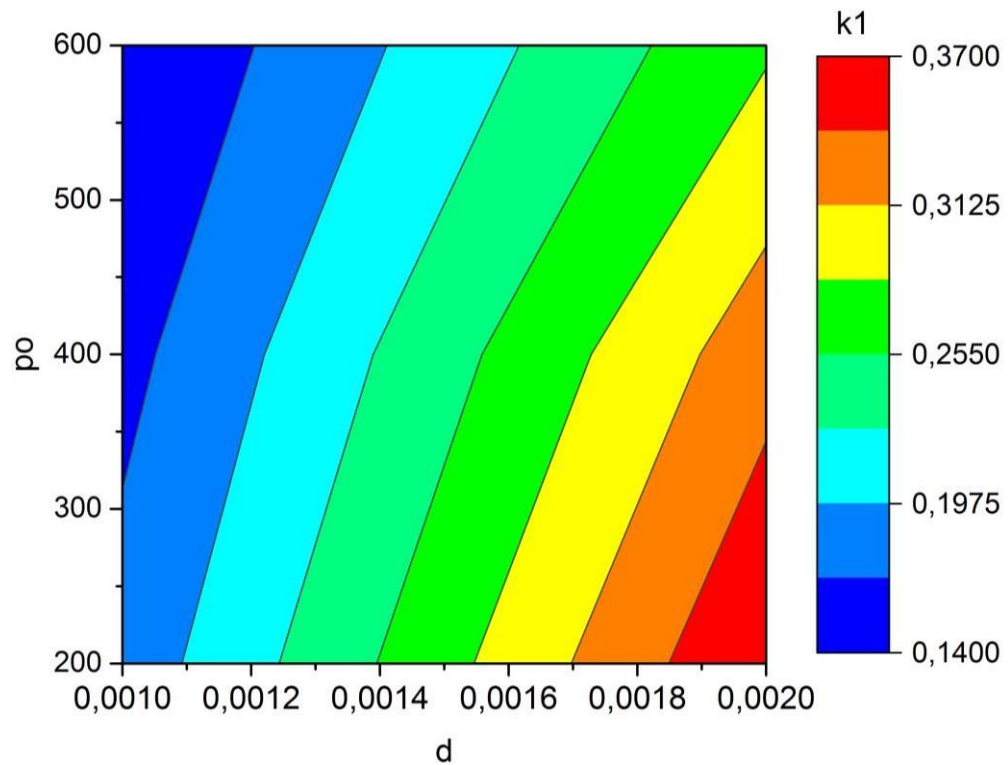
Спочатку частинки ЗС під дією сили тяжіння рухаються вниз. Домішки, швидкість витання яких менше швидкості повітряного потоку змінюють напрямок руху і починають рухатися вгору. Для таких частинок  $F / m > g$ . Решта частинок ЗС, більш важкі, рухаються вниз. Для них  $F / m < g$ .

Взаємодія частинок шару ЗС один з одним в ПСК призводить до вирівнювання швидкостей їх руху. Тому приймаємо, що у більшості, частинки шару ЗС мають аналогічні за значенням швидкості руху.

Час впливу повітряного потоку на частинку ЗС визначається шириною ПСК. Очевидно, ширина каналу повинна бути достатньою, щоб частинка домішки «встигла» змінити напрямок руху. Але крім ширини каналу на ефективність каналу впливає також кут входу частинки ЗС та її початкова швидкість. Тут важливо, щоб частинка домішок не досягла стінки ПСК на «низькохідній» ділянці траєкторії руху. У цьому випадку вона відіб'ється донизу і умови для зміни її напрямку руху вгору погіршаться.

Однак потрібно врахувати, що в ПСК надходять не окремі частки, а потік ЗС. У такому потоці частинки домішок при своєму русі вгору будуть стикатися з частинками основного зерна, що рухаються донизу. Це погіршить процес сепарації ЗС. Тільки після виходу частинки домішок з ЗС вона починає рухатися прискорено вгору під дією струменя повітряного потоку.

За результатами математичного моделювання також отримані залежності коефіцієнту ефективності вертикального каналу розробленого ПСК від властивостей ЗС та попереднього коефіцієнту її розшарування (рис.2.15).



a)

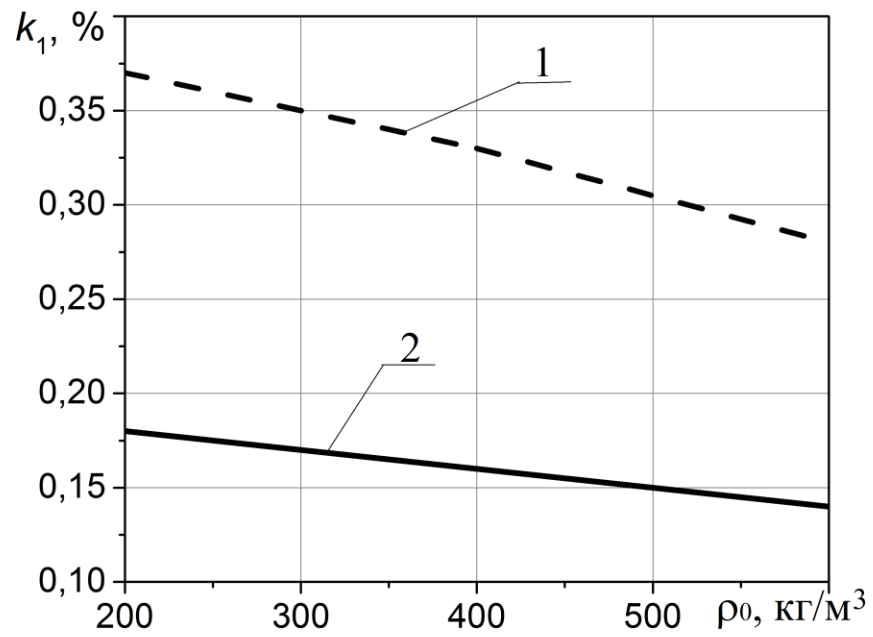
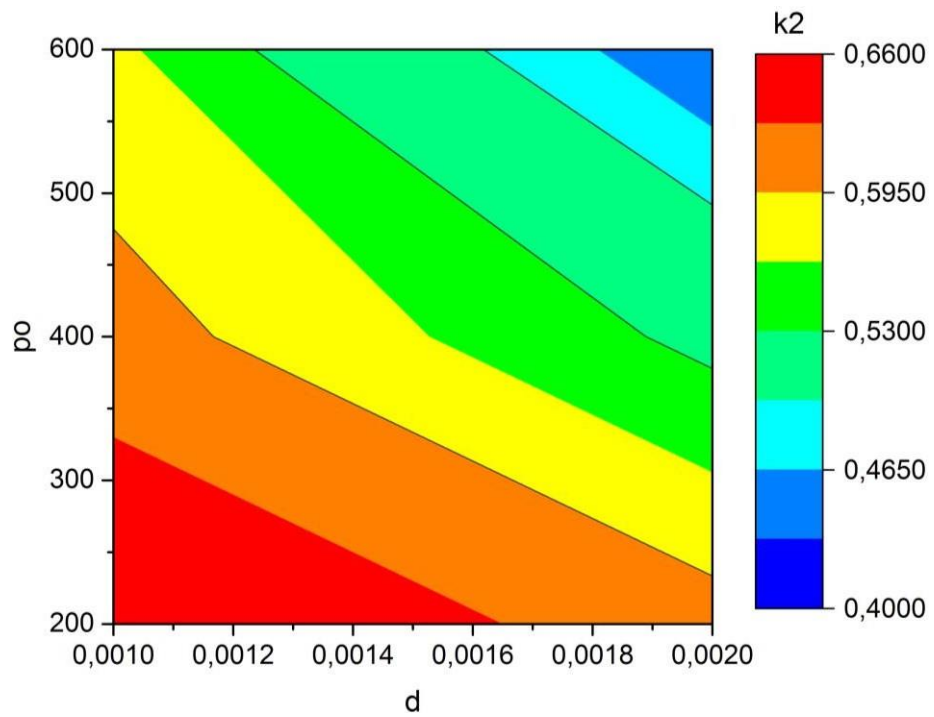
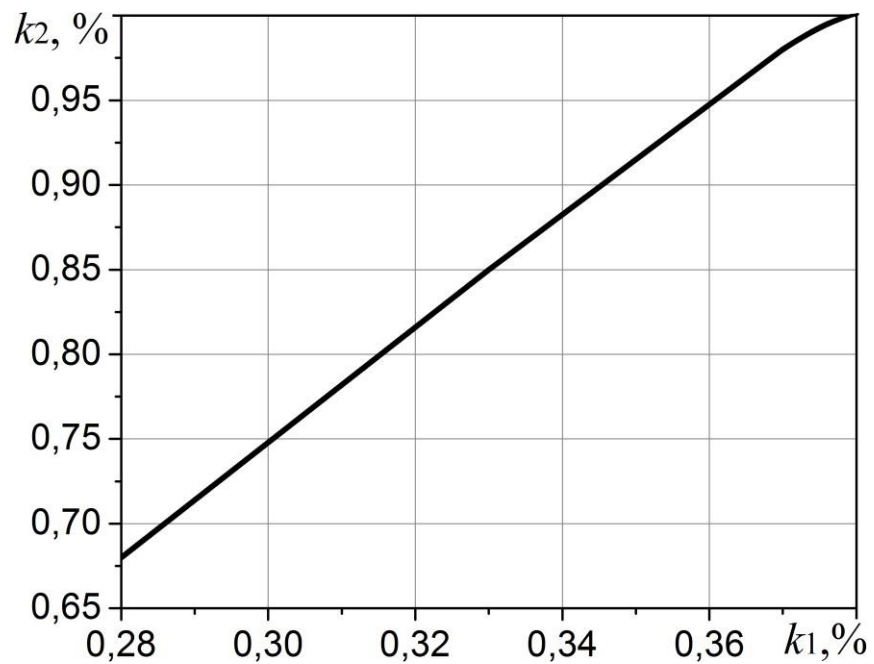
1 –  $d_p=0,002$  м; 2 –  $d_p=0,001$  м

Рисунок 2.15 – Залежності коефіцієнту розшарування зернової суміші від діаметру частинок домішок а) та їх щільності б)



a)



б)

а – від щільності і діаметру частинок домішок;

б – від коефіцієнту розшарування ЗС

Рисунок 2.16 – Залежності коефіцієнту ефективності вертикального каналу

( $d_p=0,002$  м)

Максимальна ефективність вертикального каналу, коли ЗС нерозшарувана, складає  $k_2=0,62\dots0,66$  і спостерігається при діаметрах частинок домішок  $0,001\dots0,0016$  м і їх щільності  $200\dots330$  кг/м<sup>3</sup>. Встановлено, що для каналу шириною  $0,06$  м при швидкості повітряного потоку повітря  $6$  м/с коефіцієнт ефективності вертикального каналу розробленого ПСК для зазначених домішок склав  $0,68\dots1$ . Збільшення розшарування, у межах встановленого діапазону, підвищує ефективність очищення розробленого ПСК на  $18,3\dots47\%$ . Також встановлено, що збільшення щільності та розмірів частинок домішок, зменшує на  $18\dots44\%$  та підвищує на  $4\dots16\%$  коефіцієнт ефективності розробленого ПСК.

Ураховуючи вхідні параметри процесу максимальна ефективність отримана при діапазонах коефіцієнту розшарування  $k_1=0,14\dots0,37$  та коефіцієнту ефективності каналу  $k_2=0,68\dots1$ .

Таким чином, використання розшарувального пристрою у ПСК дозволяє інтенсифікувати процес очищення ЗС та підвищити ефективність роботи сепараторів.

### **Висновки до розділу**

1. Теоретичні дослідження динамічних процесів ЗС проведено ґрунтуючись на аналогії руху в'язких рідин і сипких псевдозріджених середовищ. Використано наступний алгоритм: моделювання руху псевдозрідженої ЗС на нахиленій повітропроникній лускатій поверхні; моделювання процесу розшарування двофазного потоку ЗС «зерно-легкі домішки» на повітропроникній лускатій поверхні; моделювання процесу очищення розшарованої ЗС у основному вертикальному ПСК.

2. Аналізом результатів математичного моделювання руху ЗС по нахиленій лускатій поверхні ПСК встановлено, що основний вплив на підвищення продуктивності мають фактори: товщина зернового шару і кут нахилу лускатої повітропроникної поверхні.

За визначеними закономірностями зміни продуктивності ПСК встановлена інтенсивність її зростання (до 10 разів) при збільшенні товщини шару ЗС з 2 см

до 5 см. Також встановлено вплив зміни кута нахилу лускатої поверхні (з  $35^{\circ}$  до  $45^{\circ}$ ) на підвищення продуктивності ПСК (до 10%).

3. Проведеним аналізом результатів математичного моделювання розшарування двофазного потоку ЗС «зерно - легкі домішки» на повітропроникній лускатій поверхні ПСК встановлено:

- вплив на рух частинок домішок всередині шару ЗС їх властивостей (щільності та розмірів) та технологічних параметрів процесу (завантаження та швидкості повітряного потоку). Так, при щільності частинок домішок  $100...200 \text{ кг/м}^3$  їх координати підвищуються відносно лускатої поверхні розробленого ПСК на 10-15%, порівняно з частинками щільності  $600 \text{ кг/м}^3$ ;

- ступінь розшарування псевдозрідженої ЗС на лускатій поверхні охарактеризовано коефіцієнтом розшарування  $k_1$ . Збільшення швидкості продування поверхні лускатої решета, в діапазоні що досліджується з 1 м/с до 3 м/с, підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 20...25%. Зменшення щільності частинок домішок, в діапазоні що досліджується, також підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 25...35%. Зменшення висоти шару з 0,05 м до 0,02 м також позитивно впливає та збільшує коефіцієнт розшарування ЗС на 30...35%.

4. Проведеним аналізом математичного моделювання процесу очищення ЗС у основному вертикальному каналі ПСК встановлено:

- можливість збільшення ефективності очищення ЗС за рахунок попереднього розшарування ЗС на лускатій поверхні розробленого ПСК. Для каналу шириною 0,06 м при швидкості повітряного потоку повітря 6 м/с ефективність ПСК для зазначених фракцій домішок не перевищувала 0,66, а для найбільш великих і важких домішок дорівнювала 0,4. Попереднє розшарування ЗС дозволило підвищити ефективність очищення ЗС з  $k_2=0,4$  до  $k_2=0,57$  – для великих і важких домішок; і з  $k_2=0,66$  до  $k_2=0,80$  – для легких домішок ЗС;

- встановлено, що максимальне розшарування ЗС ( $k_1=0,31...0,37$ ) спостерігається зі збільшенням діаметру частинок домішок у діапазоні  $d=0,0017...0,002 \text{ м}$  і зменшенні їх щільності у межах  $\rho_0=200...500 \text{ кг/м}^3$ ;

- максимальна ефективність вертикального ПСК ( $k_2=0,62\dots0,98$ ) спостерігається при поширених діаметрах частинок домішок  $0,001\dots0,0016$  м і їх щільності  $200\dots330$  кг/м<sup>3</sup> при діапазонах коефіцієнту розшарування  $k_1=0,26\dots0,37$ .

5. У результаті проведених теоретичних досліджень встановлені закономірності керування якістю та продуктивністю, виявлена і доведена реальна можливість істотної інтенсифікації процесу очищення ЗС від легких домішок розробленим ПСК з розшарувальним пристроєм.

### РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених теоретичних досліджень створені математичні моделі нелінійної динаміки частинок ЗС по повітропроникній поверхні, та у вертикальному каналі, отримані залежності ефективності процесу очищення від конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК. Деякі вирази отримані при певних допущеннях, спрощеннях, і, відповідно, містять невідомі величини, які підлягають уточненню і можуть бути визначені експериментально.

#### 3.1. Характеристика об'єктів дослідження

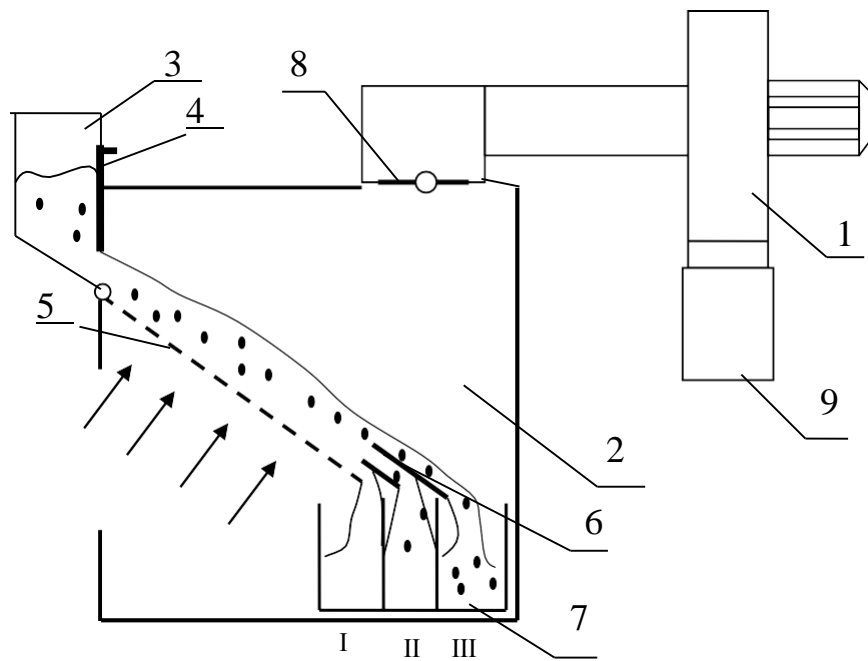
3.1.1. Лабораторні установки для дослідження процесу очищення зернових сумішей. Вимоги до лабораторних установок:

- можливість варіювати і фіксувати концентрацію легких частинок в ЗС (величина і структура повинні варіюватися в межах, що зустрічаються при роботі зернових сепараторів);
- похибка вимірювальних приладів не повинна перевищувати 5 % від вимірюваної величини;
- умови роботи мають бути максимально наближеними до реальних умов експлуатації зернових сепараторів;
- при дослідженнях завантаження і швидкість повітряного потоку мають бути постійними.

При дотриманні цих вимог можна вважати, що експерименти проведені в рівних умовах, і їх результати можна використовувати для оцінки характеристик досліджуваного ПСК.

Для визначення параметрів процесу очищення ЗС у ПСК створена установка (рис. 3.1). Дослідження проведені в лабораторії Науково-дослідного центру «Поділля».

Установка складається з джерела повітря – вентилятор 1 (рис.3.1), що всмоктує, ПСК 2, завантажувального бункера 3 з заслінкою 4, повітропроникної поверхні 5, розшарувального пристрою 6, блоку приймачів 7, регулятора повітряного потоку 8, фільтру 9.



а)



б)

а – схема; б – загальний вигляд;

1 – вентилятор; 2 – канал пневмосепарувальний; 3 – бункер завантажувальний;  
 4 – заслінка регульовальна; 5 – поверхня повітропроникна; 6 – пристрій розшарувальний; 7 – блок приймачів; 8 – регулятор повітряного потоку;  
 9 – фільтр

Рисунок 3.1 – Лабораторна установка для визначення параметрів повітропроникної поверхні

Лабораторна установка працює наступним чином. Підготовлена ЗС певної ваги (навіска) засипається до завантажувального бункеру 3. Включається вентилятор 1, який всмоктує повітря від повітрозаборних вікон через повітропроникну поверхню 5. За допомогою заслінки 4 (рис.3.1) регулюється подача (завантаження) ЗС на повітропроникну поверхню.

Установка дозволяє змінювати кути нахилу, тип повітропроникної розшарувальної поверхні, ширину зони основного очищення (імітація вертикального каналу  $B^*$  (рис. 3.1).

На лабораторній установці проводили незалежне варіювання наступних параметрів:

- а) засміченість ЗС легкими домішками і загальна засміченість (концентрація частинок в ЗС) – приготування суміші необхідного складу;
- б) завантаження – зміна ступеню відкриття заслінки;
- в) витрата повітря – зміна частоти обертання ротора електродвигуна вентилятора;
- г) ширина зони основного очищення – зміною розміру діафрагми;
- д) кут нахилу лускатої поверхні – поворотом поверхні на шарнірі.

Встановлення оптимальних співвідношень конструктивних параметрів ПСК є складним завданням внаслідок складних траєкторій руху компонентів ЗС і складності процесу вилучення домішок в цілому. Для спрощення завдання приймаємо рішення про незалежне варіювання значень конструктивних параметрів ПСК при проведенні дослідів. Дані про встановлені значення конструктивних параметрів наведені в табл. 3.1.

Шар ЗС певної висоти рухається по повітропроникній поверхні 5. Перпендикулярно до напрямку руху шару ЗС пронизується повітряним потоком, який проходить через отвори поверхні. Швидкість повітряного потоку над повітропроникній поверхні регулюється за допомогою заслінки 8 (рис. 3.2).

За рахунок повітряного потоку частинки легких домішок перерозподіляються у шарі і направляються до верхніх підшарів. Для визначення ефекту перерозподілу легких домішок у шарі розроблено розшарувальний пристрій (рис. 3.3).

**Встановлені значення конструктивних параметрів ПСК**

Конструктивні елементи	Регульовані параметри	Діапазон варіювання	Прилади та обладнання
діафрагма	ширина зони основного очищення	100-150 мм	накладна пластина, що фіксується гвинтами
повітропроникна поверхня	кут нахилу	35-45°	фіксація необхідного куту на бокових стінках установки

Він представляє собою набір пластин, які розділяють шар ЗС на певну кількість підшарів. Висоту підшару (відстань між поверхнями розшарувального пристрою) регулюють за допомогою набору шайб (рис. 3.3).

Розділена частина ЗС за допомогою пластини орієнтується до певного приймача блоку 7. Блок приймачів представляє собою ящик з перегородками, які встановлюються с певним кроком з урахуванням поверхонь розшарувального пристрою (рис.3.4).

Таким чином, перерозподілившись у шарі частинки легких домішок направляються до верхніх підшарів та відсікаються верхньою поверхнею розшарувального пристрою. Ця суміш з великим вмістом легких домішок направляється до приймача III, суміш з меншою кількістю легких домішок потрапляє до приймача II, мінімальний вміст легких домішок складається у суміші що потрапляє до приймача I (рис.3.4).



Рисунок 3.2 – Завантажувальний бункер установки з заслінкою та регулювання швидкості повітряного потоку



Рисунок 3.3 – Розшарувальний пристрій



Рисунок 3.4 – Блок приймачів

Виміри швидкості компонентів ЗС при їх очищенні проводили за допомогою анемометрів, термоанемометрів і мікроманометрів з трубкою Піто. Для дослідів використовували мікроманометри чашечні з нахиленою шкалою. Тоді динамічний тиск, який є різницею між повним та статичним тиском, знаходиться за виразом:

$$H = l \cdot \gamma_p \cdot k_m, \quad (3.1)$$

де  $l$  – різниця рівня стовпа на трубці, м;  $k_m = \sin \alpha$  – масштаб мікроманометра;  $\gamma_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Ціна поділки шкали мікроманометра склала 1 мм, при цьому коефіцієнт мікроманометра для вимірювань дорівнював 0,3. При таких параметрах абсолютна похибка вимірювань гідравлічного опору складає 0,3 мм. вод. стовпа.

Також при дослідженнях використано анемометр Testo 416 (рис. 3.5) з наступними характеристиками: діапазон вимірів 0,6 ... 40 м/с; тип зонду - крильчатка; похибка  $\pm 1,5\%$ ; поділки - 0,1 м/с. Анемометр перед дослідженнями проторована за допомогою трубки Піто та блоку мікроманометрів.



Рисунок 3.5. Використання анемометру Testo 416 для дослідження швидкості повітряного потоку у розробленому ПСК

З метою створення однакових умов процесу очищення ЗС на лабораторній установці та ПСК, протягом експериментів визначали відповідність швидкостей повітряного потоку, питомих завантажень, складу ЗС.

### 3.1.2. Визначення характеристик зернової суміші.

Ефективність перерозподілу легких домішок в шарі ЗС залежить від її властивостей. Максимальний ефект досягається при псевдозрідженні (закипанні) суміші, яке залежить від параметрів ЗС та швидкості повітряного потоку.

Параметри ЗС, які впливають на перерозподіл легких домішок наступні: висота та пористість шару; щільність, розміри та вологість зерна. Щільність ЗС що досліджувались та їх вологість під час післязбиральної обробки є загальновідомими даними. Одними зі значущих параметрів процесу очищення ЗС на ПСК є висота шару ЗС та швидкість повітряного потоку на повітропроникній лускатій поверхні. Висота шару ЗС, яка рухається по повітропроникній поверхні,

визначає завантаження всього ПСК. Швидкість повітряного потоку на поверхні поряд з вистою шару ЗС, регламентує його псевдозрідження.

Тому ці параметри потрібно досліджувати разом.

Максимум діапазону варіювання швидкості повітряного потоку фіксується за допомогою швидкості витання зерен основної культури. Тому при експериментальних дослідженнях після визначення швидкості початку псевдозрідження встановлювали швидкість витання зерно основних культур, що досліджувалися.

Для вищенаведених досліджень, за аналогією з відомими дослідженнями, використано ротаметричний порційно-парусний класифікатор РПК-30.

Для дослідів брали наважку ЗС і засипали у бокс класифікатора з відповідною висотою шару, яку визначали за допомогою лінійки (рис.3.6). Днище боксу виготовлено з тонкої сітки та має майже 100% повітропроникність. ЗС для різних культур набирали різної висоти 10...40 мм.



а)

б)



в)

а – соняшнику; б – пшениці; в – кукурудзи  
Рисунок 3.6 – Наважки зернових сумішей

За допомогою зміни числа обертів вентилятора пристроєм «ЛАТР» встановлювали необхідну швидкість повітряного потоку у вертикальному ПСК. Фіксували швидкість при якій відбувалося псевдозрідження ЗС, тобто її «кипіння».

Перед дослідженням проведено тарування шкали парусного класифікатора. Для цього використано мікроманометр і трубку Піто.

Результатом досліджень стали значення швидкості повітряного потоку, при якій ЗС псевдозріджувалася (швидкість псевдозріджування), та той при якій починався винос зерен основної культури (швидкість витання).

Слід також зауважити, що дослідження проведено для статичної ЗС (та що не рухається). Проведення подальших досліджень швидкості псевдозрідження в динаміці проведені безпосередньо на лабораторній установці (рис.3.1) за аналогічною методикою.

Для визначення значущого показника пористості шару ЗС використана наступна методика. Підготовлену ЗС засипали у бункер лабораторної установки та за допомогою заслінки забезпечували необхідну висоту шару (завантаження). Відповідно до умов досліду встановлювали задану швидкість повітряного потоку на повітропроникній лускатій поверхні. Після встановлення стаціонарного руху відбувалося фотографування перерізу по висоті шару ЗС через оргскло лабораторної установки. Подальша обробка зображень полягала у застосуванні методу Монте–Карло та використанні розробленої програми «ImgVol», яка автоматично підраховувала розміри насіння.

Таким чином, використання даної методики дозволило експериментально ідентифікувати значущий параметр пористість, який є значущим в математичному моделюванні динаміки ЗС в робочих зонах ПСК.

3.1.3. Визначення параметрів повітропроникної поверхні. Як було наведено вище, при проведенні попередніх експериментів, обрано наступні повітропроникні поверхні (рис.3.9 – 3.11): лускату, з трикутною перфорацією, каскадну.



а)



б)



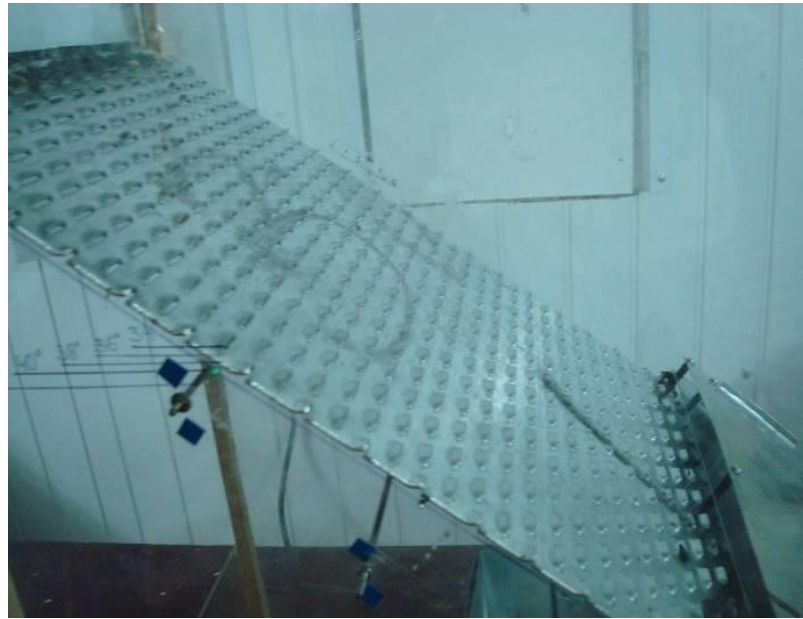
в)



г)

а – загальний вигляд; б – при дослідженнях на пшениці;  
в – на соняшнику; г – на кукурудзі

Рисунок 3.7 – Дослідження каскадної повітропроникної поверхні



а)



б)



в)

г)

а – загальний вигляд поверхні; б – на ЗС пшениці;  
в – на ЗС соняшнику; г – на ЗС кукурудзі

Рисунок 3.8 – Дослідження лускатої повітропроникної поверхні



Рисунок 3.9 – Визначення швидкості повітряного потоку над поверхнею

При дослідженнях поверхонь враховували: відсутність забивання компонентами ЗС; максимальна повітропроникність; наявність розпушувачів.

При дослідженнях проведено аналіз поверхні:

- максимальна повітропроникність 30% – поверхні з трикутною перфорацією, мінімальна у лускатої;
- забивання частинками ЗС присутнє у поверхні з трикутною перфорацією, і повністю відсутнє у двох інших;
- розпушувачі присутні лише на лускатій та на поверхні з трикутною перфорацією.

Таким чином, для досліджено обрано лускату поверхню, яка має задовільну повітропроникність, відсутність забивання частинками ЗС та на якій лусочки виконують роль розпушувачів.

Визначення кута встановлення повітропроникної поверхні. Одним з параметрів, що впливають на ефективність розділення ЗС у вертикальному повітряному потоку, є початкова швидкість вводу ЗС.

Величина  $w_0$  залежить від висоти  $h$  (рис.3.10) вільного падіння зерна на нахилену поверхню, шляху  $s$  руху зерна по ній, кута нахилу  $\varphi$  площини до горизонту і коефіцієнту тертя  $f$  зерна по матеріалу самої поверхні.

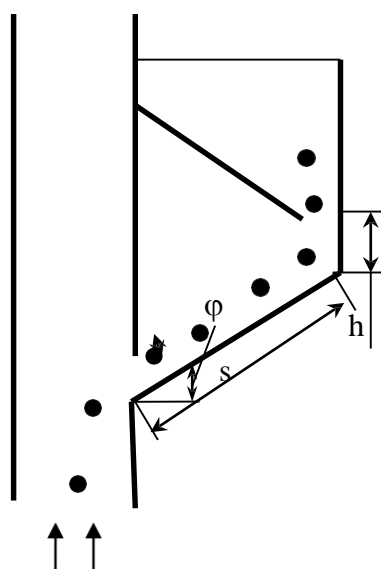


Рисунок 3.10 – Схема потрапляння зерна в пристрій каналу

Початкова швидкість  $w_0$  дорівнює:

$$w_0 = \sqrt{2gs(\sin \varphi - f \cos \varphi) + v_0^2}, \quad (3.2)$$

де  $v_0 = \sin \varphi \sqrt{2gh}$ .

Аналізом існуючих конструкцій живильних пристроїв повітряних та повітряно-ситових сепараторів, визначено що кут нахилу нахиленої поверхні обрано  $45^\circ$  (сепаратори ПОП-5, ПДП-10 та інші) та  $37^\circ$  (ЗС-5, ЗА-40 та інші). Збільшення кута нахилу лускатої поверхні веде до збільшення швидкості руху ЗС по поверхні. Приймаємо діапазон варіювання кута нахилу  $40 \dots 45^\circ$ .

Коефіцієнт тертя ЗС, що досліджуються, по сталі для різних культур приймаємо  $f=0,4 \dots 0,6$ .

Приймаючи вихідні дані маємо швидкість ЗС  $w_0=1,6 \dots 1,8$  м/с.

Таблиця 3.2

#### Вихідні данні для визначення початкової швидкості зернової суміші

висота вільного падіння зерна $h$ , м	шлях $s$ , м	кута нахилу $\varphi$ , град	коефіцієнту тертя $f$ зерна	швидкість $w_0$ , м/с
0,1	0,4	40...45	0,4...0,6	1,6...1,8

Визначив швидкість руху частинок ЗС по поверхні встановлюємо продуктивність ПСК за виразом:

$$Q=3,6 A \rho w_0 k,$$

де  $A$  – площа поперечного перетину шару ЗС,  $A=a v$ , де довжина каналу  $a=1,59$  м,  $v$  – товщина шару ЗС, м;  $\rho$  - щільність ЗС (табл.3.3);  $w_0$  - швидкість руху ЗС, м/с;  $k$  – коефіцієнт, що ураховує опір руху лусками та дію повітряного потоку,  $k=0,8$ .

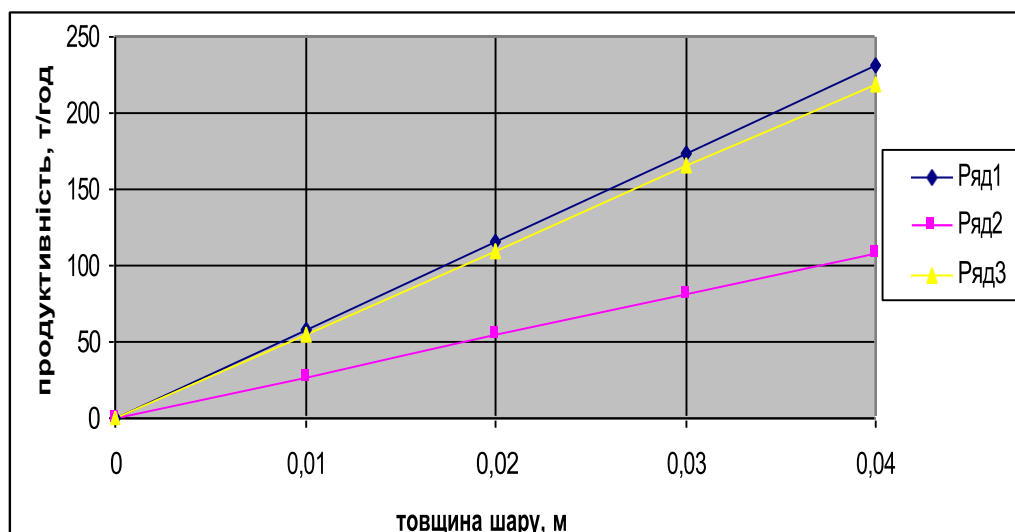
Таблиця 3.3

#### Насипна щільність с.г. культур (кг/м<sup>3</sup>)

№	Культура	мінімальна	максимальна
1	соняшник	260	440
2	кукурудза	600	820
3	пшениця	750	850
4	ячмінь	600	750

Результати продуктивності ПСК при різній товщині шару ЗС представлені на рис.3.11.

Для зручності проведення досліджень на корпусі нанесена шкала (рис.3.12) та встановлено механізм регулювання нахилу повітропроникної поверхні.



1 – пшениця, 2 – соняшник, 3 – кукурудза

Рисунок 3.11 – Залежність продуктивності пневмосепарувального каналу від товщини шару зернового матеріалу:

Таким чином, для проведення досліджень обрано встановлені діапазони варіювання швидкості повітряного потоку на повітропроникній поверхні та у вертикальному ПСК, а також завантаження (що відповідають завантаженням серійного сепараторів КБС).

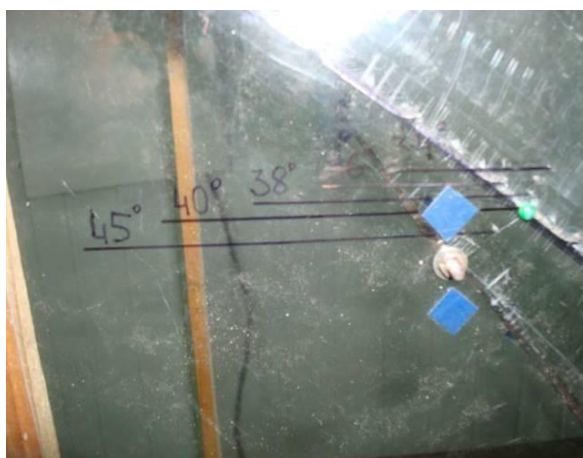


Рисунок 3.12 – Встановлення куту нахилу повітропроникної поверхні

Змінюючи конструктивні параметри повітропроникної поверхні досягали максимальний ефект – перерозподіл легких домішок.

Для визначення ефективності розшарування, проводився аналіз ЗС зібраної за допомогою розшарувального пристрою та блоку приймачів. Суміш аналізували на вміст легких домішок, відокремлюючи та зважуючи їх.

В результаті проведених досліджень визначали коефіцієнт розшарування ЗС на повітропроникній лускатій поверхні:

$$k_1 = (A / B) 100\%, \quad (3.3)$$

де  $A$ ,  $B$  – вага легких домішок у верхньому підшарі та у вихідній ЗС, відповідно.

Загальний вигляд підшарів, що відокремлені та знаходяться в різних приймачах представлені на рис. 3.13. Як видно, верхні підшари мають значну кількість легких домішок, і, навпаки, нижні – меншу кількість.



а)

б)

а - верхні з легкими домішками; б - нижні підшари

Рисунок 3.13 – Підшари зернової суміші після пропуску по лускатій повітропроникній поверхні

Дослідження проведено на трьох основних с.г. культурах: пшениця, кукурудза, соняшник.

В результаті досліджень встановлено, що 80-90% легких домішок перерозподіляються у шарі ЗС на повітропроникній поверхні з наступними параметрами: кут нахилу  $40^\circ$ , довжина поверхні 450...500мм, тип поверхні – луската.

Таким чином, дослідження підтвердили можливість використання повітропроникної поверхні що попередньо розшарує ЗС, перерозподіляючи легкі домішки у верхні підшари.

Для проведення експериментальних досліджень використовували ЗС:

а) пшениці озимої «Альянс» першої репродукції з характеристиками: 88,4 % (натура 745 г/л, маса 1000 зерен – 41 г), з них: биті зерна – 4%, щуплі зерна – 5%; мінеральні домішки – 0,5 %; домішки органічні (плівки зерен, солома і т.п.) – 6%; насіння бур'янів – 4,8 %; частинки пилу (зернової і мінеральної) – 0,3 %. Характеристика зернового вороху: щільність зерна основної культури 1190 кг/м<sup>3</sup>; засміченість до 15 %; вологість 12-15 %.

б) соняшник гібрид «Ясон». Вага 1000 зерен 80 г, натура 410 г/л, щільність зерен 0,753 г/см<sup>3</sup>, вологість 8%.

в) кукурудзи гібриду «Харківський 291». Вага 1000 зерен 250 г, натура 790 г/л, щільність зерен 1,25 г/см<sup>3</sup>, вологість 12,1%.

Вологість вороху визначали експрес-вологоміром австрійської фірми «Ультра-Х» методом висушування проб (в розмолотому вигляді) відповідно вимогам ГОСТ 29143-91.

Під час дослідження вирішували наступні завдання:

1. Визначення раціональних конструктивних параметрів розробленого ПСК зернових сепараторів.
2. Дослідження впливу конструктивних параметрів ПСК, швидкостей повітряного потоку (витрат повітря), засміченості, фракційного складу і т.п. на ефективність процесу очищення ЗС (коефіцієнт розшарування, коефіцієнт очищення вертикального каналу).
3. Встановлення траєкторій і швидкостей повітряного потоку, компонентів ЗС.
4. Визначення ефективності процесу очищення ЗС на розробленому ПСК.

Приймаємо програму досліджень: визначення ефективності процесу очищення ЗС; встановлення закономірностей траєкторій і швидкостей повітряного потоку і компонентів ЗС; визначення закономірностей зміни пористості ЗС; визначення оптимальних параметрів ПСК.

Експериментальні дослідження процесу очищення ЗС проведено у три етапи. На першому етапі визначали достовірність результатів теоретичного дослідження процесу шляхом порівняння їх з експериментальними даними. На другому етапі для встановлення оптимального співвідношення значень конструктивних і технологічних параметрів ПСК використана методика планування багатofакторного експерименту. На третьому етапі вивчалась робота розробленого ПСК у лабораторних і виробничих умовах, порівняно з серійним у відповідності до ГОСТ 20915-75 «Методи визначення умов випробувань».

Дослідження ефективності процесу очищення ЗС проводили в наступному порядку. Перед початком досліду, шляхом змішування певних компонентів відповідно до ДСТУ 4138–2002 і ГОСТ 28419–97, утворювали задану ЗС. Навіску ЗС засипали у бункер лабораторної установки, на якій встановлювали задане планом експерименту співвідношення факторів. Проводили пуск установки і відкривали заслінку бункера, забезпечивши необхідну висоту шару ЗС і завантаження ПСК. Тарування заслінки бункера і визначення завантаження ПСК визначали для різних культур заздалегідь. Після досліду досліджували вміст лотків та визначали кількісний склад компонентів ЗС.

Швидкість повітряного потоку регулювали за допомогою заслінок, в наступних діапазонах: на повітропроникній поверхні ПСК 0,6...3,5 м/с; у вертикальному каналі до 10 м/с.

Перед кожним дослідом готували суміш, зважували та засипали в бункер, відповідно до програми досліджень. Далі запускали установку та забезпечували за допомогою заслінки необхідну товщину шару ЗС, фіксували час досліду.

По закінченню досліду перевіряли наявність: невідібраних повітряним потоком частинок легких домішок в лотках після повітропроникної поверхні та у чистому зерні; повновісних зерен основної культури в домішках.

Ефективність очищення ЗС виражено через коефіцієнт очищення, який визначали за виразом:

$$k_2 = B_d / B_0, \quad (3.4)$$

де  $B_d$  – вага легких домішок, що відділені;  $B_0$  – вага домішок у вихідній суміші.

За одержаними даними визначали коефіцієнти розшарування та очищення розробленого ПСК.

Методика визначення швидкості повітряного потоку складається з двох етапів: визначення траєкторій руху та вимірювання значень за допомогою трубки Піто та мікроманометру, анемометру. Для визначення траєкторій повітряного потоку використовували метод шовковинок, який ґрунтується на відхиленні шовкових ниток. Для цього в робочій зоні розробленого ПСК натягнуті струни, на яких навішені шовкові нитки довжиною 20 мм. Відхилення нитки під дією повітряного потоку дозволяє визначити, як напрямлення руху потоку, так і його величину.

Дослідження поля швидкості компонентів ЗС проводили за допомогою відеозйомки з подальшим покадровим аналізом, за методиками що довели свою точність у визначенні динамічних показників (рис. 3.14).

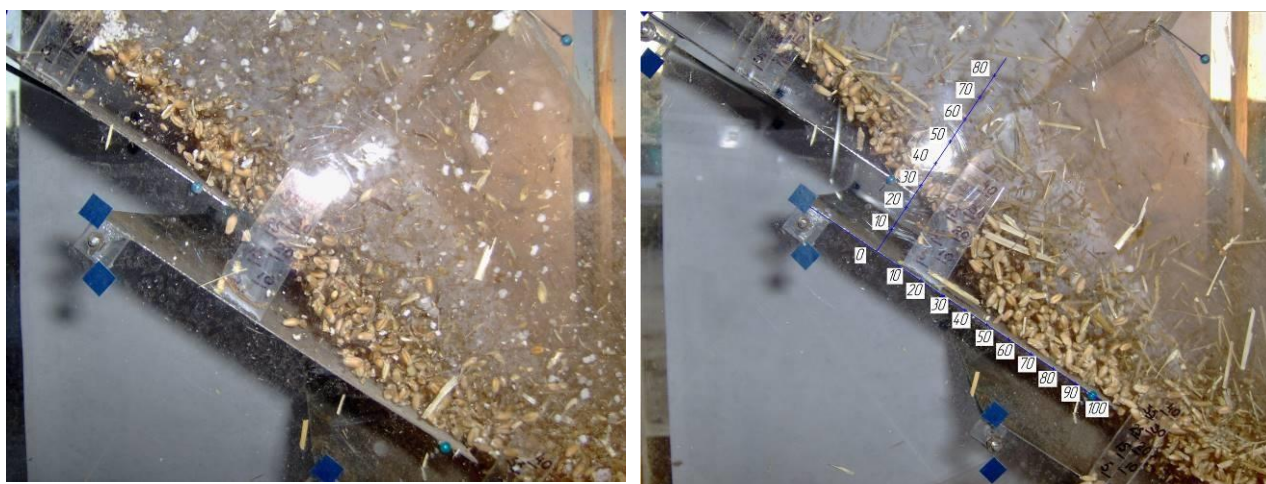


Рисунок 3.14 – Фотографічні зображення динаміки компонентів ЗС на розшарувальному пристрої розробленого ПСК

Одним з значущих показників, які впливають на ефективність розшарування ЗС, є її пористість. Так значна кількість пор у ЗС сприяє перерозподілу частинок домішок та інтенсифікує розшарування.

Визначення пористості статичної ЗС проведено шляхом ідентифікації об'єму пор. Для цього мірну ємність наповнювали ЗС, що досліджували, а потім заповнювали пори між насінинами водою. Після досліду фіксували об'єм води, що витрачали, та з урахуванням повного об'єму ємності визначали пористість ЗС.

Для визначення пористості ЗС, що рухається, використана методика, яка основана на обробці фотографічних зображень ЗС, зроблених через оргскло лабораторної установки (рис. 3.1).

Для визначення пористості ЗС використовували вираз:

$$\varepsilon = 1 - v_1 = 1 - \frac{V_3}{V} \approx 1 - \frac{S l_{екв}}{Sl_{оп}}, \quad (3.5)$$

де  $V_3$  – об'єм зерен основної культури;  $V$  – загальний об'єм шару ЗС, що досліджувався;  $S$  – площа зображення;  $l_{оп}$  – глибина оптичної видимості;  $l_{екв}$  – еквівалентна довжина зерен на зображенні;  $S_3$  – сумарна площа зерен на зображенні.

Для обробки зображень використано метод Монте-Карло, у відповідності з яким на зображення наносять сітку з рівномірно розподілених точок (рис.3.20), за умови:

$$\frac{S_3}{S} = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{N}, \quad (3.6)$$

де  $\xi_i$  – випадкова величина;  $i$  – номер точки.



Рисунок 3.15 – Фотографічне зображення процесу розшарування ЗС на повітропроникній лускатій поверхні розробленого ПСК

Для визначення еквівалентної довжини зерен ( $l_{екв}$ ) різних ЗС використано розроблений метод та програмне забезпечення «ImgToVol». Розроблена програма дозволяє обробити отримані фотографічні зображення ЗС, при цьому автоматично з заданою точністю визначити розміри зерен. Програма автоматично розпізнає об'єкт (насіння) і розбиває його на задану сітку, при цьому визначає максимальні, мінімальні і середні розміри в міліметрах у двох взаємно перпендикулярних площинах. Визначивши максимальний розмір програма приймає його як довга вісь зерна і будує перпендикуляр за шириною.

Програма переводить отримані дані розмірів з пікселів у міліметри та дозволяє експортувати у текстовий формат.

Таким чином, використання розробленого способу дозволяє автоматично з заданою точністю (до 5 знаку після коми) визначати розміри частинок ЗС та ідентифікувати значущий параметр процесу їх очищення – пористість.

### **Висновки до розділу**

1. Програма і методики проведення експериментальних досліджень, розроблені лабораторна і експериментальна установки, прилади та обладнання дозволили отримати з достатньою точністю параметри процесу очищення ЗС розробленим ПСК.

2. Для визначення траєкторій і швидкостей частинок ЗС запропоновано використання експериментального методу, який ґрунтується на траєкторних вимірах з використанням відеозйомки з подальшою обробкою зображень. Це дозволяє визначати закономірності траєкторій і складових швидкостей руху частинок суміші у робочих зонах розробленого ПСК.

3. Для визначення оптимальних значень конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК обрані методи математичного планування факторного експерименту.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження процесу очищення ЗС від легких домішок проведено відповідно типовим методикам і передбачали встановлення оптимальних конструктивних параметрів, визначення і порівняння основних технічних характеристик конструкцій розробленого і серійного ПСК.

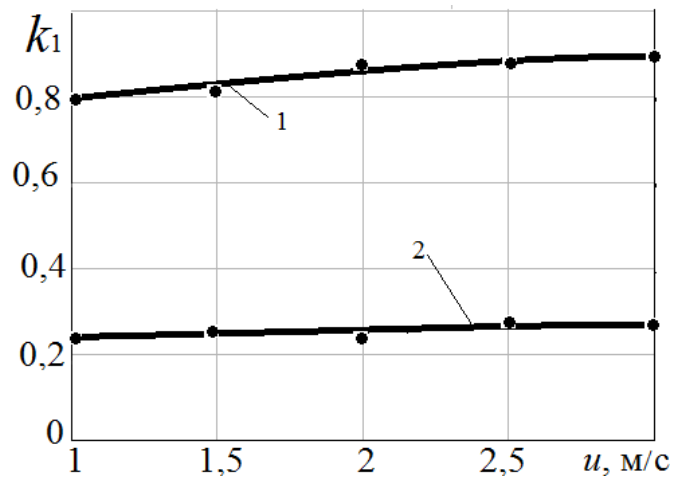
Завданням аналізу експериментальних даних є: визначення закономірностей підвищення ефективності, ідентифікація та оптимізація параметрів процесу очищення ЗС від домішок.

### 4.1. Ефективність процесу очищення ЗС розробленим пневмосепарувальним каналом

Дослідження ефективності роботи розробленого ПСК передбачало визначення коефіцієнту розшарування на повітропроникній лускатій поверхні та встановлення коефіцієнту очищення вертикального каналу.

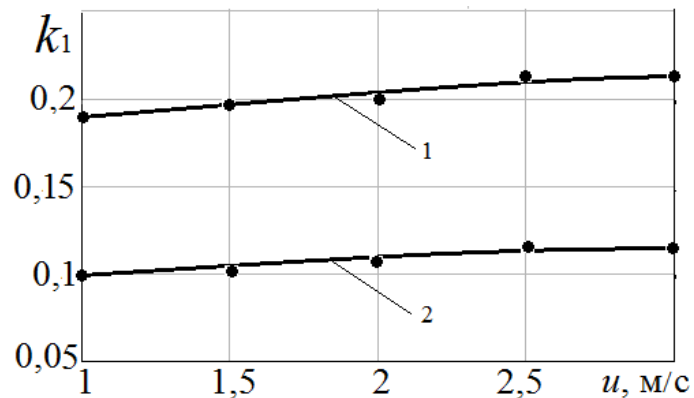
В результаті дослідження коефіцієнту розшарування ЗС на повітропроникній лускатій поверхні розробленого ПСК отримані відповідні залежності (рис. 4.1 – 4.6). Дослідження проведені для ЗС пшениці (рис. 4.1, 4.4), соняшнику (рис. 4.2, 4.5), кукурудзи (рис. 4.3, 4.6), в залежності від швидкості повітряного потоку на повітропроникній лускатій поверхні та її завантаження.

Аналізом залежностей (рис. 4.1 – 4.3) встановлено, що збільшення швидкості повітряного потоку, в діапазонах що досліджується, підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 9,3...21 %, зокрема: на 13...21 % до  $k_1=0,9$  для ЗС пшениці; на 15-20% до  $k_1=0,22$  для ЗС соняшнику; на 9,3...14% до  $k_1=0,47$  для ЗС кукурудзи. Діапазони варіювання отриманих коефіцієнтів розшарування, при швидкості повітряного потоку  $u=2...3$  м/с, склали для ЗС: пшениці  $k_1=0,23...0,9$ ; соняшнику  $k_1=0,12...0,22$ ; кукурудзи  $k_1=0,24...0,48$ . Різниця значень ефективності розшарування, для культур що досліджуються, пояснюється відмінністю їх властивостей, зокрема, щільності та розміру частинок ЗС. Останні є значущими з точки зору аеродинамічного розділення ЗС.



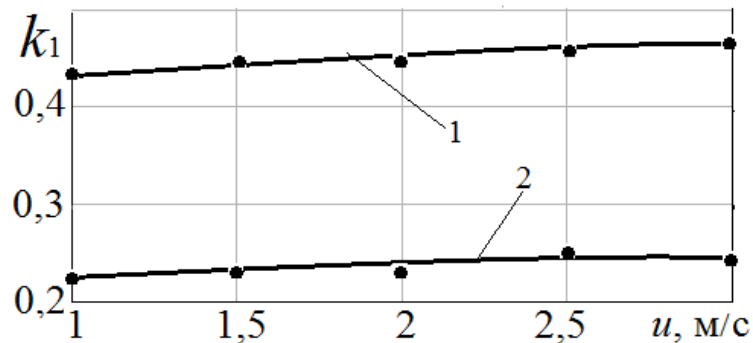
1 -  $H=0,02$  м; 2 -  $H=0,05$  м

Рисунок 4.1 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС пшениці від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,003$  м;  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>)



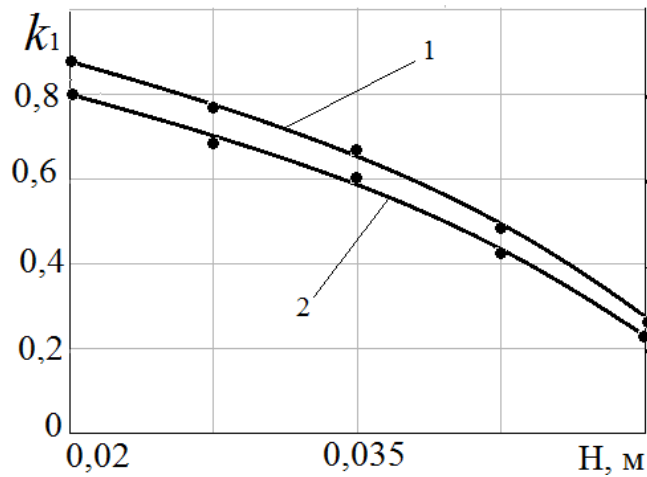
1 -  $H=0,02$  м; 2 -  $H=0,05$  м

Рисунок 4.2 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС соняшнику від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,0038$  м;  $\rho=350$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>)



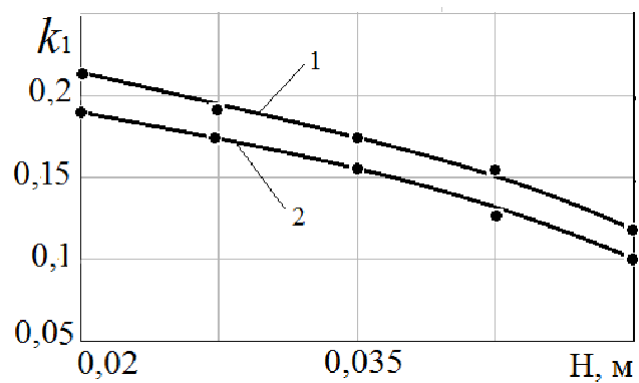
1 -  $H=0,02$  м; 2 -  $H=0,05$  м

Рисунок 4.3 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС кукурудзи від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,005$  м;  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>)



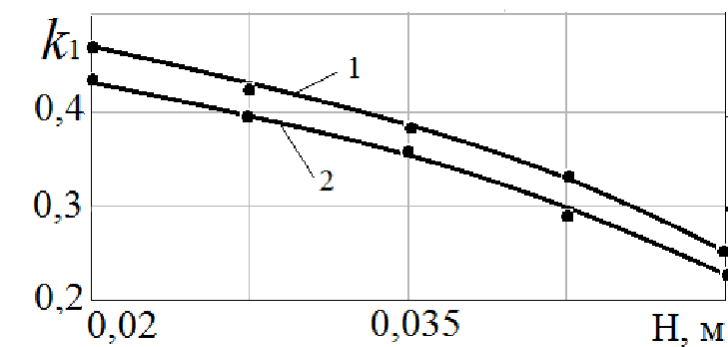
1 –  $u=3$  м/с; 2 –  $u=1$  м/с

Рисунок 4.4 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС пшениці від завантаження ПСК ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,003$  м;  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>)



1 –  $u=3$  м/с; 2 –  $u=1$  м/с

Рисунок 4.5 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС соняшнику від завантаження ПСК ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,0038$  м;  $\rho=350$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>)



1 –  $u=3$  м/с; 2 –  $u=1$  м/с;

Рисунок 4.6 – Залежності коефіцієнту розшарування ЗС кукурудзи від завантаження ПСК ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,005$  м;  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta=45^\circ$ )

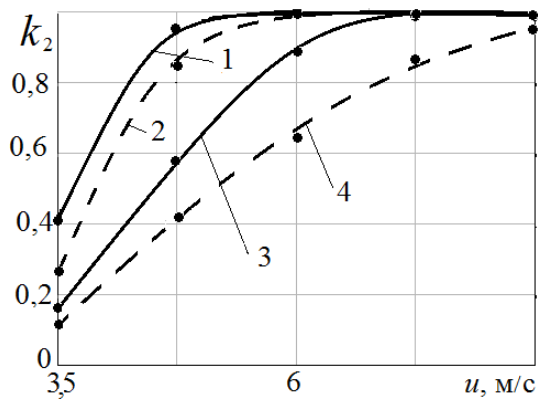
Другим параметром та його впливом на ефективність розшарування ЗС досліджено завантаження ПСК на прикладі отриманих залежностей (рис.4.4 – 4.6).

Отримані залежності коефіцієнту розшарування, для ЗС що досліджувалися, від завантаження повітропроникної лускатої поверхні, а відповідно, і розробленого ПСК. Аналізом даних залежностей встановлено, що підвищення висоти шару ЗС знижує коефіцієнт розшарування на 40...72,5%, зокрема: на 69...72,5% до  $k_1=0,22$  для ЗС пшениці; на 40...44% до  $k_1=0,1$  для ЗС соняшнику; на 46,8...49% до  $k_1=0,22$  для ЗС кукурудзи. Зменшення товщини шару ЗС сприяє зменшенню його опору, що викликає збільшення простору між зернами (пористість підвищується). Це сприяє інтенсивному перерозподілу частинок ЗС та збільшує ефективність розшарування.

Встановлені раціональні діапазони коефіцієнтів розшарування склали для ЗС: пшениці 0,22...0,68; соняшника 0,1...0,18; кукурудзи 0,23...0,4. Слід відмітити що дані отримані за умови максимальної висоти шару 0,035...0,05 м, яка забезпечує найбільше питоме завантаження, а отже, і продуктивність ПСК. Рекомендований діапазон варіювання швидкості повітряного потоку на лускатій повітропроникній поверхні складає 2...3 м/с.

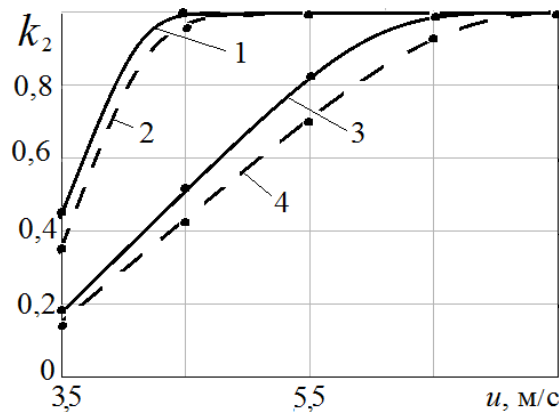
Наступним етапом експериментальних досліджень ефективності роботи розробленого ПСК було визначення коефіцієнту очищення основного вертикального каналу. Дослідження також проведені на ЗС пшениці, соняшнику, кукурудзи при варіюванні технологічних параметрів: швидкість повітряного потоку та завантаження ПСК (рис. 4.7 – 4.9). При цьому вперше враховано попереднє розшарування ЗС та його вплив на ефективність очищення розробленого ПСК.

Експериментальні дослідження проведені на вертикальному каналі, у якому варіювали швидкість повітряного потоку та подавали задану ЗС відповідно до програми досліджень. При цьому результати порівнювали з очищенням (пневмосепарацією) не розшарованої ЗС, яке характерно для базових ПСК.



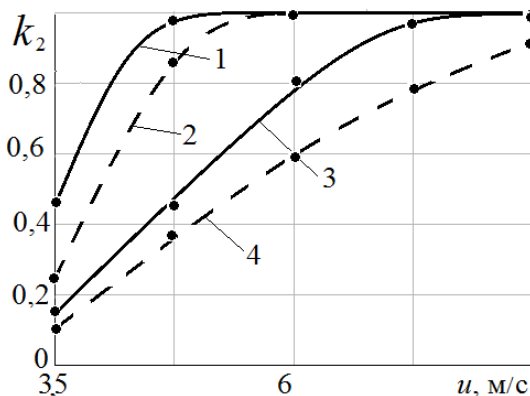
1 -  $H=0,02$  м;  $k_1=0,9$ ; 2 -  $H=0,02$  м; 3 -  $H=0,05$  м;  $k_1=0,25$ ; 4 -  $H=0,05$  м;  
 - - - - базова конструкція ПСК;----- розроблений ПСК

Рисунок 4.7 – Залежності ефективності роботи вертикального каналу при очищенні ЗС пшениці від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,003$  м;  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta=45^\circ$ )



1 -  $H=0,02$  м;  $k_1=0,22$ ; 2 -  $H=0,02$  м; 3 -  $H=0,05$  м;  $k_1=0,12$ ; 4 -  $H=0,05$  м;  
 - - - - базова конструкція ПСК;----- розроблений ПСК

Рисунок 4.8 – Залежності ефективності роботи вертикального каналу при очищенні ЗС соняшнику від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,0038$  м;  $\rho=350$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta=45^\circ$ )



1 -  $H=0,02$  м;  $k_1=0,48$ ; 2 -  $H=0,02$  м; 3 -  $H=0,05$  м;  $k_1=0,25$ ; 4 -  $H=0,05$  м;  
 - - - - базова конструкція ПСК;----- розроблений ПСК

Рисунок 4.9 – Залежності ефективності роботи вертикального каналу при очищенні ЗС кукурудзи від швидкості повітряного потоку ( $a/l=0,08$ ;  $d=0,005$  м;  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_p=0,002$  м;  $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\theta=45^\circ$ )

В результаті дослідів та їх аналізу отримані залежності ефективності роботи вертикального каналу від швидкості повітряного потоку при очищенні від легких домішок ЗС пшениці (рис.4.7), соняшнику (рис.4.8) та кукурудзи (рис.4.9). Аналізом залежностей встановлено, що підвищення швидкості повітряного потоку, в діапазоні що досліджується, збільшує коефіцієнт очищення вертикального каналу в 5...9,5 разів. Встановлено, що ефективність роботи вертикального каналу залежить від товщини шару (завантаження) ЗС, а також від ступеня його розшарування (коефіцієнту розшарування). Проведеними попередніми експериментами (рис.4.1 – 4.3) встановлені характерні значення коефіцієнтів розшарування для різних ЗС за певних умов. Тому забезпечивши відповідне розшарування (наприклад,  $k_1=0,9$  для шару ЗС пшениці товщиною  $H=0,02$  м і т.п.) фіксували кількість відділених легких домішок при заданій швидкості повітряного потоку та визначали коефіцієнт очищення вертикального каналу (рис.4.7). При цьому проводили порівняння з очищенням нерозшарованої ЗС. Встановлено, що ефективність роботи вертикального каналу при очищенні розшарованої на розробленому ПСК ЗС пшениці підвищується на 12...42% у порівнянні з базовою конструкцією. Підвищення питомого завантаження (товщини шару ЗС), а значить і продуктивності, потребує на розробленому ПСК швидкості повітряного потоку у вертикальному каналі від 7,2 м/с для забезпечення максимальної ефективності (коефіцієнтом очищення  $k_2=1$ ). Це підтверджує інтенсифікацію процесу очищення пшениці у вертикальному каналі за рахунок попереднього розшарування ЗС.

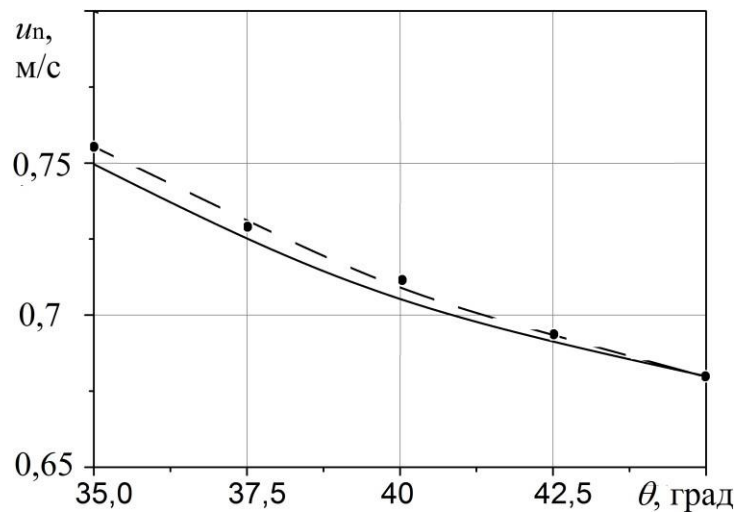
Аналогічно отримані залежності ефективності роботи вертикального каналу від швидкості повітряного потоку при очищенні ЗС соняшнику (рис.4.8) та кукурудзи (рис.4.9). Аналізом залежностей встановлено, що ефективність розробленого ПСК збільшується: на 3...17% при очищенні ЗС соняшнику (рис.4.8) та на 16...33% при очищенні ЗС кукурудзи (рис.4.9). Максимальна ефективність вертикального каналу ( $k_2=1$ ), за умови підвищеного завантаження ( $H=0,05$  м), потребує швидкості повітряного потоку: від 6,4 м/с при очищенні ЗС соняшнику (рис.4.8) та 7,5 м/с при очищенні ЗС кукурудзи (рис.4.9).

## 4.2. Закономірності руху компонентів зернових сумішей

Для проведення експериментальних досліджень динамічних характеристик використано методики (п.3.3) на штучно створеній ЗС відповідно до п.3.1, 3,2. Для визначення швидкості повітряного потоку використано анемометр Testo 416.

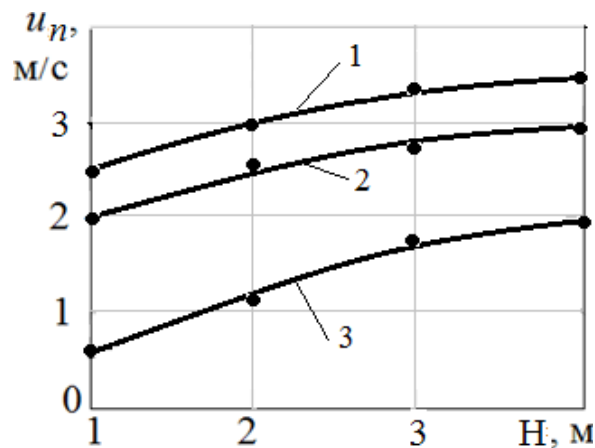
4.2.1. Динаміка частинок зернових сумішей на розшарувальному пристрої розробленого пневмосепарувального каналу. Теоретичними дослідженнями встановлено, що відділення легких домішок в основному горизонтальному каналі розробленого ПСК залежить від ефективності розшарування ЗС. Обробкою результатів математичного моделювання (п.2.2) встановлено, що значущими факторами процесу розшарування є конструктивні параметри повітропроникної лускатої поверхні, швидкість повітряного потоку, властивості компонентів ЗС. Для керування динамічними процесами розшарування ЗС перш за все необхідно мати уявлення про діапазон варіювання швидкості повітряного потоку, яка на неї діє. Для підтвердження розробленого математичного моделювання проведена експериментальна ідентифікація швидкості псевдозрідження, на прикладі зернової суміші соняшнику, за різних кутах нахилу повітропроникної поверхні. Аналізом встановлено, що збільшення куту нахилу повітропроникної поверхні, в діапазоні що досліджується, зменшує швидкість початку псевдозрідження на 9,3 % до 0,68 м/с. Розбіжність результатів теоретичних досліджень та експериментальних не перевищує 3,5 %, що підтверджує адекватність розробленого математичного моделювання.

В результаті проведення експериментів встановлено, що для псевдозрідження ЗС необхідний діапазон швидкості повітряного потоку складає: кукурудза – 2,5...3,5 м/с; пшениці – 2...3 м/с; соняшника – 0,6...2 м/с. В зв'язку з поставленими завданнями, які направлені на підвищення технологічних показників продуктивності та якості, орієнтуємося на максимальне завантаження, що складає більше 0,003 м. Тоді швидкість початку псевдозрідження, яка задовільнить ЗС що досліджуються, складатиме 2,8...3,5 м/с. Визначення параметрів повітропроникної поверхні також напряму пов'язано з встановленням швидкості «спливання» (перерозподіл частинок домішок з нижніх підшарів до верхніх) частинок легких домішок. При цьому визначаючими є властивості легких домішок (щільність та розміри) та швидкість повітряного потоку.



---- – експериментальні дослідження; ——— – теоретичні

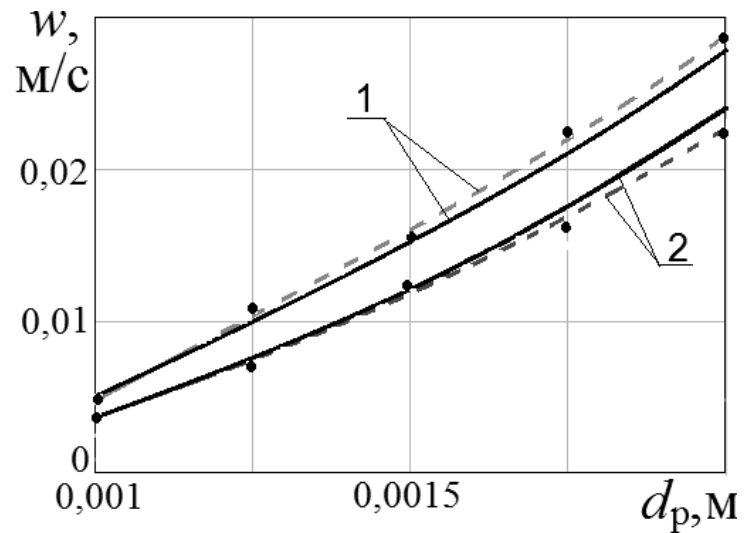
Рисунок 4.10 – Залежності швидкості початку псевдозрідження зернової суміші соняшнику від кута нахилу повітропроникної поверхні розробленого ПСК ( $H=15$  мм;  $a/l=0,08$ )



1 – кукурудзи; 2 – пшениці; 3 – соняшнику

Рисунок 4.11 – Залежності швидкості початку псевдозрідження зернової суміші від завантаження повітропроникної поверхні розробленого ПСК ( $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^0$ )

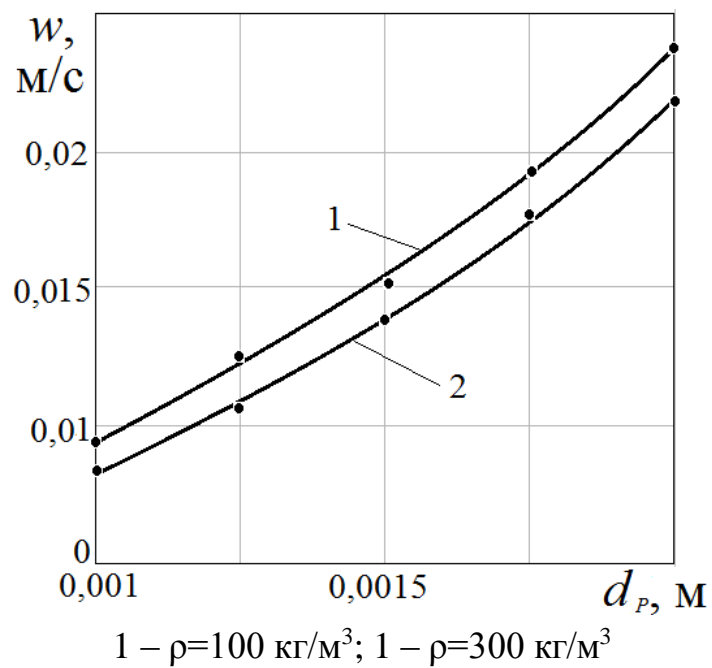
В результаті проведення експериментальних досліджень одержано залежності швидкості спливання легких домішок від їх властивостей та швидкості повітряного потоку. Для дослідів використано ЗС які підготовлені шляхом змішування заданих фракцій домішок та зерна. Встановлено, що збільшення розмірів та зменшення щільності частинок легких домішок, в діапазонах що досліджуються, підвищує швидкість їх спливання в шарі в 2,8...5,6 разів та на 9...20%, відповідно.



1 –  $\rho=50$  кг/м<sup>3</sup>; 1 –  $\rho=200$  кг/м<sup>3</sup>;

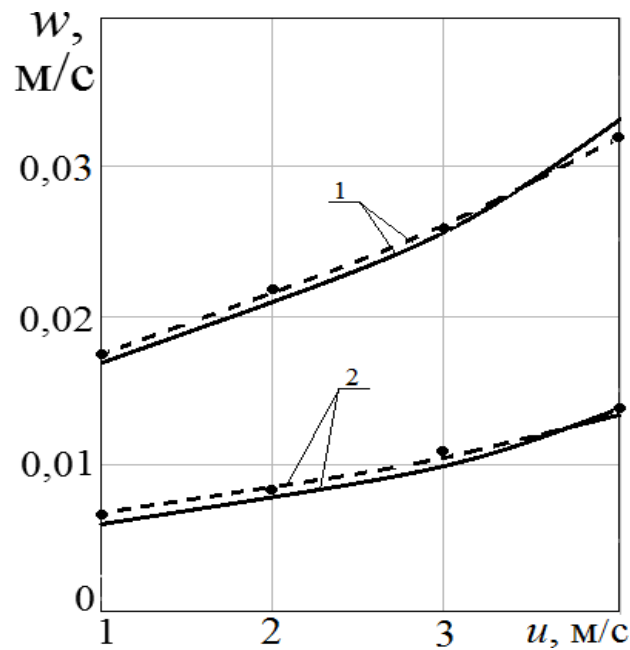
---- – експериментальні дослідження; — – теоретичні дослідження

Рисунок 4.12 – Залежності швидкості «спливання» частинок домішок від їх еквівалентного діаметру ( $u=3$  м/с;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^\circ$ )



1 –  $\rho=100$  кг/м<sup>3</sup>; 1 –  $\rho=300$  кг/м<sup>3</sup>

Рисунок 4.13 – Залежності швидкості «спливання» частинок домішок від їх еквівалентного діаметру ( $u=3$  м/с;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^\circ$ )



1 –  $d_p=0,001$  м; 1 –  $d_p=0,002$  м;

---- – експериментальні дослідження; ——— – теоретичні дослідження

Рисунок 4.14 – Залежності швидкості «спливання» домішок ЗС пшениці від швидкості повітряного потоку ( $\rho_p=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^\circ$ )

Це пояснюється тим, що легкі ( $\rho=50\dots100$  кг/м<sup>3</sup>) та великі ( $d_p = 0,0015\dots0,003$  м) частинки домішок активніше перерозподіляються в шарі ЗС під дією повітряного потоку. Також встановлено, що при збільшенні швидкості повітряного потоку на повітропроникній поверхні, в діапазоні що досліджується, швидкість спливання частинок домішок підвищується на 62,5...77% до 0,013...0,032 м/с. Визначено, що з урахуванням одержаних залежностей швидкості початку псевдозрідження, мінімізації енергетичних витрат, діапазонів варіювання швидкостей витання основного зерна, встановлено раціональний діапазон варіювання швидкості повітряного потоку 2...3 м/с. Даний діапазон дозволить забезпечити перерозподіл частинок в шарі – розшарування ЗС, за різних їх властивостях. Діапазони варіювання швидкості спливання легких домішок, що досліджувались, склали 0,006...0,028 м/с. Результати експериментів також узгоджуються з результатами теоретичних досліджень з розбіжністю до 3%. Для визначення траєкторій руху домішок на повітропроникній поверхні використовували відеозйомку з подальшим розшифруванням фотографічних зображень (п.3.3).

За результатами експериментальних досліджень побудовані траєкторії руху компонентів ЗС по нахиленій повітропроникній поверхні.

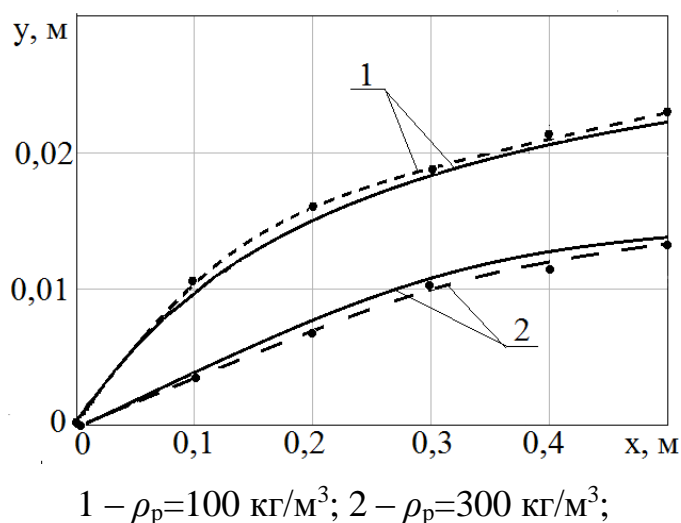


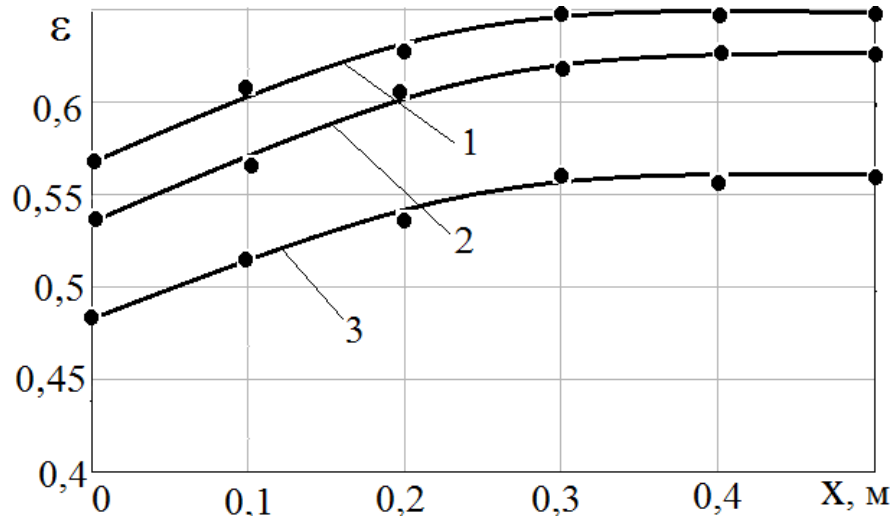
Рисунок 4.15 – Траєкторії руху частинок домішок у шарі ЗС пшениці по повітропроникній лускатій поверхні: ( $u=3 \text{ м/с}$ ,  $d_p=0,002 \text{ м}$ ;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^\circ$ )

При дослідженнях розглянуто, аналогічно з теоретичним завданням, найгірший варіант, коли частинка домішок знаходиться на нижній точці по висоті шару ЗС ( $y=0 \text{ м}$ ). Встановлено, що по мірі руху по лускатій поверхні частинки ЗС перерозподіляються в шарі під дією повітряного потоку та лусок. Легкі домішки зі щільністю  $100\dots300 \text{ кг/м}^3$  та діаметром  $d_p=0,002 \text{ м}$ , що відповідає максимальному їх розміру, при русі по поверхні довжиною  $0,4\dots0,5 \text{ м}$  перерозподіляються у верхній підшар  $y=0,14\dots0,23 \text{ м}$ . При інших початкових точках траєкторій частинок домішок, які знаходяться вище заданих (рис.4.18), маємо залежності які змінюються за аналогічним характером і які на 100 % забезпечують розшарування ЗС.

Як відмічено раніше, швидкість спливання, а значить і траєкторії частинок домішок в основному залежать від їх діаметру та щільності. Досліди проведені на інших ЗС (кукурудза та соняшник) підтвердили результати досліджень траєкторій домішок ЗС пшениці, з розбіжністю до 2,5%. Таким чином, рекомендований діапазон довжини повітропроникної поверхні, який забезпечить максимальне розшарування ЗС, складає  $0,4\dots0,5 \text{ м}$ .

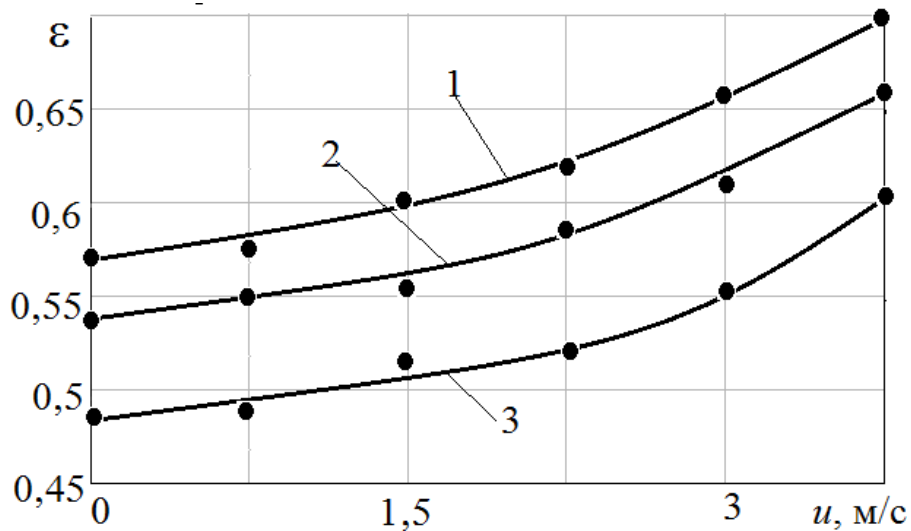
### 4.3. Закономірності зміни пористості зернових сумішей

Реалізацією методики отримані залежності пористості шару ЗС різних культур. В результаті експериментів отримані закономірності зміни пористості ЗС по повітропроникній лускатій поверхні.



1 – шар соняшнику; 2 – кукурудзи; 3 – пшениці

Рисунок 4.16 – Залежності пористості ЗС по довжині повітропроникної лускатої поверхні ( $H=0,05$  м;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^{\circ}$ ;  $u=3$  м/с)



1 – шар соняшнику; 2 – кукурудзи; 3 – пшениці

Рисунок 4.17 – Залежності пористості ЗС від швидкості повітряного потоку на повітропроникній лускатій поверхні ( $H=0,05$  м;  $a/l=0,08$ ;  $\theta=45^{\circ}$ )

Аналізом даних залежностей встановлено, що по мірі руху ЗС по повітропроникній поверхні її пористість збільшується на 14...17%: соняшнику на 14%, кукурудзи на 17%, пшениці на 14,3%, по відношенню до вихідної ( $\varepsilon_0$ ). Це пояснюється дією на ЗС, як повітряного потоку так і лусок. Інтенсивність розпушування ЗС та збільшення пористості зменшується на повітропроникній поверхні після 0,3 м її довжини. Рекомендовані діапазони пористості ЗС склали: пшениці 0,48...0,56; кукурудзи 0,54...0,63; соняшник 0,57...0,65.

Для визначення впливу швидкості повітряного потоку, яка діє на лускатій поверхні, на пористість ЗС проведені експериментальні дослідження та отримані відповідні залежності. Аналізом залежностей встановлено, що збільшення швидкості повітряного потоку на лускатій поверхні, в діапазоні що досліджується, підвищує середню пористість ЗС (за довжиною поверхні) на 12,2-15%, у т.ч.: пшениці на 12,2%; кукурудзи на 14,8%; соняшнику на 14%.

#### **4.4. Визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів пневмосепарувального каналу**

Для визначення раціональних параметрів процесу очищення ЗС на розробленому ПСК проведено факторний експеримент за планом Бокса-Бенкіна. На підставі проведених попередніх експериментів визначені значущі фактори, які впливають на критерії оптимізації – коефіцієнти розшарування та очищення ЗС.

Плануванням багатофакторного експерименту з критеріями оптимізації - коефіцієнтами розшарування та очищення, встановлені оптимальні конструктивно-технологічні параметри розробленого ПСК: кут нахилу повітропроникної поверхні  $\theta=41...43^{\circ}$ ; довжина повітропроникної поверхні  $L=0,43...0,47$ м; швидкість повітряного потоку  $u=2,3...2,7$  м/с; швидкості повітряного потоку у вертикальному каналі  $U=6,1...6,7$  м/с; ширині вертикального каналу  $B=0,21...0,3$  м.

За вказаними параметрами коефіцієнт розшарування ЗС пшениці складає  $k_1=30,53...31,75$  %, а ефективність її очищення розробленим ПСК  $k_2=92,15...99,29$ %.

## Висновки до розділу

1. Експериментально встановлені залежності швидкості «спливання» та траєкторії частинок домішок підтвердили їх перерозподіл до верхніх підшарів ЗС під дією повітряного потоку та лусок розробленого ПСК. При збільшенні швидкості повітряного потоку на повітропроникній поверхні швидкість спливання частинок домішок підвищується на 62,5...77%. За умови псевдозрідження ЗС та її максимального розшарування рекомендовані діапазони варіювання параметрів розробленого ПСК: довжини повітропроникної поверхні 0,4...0,5 м; швидкості повітряного потоку 2,5...3,5 м/с; кута нахилу повітропроникної поверхні  $\theta=40...45^\circ$ . Розбіжність результатів теоретичних та експериментальних досліджень не перевищує 3,5%, що підтверджує адекватність розроблених наукових положень.

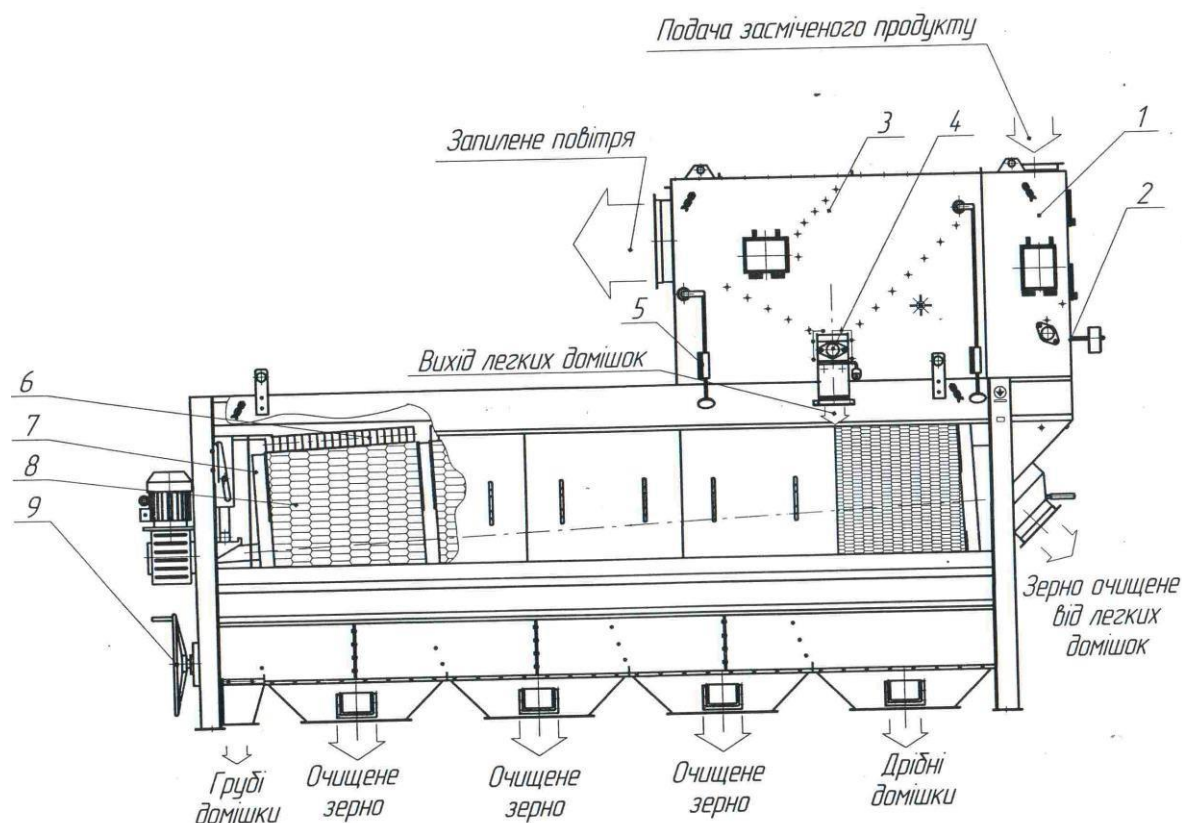
2. Аналізом встановлених експериментально залежностей ефективності процесу очищення ЗС за умови їх попереднього розшарування на розробленому ПСК визначено, що збільшення швидкості повітряного потоку, в діапазонах що досліджується, підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 9,3...21 %. Встановлені діапазони варіювання коефіцієнтів розшарування для ЗС: пшениці  $k_1=0,23...0,9$ ; соняшнику  $k_1=0,12...0,22$ ; кукурудзи  $k_1=0,24...0,48$ . Встановлено, що ефективність вертикального каналу при очищенні попередньо розшарованої ЗС на розробленому ПСК підвищується на 3...42% у порівнянні з базовою конструкцією. Це підтверджує інтенсифікацію процесу очищення ЗС у вертикальному каналі за рахунок їх попереднього розшарування.

3. В результаті проведення багатofакторного експерименту процесу очищення ЗС рекомендовані наступні раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК: кут нахилу повітропроникної поверхні  $\theta=41...43^\circ$ ; довжина повітропроникної поверхні  $L=0,43...0,47$  м; швидкість повітряного потоку  $u=2,3...2,7$  м/с; швидкість повітряного потоку у вертикальному каналі  $U=6,1...6,7$  м/с; ширина вертикального каналу  $B=0,21...0,3$  м. Встановлено, що за визначеними параметрами коефіцієнт розшарування ЗС пшениці складає  $k_1=30,53...31,75$  %, а коефіцієнт її очищення розробленим ПСК -  $k_2=92,15...99,29$ %.

## РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНОГО КАНАЛУ

Виробничі випробування розробленого ПСК виконані на сепараторі КБС-1270.4.0 на Насінневому заводі «КВС-УКРАЇНА» (м. Кам'янець-Подільський). Спільно з ПП «Квін-Майстер» розроблена і перевірена робота ПСК на модернізованому сепараторі в умовах експлуатації.

При проведенні випробувань проводилось очищення ЗС пшениці, кукурудзи та соняшнику. Загальний об'єм обробленого зерна за період випробувань склав: 2,77 тис. т. – пшениці, 53 тис. т. – кукурудзи, 15 тис. т. – соняшнику. Конструктивна схема модернізованого сепаратора КБС-1270.4.00 представлено на рис.5.1. Вихідна ЗС поступає до живильника 1 (рис.5.1), який визначає завантаження та продуктивність сепаратора. Заданий об'єм зернової суміші далі поступає до ПСК 2, де відбувається її очищення від легких домішок. ПСК має на першому етапі розшарувальний пристрій виконаний у вигляді повітропроникної лускатої поверхні, на другому вертикальний канал.



1- живильник; 2 – канал розроблений пневмосепарувальний;  
3 – камера пилоосаджувальна; 4 – шнек виводу легких домішок;  
5 – регулятор зміни швидкості повітряного потоку; 6 – очисні ролики;  
7 – барабан; 8 – решето; 9 – регулятор зміни куту нахилу барабану  
Рисунок 5.1 – Конструктивна схема модернізованого сепаратору КБС-1270.4.00



Рисунок 5.2 – Загальний вигляд сепаратора КБС 1270.4.00 з розробленим пневмосепарувальним каналом

За рахунок попереднього розшарування ЗС ефективність її очищення у вертикальному повітряному потоці підвищується. Відділені легкі домішки осаджуються у пилоосаджувальній камері 3 та виводяться з сепаратора шнеком 4. Один з значущих параметрів процесу варіюється в залежності від культури за допомогою регулятора 5. Очищене від легких домішок зерно потрапляє для подальшого розділення за розмірами на барабан 7 з решетами 8. Очистка решіт відбувається роликми 8. Кут нахилу барабану змінюється регулятором 9.

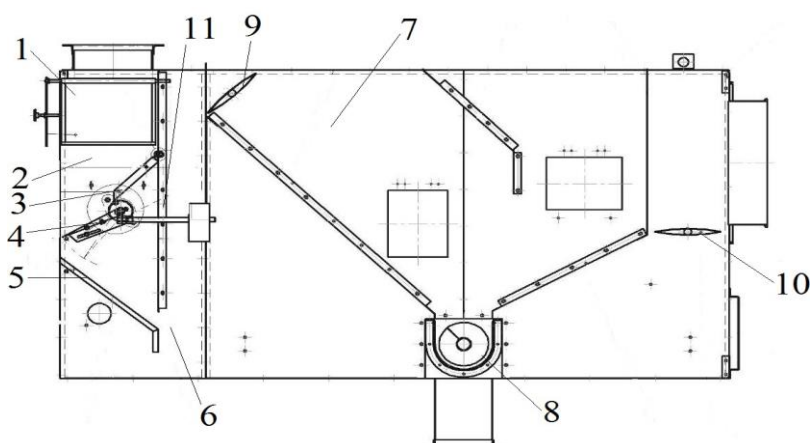
Розроблений ПСК складається з основних елементів (рис.5.3, 5.4): направляючих поверхонь 1, які рівномірно розподіляють ЗС по ширині пневмосепарувального пристрою; накопичувальної камери 2, яка утворюється нахиленою поверхнею 3 з клапаном 4; повітропроникної лускатої поверхні 5, основного вертикального каналу 6, пилоосаджувальної камери 7 з вивантажувальним шнеком 8, регуляторів швидкості повітряного потоку основного 9, додаткового з решіт 10, додаткового з повітропроникної поверхні 11. Для забезпечення заданого завантаження сепаратора на розробленому ПСК проектуємо лускату поверхню з регульованим клапаном. Відкриття клапану, що забезпечує положення противаг, задає товщину шару ЗС, який далі рухається по повітропроникній лускатій поверхні. Для забезпечення роботи клапану на корпусі ПСК встановлено опори (рис.5.5, б, в).

Для забезпечення параметрів технологічного процесу, у зв'язку з переносом нахиленої поверхні противаги клапанів винесено зовні (по ширині ПСК) (рис. 5.6), з умовою вільного обертання їх навколо осі. Зміна положення противаг на осі визначає завантаження розробленого ПСК та сепаратора.

Очищення ЗС від домішок в розробленому ПСК проходить в два етапи: розшарування потоку шляхом псевдозрідження і розділення компонентів за аеродинамічними властивостями у вертикальному каналі. Монтаж розробленого ПСК (рис. 5.7) проводили на базовому сепараторі КБС 1270.4.00 без змін його габаритних параметрів, потужностей що витрачаються на технологічний процес.

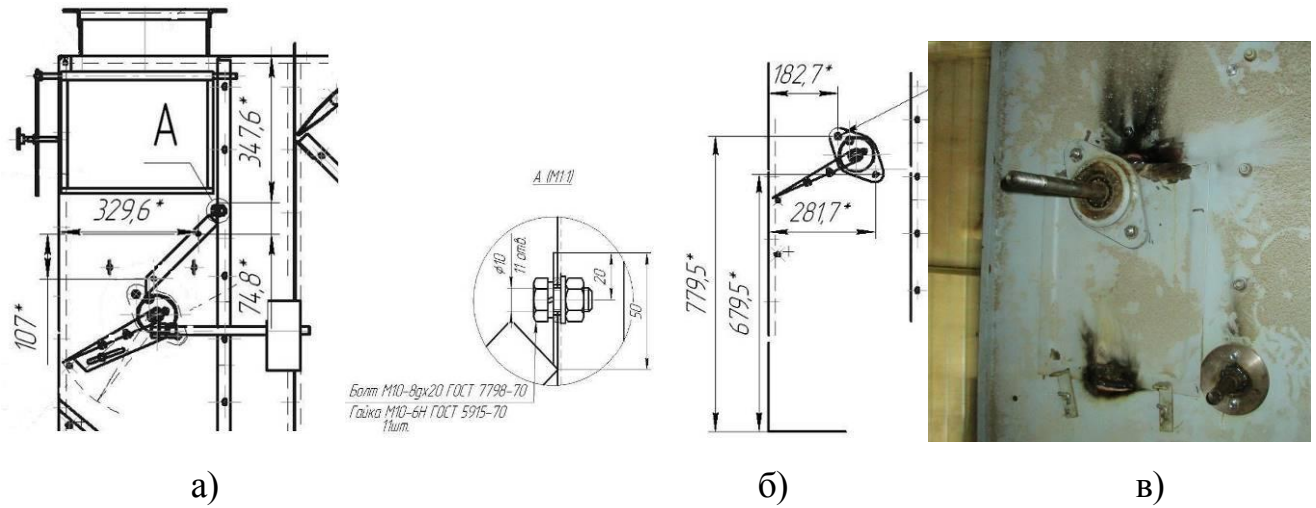


Рисунок 5.3 – Загальний вигляд розробленого пневмосепарувального каналу сепаратора КБС-1270.4.00



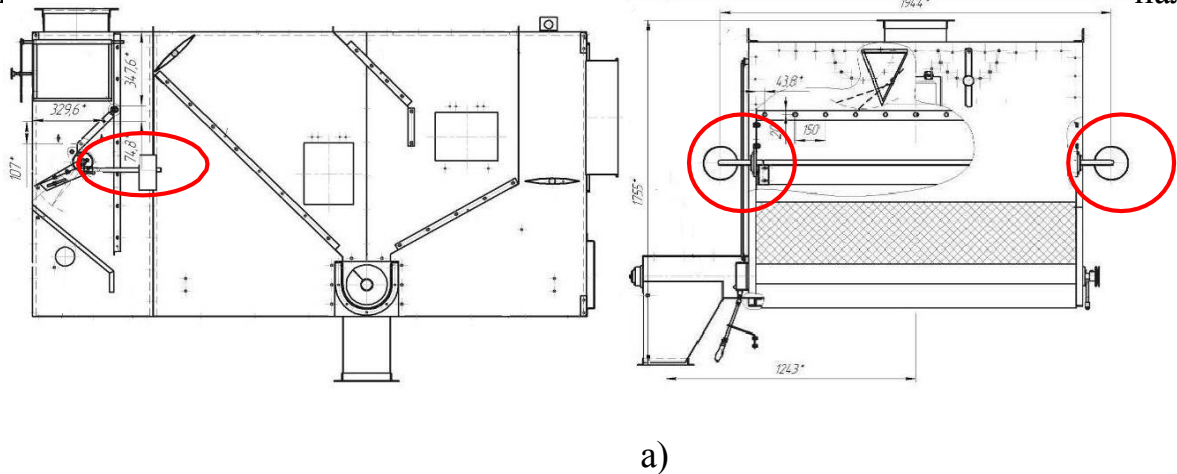
- 1 – поверхні направляючі; 2 – камера накопичувальна; 3 – нахилена поверхня; 4 – клапан-дозатор завантажувальний; 5 – поверхня повітропроникна луската; 6 – канал вертикальний; 7 – камера пилоосаджувальна; 8 – шнек вивантажувальний; 9, 10, 11 – регуляторів швидкості повітряного потоку

Рисунок 5.4 – Схема розробленого пневмосепарувального каналу



а – схема монтажу; б – координати встановлення опор клапану;  
в - загальний вигляд опор клапану

Рисунок 5.5 – Монтаж поверхні розробленого пневмосепарувального каналу



а)



б)

а – конструктивні схеми розміщення; б – загальний вигляд противаг  
Рисунок 5.6 – Встановлення противаг клапану нахиленої поверхні розробленого  
пневмосепрувального каналу

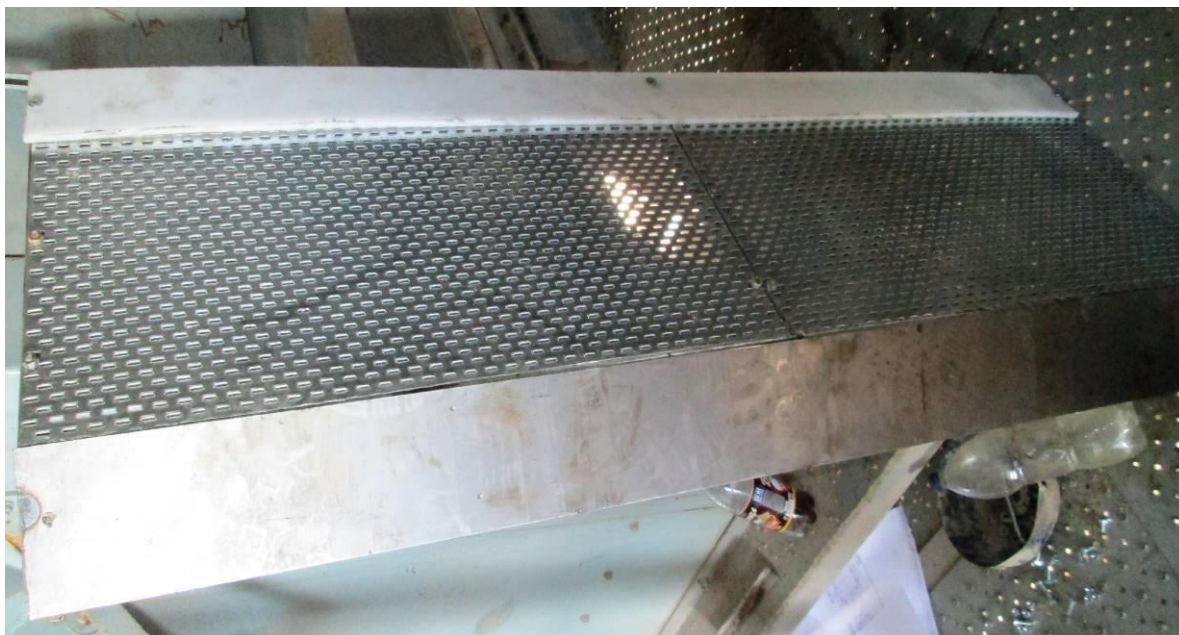


Рисунок 5.7 – Монтаж повітропроникної поверхні та регулювальних жалюзі пристрою розробленого пневмосепарувального каналу

В залежності від властивостей вихідних ЗС, культур які досліджували, здійснювали варіювання наступних параметрів:

- а) швидкість повітряного потоку у основному вертикальному каналі - положенням клапану;
- б) швидкість повітряного потоку на повітропроникній поверхні – положенням клапану;
- в) завантаження (товщина шару) ПСК (сепаратора) – положенням противаг клапана-дозатора.

Кінематичні параметри барабанного сепаратора КБС-1270.4.00 не варіювались, прийняті паспортним. Потужність встановлених електродвигунів складала: на решітний барабан - 4 кВт·год; шнек вивантаження домішок – 0,55 кВт·год; вентилятор 7,5 кВт·год.

Конструктивно-технологічні параметри розробленого ПСК прийняті з урахуванням експериментальних досліджень: кут нахилу повітропроникної поверхні –  $\theta=45^{\circ}$ ; висота та період розташування лусок  $a/l=0,08$ ; довжина повітропроникної поверхні –  $L=0,45$  м; швидкість повітряного потоку на розшарувальному пристрої  $u_{cp}=2,2$  м/с; ширина вертикального каналу  $B=0,25$  м.

Встановлено, що використання розробленого ПСК з розшарувальним пристроєм підвищує ефективність очищення ЗС від легких домішок на 30...40% до 80...96%. Це дозволило збільшити продуктивність сепаратора на 23,5...29 %. Якість процесу очищення ЗС при випробуваннях визначали шляхом ідентифікації фізико-механічних характеристик її компонентів, яку проводили відповідно до ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості».

За результатами виробничих випробувань за рівних умов встановлено: ефективність процесу очищення ЗС (коефіцієнт очистки  $k_2$ ) розробленого ПСК у порівнянні з базовою конструкцією збільшується на 30...40% і складає 80...96%; продуктивність сепаратора підвищилась на 23,5...29% та складала: 100...105 т/год при очищенні ЗС пшениці; 35...38 т/год при очищенні ЗС соняшнику; 46...49 т/год при очищенні ЗС кукурудзи.

Потужність, яка витрачається вентилятором сепаратора доцільно поділити на наступні складові: витрати потужності, які виникають при відсутності в сепараторі ЗС (холостий хід); витрати потужності, які виникають при робочому режимі на базовій конструкції ПСК; витрати потужності, які виникають при робочому режимі на розробленому ПСК.

Визначення цих витрат потужності дає можливість встановити витрати енергії на роботу розробленого ПСК. Вимірювання потужності проводили кліщами марки Ц 4505 з наступними характеристиками: межі вимірювань 1...10 кВт, час вимірювання 3,5 с, частота 50 Гц і граничною похибкою 2,5%. Кліщі призначені для короткочасного вимірювання струму без розриву мережі.

Результати вимірювань і розрахунків представлені в табл.5.1.

Таблиця 5.1

**Розподіл витрат потужності на процес очищення зернових сумішей пшениці аспіраційною системою модернізованого сепаратора КБС-1270.4.00**

Продуктивність сепаратора (ЗС пшениці), т/год	Металоємність, кг/(т·год)	Питома енергоємність, кВт·год/т	Споживана потужність, кВт	
			на холостий хід	на робочий режим
<b>базовий пневмосепарувальний канал</b>				
80	10,7	0,0666	4,8	5,33
<b>розроблений пневмосепарувальний канал</b>				
100	8,56	0,059	5	5,9

Виробничі випробування проведені за використанням вентилятора ВРП-6,3 потужністю 7,5 кВт, частотою обертання ротора 1500 об/хв, продуктивністю до 9,6 м<sup>3</sup>/год, тиском до 1500 Па, вагою 306 кг. Аспіраційна система сепаратора КБС-1270.4.00 з вентилятором ВРП-6,3 має масу 856 кг.

З аналізу даних (табл. 5.1) виходить, що витрати на процес очищення ЗС розробленим ПСК сепаратора КБС-1270.4.00 підвищуються на 0,03 кВт. Це складає 5% від загальної потужності, яка витрачається на робочий режим вентилятора при базовій конструкції ПСК.

Використання розробленого ПСК з розшарувальним пристроєм знизило питомі енерго і металоємність модернізованого барабанного сепаратора КБС-1270.4.00, відповідно: з 0,0666 кВт·год/т до 0,059 кВт·год/т (на 13%), з 10,7 кг/(т·год) до 8,56 кг/(т·год) (на 25%).

Техніко-економічні показники впровадження розроблених ПСК в серійне виробництво представлені в табл.5.2.

Таблиця 5.2

**Техніко-економічні показники використання пневмосепарувальних каналів на сепараторі КВС-1270.4.00**

Найменування показників	базовий ПСК			розроблений ПСК		
	пшениця	соняшник	кукурудза	пшениця	соняшник	кукурудза
Капіталовкладення, тис. грн	240			249,6		
Термін служби сепаратора, років	8			8		
Встановлена потужність двигунів, кВт	12			12		
Витрати на електроенергію, грн/т	0,316	0,96	0,71	0,256	0,77	0,59
Витрати на заробітну платню, грн/т	0,307	0,932	0,69	0,249	0,75	0,53
Витрати на амортизацію, грн/т	87,79	3,17	6,55	73,91	2,64	5,28
Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн/т	47,45	1,71	3,54	39,95	1,43	2,85
Експлуатаційні витрати, грн/т	135,87	6,78	11,48	114,37	5,58	9,21
Питомі капіталовкладення, грн/т	564,71	20,41	42,11	475,43	16,98	33,96
Термін окупності додаткових капіталовкладень	-	-	-	0,54	0,02	0,03
Річний економічний ефект на один сепаратор, тис. грн: - (при програмі 20 шт.)	-	-	-	600		
- на Насінневий завод КВС м. Кам'янець-Подільський	-	-	-	18,3	25,9	25,62

## Висновки до розділу

1. На підставі результатів проведених досліджень розроблений, виготовлений та досліджений у виробничих умовах ПСК барабанного сепаратора КБС-1270.4.00, його тривала безвідмовна експлуатація підтвердила високу ефективність процесу очищення ЗС.

2. За результатами виробничої експлуатації встановлено:

– продуктивність барабанного сепаратора підвищилась на 25...30 % і склала: 100...105 т/год при очищенні ЗС пшениці; 35...38 т/год при очищенні ЗС соняшнику; 46...49 т/год при очищенні ЗС кукурудзи.

– ефективність процесу очищення ЗС (коефіцієнт очистки  $k_2$ ) розробленого ПСК з розшарувальним пристроєм у порівнянні з базовою конструкцією збільшується на 30...40% і складає 80...96%;

– продуктивність сепаратора підвищилась на 23,5...29% та склала: 100...105 т/год при очищенні ЗС пшениці; 35...38 т/год при очищенні ЗС соняшнику; 46...49 т/год при очищенні ЗС кукурудзи;

– питомі енерго і металоємності базової конструкції і розробленого ПСК сепаратору, відповідно, знижені: з 0,0666 кВт·год/т до 0,059 кВт·год/т (на 13%), з 10,7 кг/(т·год) до 8,56 кг/(т·год) (на 25%).

3. Річний економічний ефект від використання модернізованого сепаратора КБС-1270.4.00 за рахунок зменшення експлуатаційних витрат склав: на Насінневому заводі КВС, м. Кам'янець-Подільський – 71,25 тис. грн.

4. Розроблений ПСК впроваджений у виробництво на ПП «Квін-Майстер» (м. Кам'янець-Подільський).

## РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1. Загальні вимоги

До роботи по обслуговуванню насіннеочисних машин та сепараторів для розділення дрібнонасіневих сумішей насіння сільськогосподарських культур допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли спеціальне навчання, перевірку знань і навичок безпечного виконання робіт при обслуговуванні насіннеочисних машин і апаратів згідно “Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачів”, а також пройшли медичний огляд та інструктаж вступний та на робочому місці з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Дозвіл на самостійне виконання робіт (після перевірки знань і навичок) дає керівник робіт.

Необхідно виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником робіт. Не допускати на робоче місце сторонніх осіб і не передоручати свою роботу іншим особам.

Слід виконувати правила внутрішнього розпорядку підприємства, у якому проводяться дослідження або випробування.

Не дозволяється працювати несправним інструментом, використовувати пожежний інвентар не за призначенням.

Палити дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях, які повинні мати напис “Місце для паління”.

### 6.2. небезпечні і шкідливі фактори та заходи по їх упередженню

#### 1. Травмування рухомими органами машини:

*Запобіжні заходи:* перевірити наявність і надійність захисних огорожень рухомих частин сушарки, приводів, місць набігання ланцюгів на зірочки транспортерів, муфт зчеплення, відкритих кінців всмоктувальних патрубків вентиляторів.

Під час роботи насіннеочисної машини не виконувати технічний догляд, не усувати несправності, не знімати захисні огороження. Всмоктувальні патрубки вентиляторів повинні бути обладнані запобіжними сітками з вічками розміром не більше як 25x25 мм.

## 2. Ураження електрострумом:

*Запобіжні заходи:* оглянути струмоведучий кабель до машини Він повинен бути захищений від механічних пошкоджень. Оглянути заземлення. Впевнитись, що заземлюючі провідники не обірвані і забезпечено надійний контакт їх з корпусом машини. Перевірити правильність підключення всіх електродвигунів.

Обслуговування пульта управління, електроустановок і електричних мереж, а також усунення всіх видів пошкоджень електроприладів проводиться тільки електромонтерами. Регулярно перевіряти захисне заземлення і показники напруги. Технічне обслуговування і ремонт проводити при вимкненому рубильнику і вивішеній табличці “Не вмикати: працюють люди”. Щоб запобігти коротким замиканням електродвигунів, на них встановлюють автоматичні вимикачі або запобіжники.

## 3. Травмування при усуненні несправностей та очистці робочих органів:

*Запобіжні заходи:*

Перевірити наявність та справність спеціальних пристосувань: гачків, скребків, дерев'яних лопат.

Усунення несправностей, очищення, регулювання і мащення рухомих частин обладнання виконувати тільки при повній зупинці машини. Технічне обслуговування проводити при повністю закритих заслінках для подавання і випускання насіння. На пускових пристроях електродвигунів і випускних пристроях зняти напругу і вивісити табличку: “Не відкривати: працюють люди”, “Не вмикати: працюють люди”. Догляд за верхньою головою норії проводити з площадки, огороженої перилами висотою не менше як 1,2 м. Перед очищенням норії від насіння, вимкнути привід, відкрити люк в нижній головці і спеціальними скребками (а не руками) вигребти насіння.

### **6.3. Дії в аварійних ситуаціях**

У випадку загорання зерна (насіння) в першу чергу виключити всі вентилятори. Закрити всі заслінки в припливних і витяжних повітропроводах. Виявивши осередок загорання, ліквідувати його через люки завантажувальних і вивантажувальних камер.

При появі напруги на корпусі машини вимкнути загальний рубильник.

У випадку виникнення пожежі приймати заходи до її ліквідації, при

необхідності викликати пожежну команду та повідомити керівника робіт.

При травмуванні надати самопомогу або взаємодопомогу, повідомити керівника робіт, при необхідності організувати доставку потерпілого в медпункт.

#### **6.4. Вимоги безпеки по закінченні роботи**

Зупинити насіннеочисну машину (відключити двигуни, вентилятори. Вимкнути струмоведучий кабель).

Привести в порядок робоче місце (очистити від пилу, зернових відходів, обладнання. Площадки, приміщення), сміття винести в спеціально відведене місце.

Передати зміннику обладнання, вказуючи на можливі несправності в їх роботи.

Зняти спецодяг, очистити від пилу та бруду, здати на зберігання.

Помити руки, при можливості прийняти душ.

#### **6.5. Відповідальність за порушення вимог охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях**

Особи, винні за порушення вимог, несуть відповідальність згідно чинного законодавства України.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і вирішення наукового завдання інтенсифікації процесу очищення ЗС, яке ґрунтується на моделюванні руху двофазного попередньо-розширеного сипкого середовища та дозволяє визначати закономірності, розробити математичні вирази і методи оптимізації технологічних показників роботи ПСК барабанних зернових сепараторів, створити та обґрунтувати параметри ПСК з розширвальним пристроєм, впровадити їх у серійне виробництво.

1. На підставі оцінки і проведеного аналізу результатів досліджень щодо збільшення продуктивності барабанних сепараторів встановлено, що існуючі ПСК не задовольняють зростаючі вимоги виробництва та мають занижені показники їх питомого завантаження. Для цього запропоновано використати розроблений ПСК з розширвальним пристроєм, що має нахилену повітропроникну лускату поверхню. Моделювання руху ЗС в робочих зонах розробленого ПСК ґрунтується на взаємодії фаз суцільних середовищ за реологічними законами з урахуванням попереднього розширення ЗС. Розробка теоретичних та експериментальних методів, обґрунтування параметрів розробленого ПСК дозволить інтенсифікувати процес очищення ЗС та підвищити продуктивність барабанних сепараторів.

2. Побудовані рівняння руху двофазного полідисперсного середовища, за допомогою яких встановлені закономірності швидкості руху частинок ЗС та коефіцієнту їх розширення на лускатій повітропроникній поверхні. Обґрунтовані умови та параметри псевдозрідження ЗС, які визначають ефективність їх розширення на пристрої ПСК. Встановлено, що збільшення швидкості продування ЗС повітряним потоком на лускатій поверхні розробленого ПСК, зменшення щільності частинок ЗС та висоти її шару, в діапазонах що досліджуються, підвищують коефіцієнти розширення на 20...35%.

3. Для розрахунку і керування продуктивністю процесу очищення ЗС побудовані математичні моделі: руху псевдозрідженої ЗС по повітропроникній лускатій поверхні; руху попередньо-розширеної ЗС у вертикальному ПСК барабанних зернових сепараторів.

4. Отримані закономірності зміни коефіцієнтів розшарування та очищення ЗС, траєкторії руху частинок домішок. Визначено, що використання попереднього розшарування ЗС культур що досліджувались, підвищує коефіцієнти їх очищення в розробленому ПСК на 18,3...47% до 0,68...1, порівняно з базовою конструкцією. Встановлено, що варіювання щільності та розмірів частинок домішок ЗС призводить до зміни коефіцієнтів їх очищення розробленим ПСК на 4...44%.

5. Запропонований метод визначення швидкості та траєкторій компонентів ЗС в робочих зонах розробленого ПСК, який ґрунтується на відеозйомці руху частинок ЗС з застосуванням трубки Піто, мікроманометра і анемометра Testo 416. Експериментально підтверджено їх перерозподіл до верхніх підшарів ЗС під дією повітряного потоку та лусок, який забезпечує розшарування. За умови псевдозрідження ЗС та її максимального розшарування рекомендовані діапазони варіювання параметрів розробленого ПСК: довжини повітропроникної поверхні 0,4...0,5 м; швидкості повітряного потоку 2,5...3,5 м/с; кута нахилу повітропроникної поверхні  $\theta=40...45^\circ$ . Розбіжність результатів досліджень не перевищує 3,5 %, що підтверджує адекватність розроблених наукових положень.

6. Запропонованими методами експериментально ідентифіковані діапазони варіювання значущих параметрів процесу очищення ЗС: пористості та розмірів частинок компонентів ЗС. Визначені діапазони варіювання пористості ЗС, які досліджувались: пшениці 0,48...0,56; кукурудзи 0,54...0,63; соняшнику 0,57...0,65. Використання розшарувального пристрою розробленого ПСК призводить до збільшення пористості ЗС на 12,2...17%, що підтверджує можливість інтенсифікації процесу їх очищення.

7. Встановлені залежності ефективності процесу очищення ЗС за умови їх попереднього розшарування на розробленому ПСК. Визначено, що збільшення швидкості повітряного потоку, в діапазонах що досліджується, підвищує коефіцієнт розшарування ЗС на 9,3...21 %. Встановлені діапазони варіювання коефіцієнтів розшарування для ЗС: пшениці  $k_1=0,23...0,9$ ; соняшнику  $k_1=0,12...0,22$ ; кукурудзи  $k_1=0,24...0,48$ . Підвищення продуктивності розробленого ПСК при очищенні попередньо розшарованих ЗС склало 3...42%, порівняно з базовою конструкцією.

8. В результаті проведення багатofакторного експерименту процесу очищення ЗС рекомендовані наступні раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів розробленого ПСК: кут нахилу повітропроникної поверхні  $\theta=41\dots43^{\circ}$ ; довжина повітропроникної поверхні  $L=0,43\dots0,47$  м; швидкість повітряного потоку  $u=2,3\dots2,7$  м/с; швидкість повітряного потоку у вертикальному каналі  $U=6,1\dots6,7$  м/с; ширина вертикального каналу  $B=0,21\dots0,3$  м. Встановлено, що за визначеними параметрами коефіцієнт розшарування ЗС пшениці складає  $k_1=30,53\dots31,75$  %, а коефіцієнт її очищення розробленим ПСК –  $k_2=92,15\dots99,29$ %.

9. За результатами досліджень розроблено нормативно-технічну документацію на ПСК, яка впроваджена для виробництва на ПП «Квін-Майстер». Виробничими випробуваннями розробленого ПСК встановлено, що ефективність процесу очищення ЗС від легких домішок підвищується на 30...40% до 80...96%, що забезпечує збільшення продуктивності барабанних сепараторів КБС 1270.4.00 на 23,5...29%. Визначено, що інтенсифікація процесу очищення ЗС, за рахунок використання розробленого ПСК, супроводжується зниженням питомих енергетичних витрат на металоємностей на 13 % та 25 %, відповідно.

Загальний щорічний економічний ефект від застосування модернізованого сепаратора КБС 1270.4.00 у виробничих умовах складе 71,25 тис. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдуєв М.М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2007. 296 с.
2. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов для внесения минеральных удобрений: монография. К.: Аграр. наука, 2010. 178 с.
3. Борщ Ю.П. Експериментальна ідентифікація динаміки зернових сумішей у робочій зоні розробленого пневмосепаруючого каналу. *Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів (присвяченій 40-річчю Сумського НАУ)*. В 3 т./Т.ІІІ. Суми, 2017. С.62.
4. Борщ Ю.П. Теорія пневмосепарації зернових сумішей з його попереднім розшаруванням. *Розумна агротехніка для ефективного землеробства: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції-форуму*. Харків: ХНТУСГ, 2016. С. 52 – 55.
5. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В.Нестеренко. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград, 2006. Вип.17. С. 44 – 48.
6. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
7. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Національний стандарт України. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 23 с.
8. Експериментальне визначення параметрів зернової суміші при псевдозрідженні на повітропроникних поверхнях пневмосепаруючих пристроїв / Борщ Ю.П. та ін. *Вісник ХНТУСГ*. 2015. Вип. 157. С.192 – 197.
9. Експериментальне дослідження порівняльних характеристик сепараторів у вигляді вертикального та нахиленого каналів / Абдуєв М.М., Бакум М.В. та ін. *Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник ХДТУСГ*. Харків: ХДТУСГ, 2004. Вип. 24. С. 106 – 110.

10. Єрмак В.П. Вдосконалення способу сепарування насіння соняшника у повітряних потоках: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.11 / Луганський національний аграрний університет. Луганськ, 2003. 18 с.
11. Костюк В.Є., Кирилаш О.І. Математичне моделювання течії повітря в камері аспіраційній БСХ-100.20 модифікованої конструкції. Звіт про розробку НТП. Хорол, 2015. 19 с.
12. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2004. №3 (35). С. 61 – 63.
13. Котов Б.І., Степаненко С.П., Швидя В.О. Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском. *Зб. Наук. праць Кіровоградського національного технічного університету*. Кіровоград: КНТУ, 2010. Вип. 23. С. 250 – 257.
14. Ловейкин В.С., Кулик В.П. Динамічний аналіз робочих органів зерноочисних машин з рекупераційним приводом. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2009. Вип. 77. С. 316 – 323.
15. Малюта С.И. Обоснование технологического процесса и параметров семеноочистительной пневмоцентрифуги: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.20.01. Глеваха, 1989. 21 с.
16. Методичні рекомендації з оплати праці робітників сільськогосподарських підприємств на збиранні зернових культур урожаю 2015р.  
/ І.М. Демчак та ін. К.: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2015. 38 с.
17. Моделирование процессов зерновых сепараторов: монографія / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко и др. Харків: Міськдрук, 2010. 360 с.
18. Наукова школа академіка Василенка Петра Мефодійовича: монографія / Войтюк Д.Г., Вергунов В.А., Мудрук О.С., Деркач О.П. К.: Аграрна освіта, 2005. 72с.
19. Пастушенко С.И., Кузенко Д.В. Особенности гидродинамики криволинейных каналов сельскохозяйственного пневмотранспорта. *Механізація с.г. виробництва: Вісник ХДТУСГ*. Харків, 2004. Вип.29. С. 147 – 155.
20. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна/ О.В.

Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2012. Вип. 25, ч.І. С.49 – 53.

21. Програма «Зерно України – 2015». Київ: ДІА, 2011. 48 с.

22. Рослинництво України. Статичний збірник. Київ: Державна служба статистики, 2018. 222 с.

23. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Д.Г. Войтюк, та ін. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

24. Степаненко С.П. Підвищення ефективності вібропневматичних сепараторів зерна: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук:

05.05.11 / Глеваха, 2008. 20 с.

25. Теоретичні дослідження характеристик руху частинок у нахиленому повітряному каналі при зміні характеристик епюри швидкості повітря по висоті каналу / М.В. Бакум та ін. Вісник ХДТУСГ: Механізація сільського господарства. Харків: ХДТУСГ, 2003. Вип. 21. С. 88 – 94.

26. Харченко С.О. Обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку пилоосаджувальною камерою вібровідцентрових зернових сепараторів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.11 / ХНТУСГ ім. П.Василенка. Харків, 2007. 20 с.

27. Харченко С.О., Борщ Ю.П., Абдуєв М.М. Ефективність розшарування зернових сумішей при їх очищенні в пневмосепарувальних каналах зернових сепараторів. *Загальнодержавний міжвідомчий збірник: Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. Вип.47, Ч.1. С. 253 – 260.

28. Харченко С.О., Борщ Ю.П., Сліпченко М.В. Експериментальні дослідження повітропроникної розшаруючої поверхні розробленого пневмосепаруючого пристрою зернових сепараторі. *Вісник ХНТУСГ*. 2015. Вип. 156. С.196 – 203.

29. Шушляков О.В. Підвищення ефективності сухої очистки газів за допомогою інерційних апаратів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.23.03/ Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури. Харків, 2004. 37 с.

30. Машина для очищення насіння: пат. 4747 Україна: МПК В07В 1/26, В07В 7/083. № а 2004 021150; заявл. 17.02.04; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.
31. Пневмосепаратор: пат. 101068 U Україна: МПК В07В 4/00. № u 2015 01888; заявл. 03.03.15; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16. 4 с.
32. Спосіб визначення розмірів насіння: пат: 101069 U Україна, МПК G01В 11/00, G01В 11/02. № u 2015 01890; заявл.03.03.15; опубл. 25.08.2015, Бюл.№16. 4 с.
33. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding / O. V. Nesterenko, S. M. Leshchenko, O. M. Vasylykovskiy, D. I. Petrenko. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 53, №3. Romania, Bucharest: INMA, 2017. P. 65 – 70.
34. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. N.Y., 1922. 464 p.
35. Cimbria DELTA Combi Cleaner 157: веб-сайт. URL: [https://www.nexeed.ca/wp-content/uploads/2016/09/157\\_Combi\\_cleaner\\_157.pdf](https://www.nexeed.ca/wp-content/uploads/2016/09/157_Combi_cleaner_157.pdf).
36. Kotov B., Kalinichenko R., Spirin A. Mathematical modeling of heat and mass transfer process under heat treatment of grain materials in dense layer. ТЕКА. Lublin. 2016. Vol. 16. №4. P. 35 – 42.
37. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream / Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I.. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62. P. 56 – 63.
38. Screen Cleaners NSD1, 2 & 3 веб-сайт. URL: [http://www.denis.fr/media/dnsd\\_123\\_uk\\_07\\_2016\\_047508300\\_1451\\_21042017.pdf](http://www.denis.fr/media/dnsd_123_uk_07_2016_047508300_1451_21042017.pdf).
39. Stepanenko S.P. Research pneumatic gravity separation grain materials. *Mechanization in agriculture, conserving of the resources*. Bulgarian association of mechanization in agriculture. 2017. Vol.2. P.54 – 56.
40. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ, 2025. - 52с.

## ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ  
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»  
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

# ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ ТА МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

*«Перші наукові кроки – 2025»*

*17 квітня 2025 р.*



*Кам'янець-Подільський  
2025*

УДК 378, 147

П26

Конференція зареєстрована в ДНУ «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»  
(посвідчення №657 від 02 грудня 2024 року)

Рекомендовано до опублікування вченою радою Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»  
(протокол № 6 від 29 травня 2025 року)

**Рецензенти:**

Анатолій ТРИГУБА – доктор технічних наук, професор, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

Павло ПОПОВИЧ – доктор технічних наук, професор, Західноукраїнський національний університет;

Олег ТКАЧ – доктор сільськогосподарських наук, професор, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет».

**Редакційна колегія:**

ІВАНОВСЬКА Алла Миколаївна – в.о. ректора Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор юридичних наук, професор;

ЯСИНЕЦЬКА Ірина Анатоліївна – проректор з навчальної, науково-інноваційної та міжнародної діяльності Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор економічних наук, професор;

ЗАГНІТКО Лариса Анатоліївна – завідувач науково-дослідної частини Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат економічних наук, доцент;

ТКАЧУК Вадим Анатолійович – ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор економічних наук, відмінник аграрної освіти України, заслужений працівник освіти України;

Парубчак Іван Орестович – в.о. ректора Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, доктор наук з державного управління, професор;

ЩЕНКО Тетяна Дем'яніана – директор Державної установи «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти» Міністерства освіти і науки України, кандидат педагогічних наук, професор;

ПАНЦИР Юрій Іванович – декан інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент;

БРАТІШКО В'ячеслав В'ячеславович – декан механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор технічних наук, професор;

РУЖИЛО Зіновій Володимирович – декан факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України, кандидат технічних наук, доцент;

КОВАЛИШИН Степан Йосипович – декан факультету механіки і енергетики Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, кандидат технічних наук, професор;

ЗАГОРОДНИЙ Михайло Васильович – заступник директора з питань регіонального розвитку товариства з обмеженою відповідальністю «Компанія ЛАН»;

ПАЛАШЕВ Костянтин Олександрович – керівник товариства з обмеженою відповідальністю «БОСАЛ УКРАЇНА»;

КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович – відповідальний з наукової та міжнародної діяльності інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент;

ДУГАНЕЦЬ Віктор Іванович – завідувач кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор педагогічних наук, професор;

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович – завідувач кафедри технічного сервісу та загальнотехнічних дисциплін інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент;

РУДЬ Анатолій Володимирович – завідувач кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокіша інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор філософії в галузі технічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України;

ШЕЛУДЧЕНКО Лєся Сергіївна – завідувач кафедри транспортних технологій та засобів АПК інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор технічних наук, професор.

П26 **Перші наукові кроки – 2025:** збірник наукових праць XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (17 квітня 2025 р., м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2025. – 266 с.

Збірник містить наукові доповіді XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2025» (м. Кам'янець-Подільський, 17 квітня 2025 р.), які пов'язані з агроінженерією; агрономією; транспортними технологіями; автомобільним транспортом; інженерною механікою; електроенергетикою, енергетикою та електроелектричними системами в АПК; ветеринарною медициною і технологіями у тваринництві; харчовими технологіями.

Відповідальність за зміст і достовірність публікацій несуть автори наукових доповідей. Точка зору авторів публікацій можуть не співпадати з точкою зору редколегії збірника.

УДК 378,147

© Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025

© Колектив авторів, 2025

Дудко А. А. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ КОНСЕРВАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	33
Завалецький С. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСОСА .....	34
Камінський Д. І. МОДЕРНІЗОВАНА СІВАЛКА ДЛЯ СІВБИ СОНЯШНИКУ .....	35
Карпович О. Г. ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ .....	36
Кирильчук Н. В. УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРА .....	37
Кирилюк О. Р. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ ЯК ОБ'ЄКТА ОБРОБІТКУ .....	38
Кириченко Н. В. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ КАРТОПЛІ У МАЛИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ .....	39
Когун А. В. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН .....	40
Козак О. М. СХЕМА ДО РОЗРАХУНКУ ПРОСТОРУ РОБОЧОГО РУСЛА ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ .....	41
Контруль А. М. МЕТОДИКА ПОЧАТКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ КУКУРУДЗИ .....	42
Костан О.В. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ .....	43
Костенюк А. Ю. РОЗРОБКА МАШИНИ ТЕРТЯ ІЗ СПЕЦІАЛЬНИМ МОДУЛЕМ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ.....	44
Кравчик А. П. ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ГРАНУЛ В ОЧИЩЕННІ КОЛІС.....	45
Кушицький В. М. НАПЛАВЛЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ .....	46
Кушицький Ю. І. ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ОЧИСУЮЧИХ ЖНИВАРОК .....	47
Лобов А. КОМП'ЮТЕРНА ДІАГНОСТИКА АВТОМОБІЛІВ: ОБМЕЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ .....	48
Лубко А. О. СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ВІД ЛЕГКИХ ДОМШОК.....	49
Лубко Д. В. ВЛАСТИВОСТІ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ЯК ОБ'ЄКТА ОБРОБІТКУ .....	50
Лук'янов Н. Р. ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ДОЛОТ ЧИЗЕЛЯ.....	51
Лук'янов В. Р. СУТЬ ТА ВИМОГИ ДО ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ .....	52
Мавко Ю. В. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТНЬОГО, ЯКІ ЗДАВАЛИСЯ ФАНТАСТИКОЮ .....	53
Магдюк В. С. МОДЕРНІЗОВАНА ВИСАДКОСАДИЛЬНА МАШИНА.....	54

## СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ВІД ЛЕГКИХ ДОМІШОК

Лубко А. О., здобувач магістратури, спеціальності 208 «Агроінженерія».

Керівник к.т.н., доцент Дуганець В. І.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»



Очищення зернових сумішей від легких домішок є важливою і невід'ємною частиною технології обробки зерна, оскільки домішки можуть погіршувати якість продукції і знижувати її економічну вартість.

Тому існує кілька способів очищення, таких як: повітряне очищення (вентиляція); просіювання на решетах; сортування за допомогою відцентрових сил, а також теплове, оптичне, магнітне та вологе очищення.

Спосіб повітряного очищення або (вентиляція) використовує різницю в щільності зерна та легких домішок. Повітряний потік видаляє легші частки, такі як пил, соломку, сміття та інші дрібні легкі домішки. Повітряне очищення можна здійснювати за допомогою різних повітряних сепараторів, які використовують потік повітря для видалення легких часток або вентиляторів та циклонів, що застосовуються для більш ефективного відділення дрібних частинок від зерна.

Для просіювання використовують різні за розміром сита, завдяки яким відбувається розділення зерна від домішок. Сита зазвичай мають різний розмір отворів, що дозволяє виділити домішки, більші або менші за розміри зерна.

В процесі просіювання можна використовувати як механічні сита, що видаляють дрібні і великі домішки, залежно від розміру отворів сит, так і магнітні, за допомогою яких можна видаляти металеві домішки.

Наступний спосіб є сортування за допомогою відцентрових сил. Такий спосіб базується на використанні відцентрової сили для відокремлення домішок за допомогою спеціальних механізмів (сепараторів). За допомогою цього способу можна ефективно розділяти частинки, які мають різну щільність.

Стосовно теплового очищення, то у деяких випадках застосовують теплову обробку, для відокремлення домішок від зерна. Наприклад, теплові пістолети або гарячі потоки повітря можуть використовуватись для видалення пилу або знищення органічних домішок.

Для розділення зернових сумішей від легких домішок також використовується оптичне очищення.

Таке очищення засноване на використанні оптичних датчиків для розпізнавання зерен і домішок. За допомогою спеціальних камер та датчиків окремі домішки, що мають відмінні від зерна кольори або текстуру, можуть бути виявлені та видалені.

Окрім вище приведених способів розділення зернових сумішей також можна відмітити і магнітне очищення, за допомогою якого є можливість видалення металевих частинок з зерна за допомогою магнітних сепараторів. Це особливо важливо для забезпечення безпеки обробки та зберігання зерна.

Також використовують спосіб вологого очищення зерна шляхом вологої обробки, при якій зерно промивають водою або обробляють паром для видалення легких домішок, таких як пил, бруд або органічні частки.

Комбінація таких способів дозволяє досягти високої ефективності очищення зерна від різноманітних домішок. Кожен спосіб обирається в залежності від типу зернової суміші, характеру домішок та вимог до якості кінцевого продукту.