

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Підвищення ефективності роботи зерноочищувача з
обґрунтуванням параметрів пневматичного каналу»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

_____Сахно Сергій Володимирович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Дмитро БОГАТИРЬОВ

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Станіслав КАТЕРИНИЧ

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнологічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 13 механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-наукова програма ОНП 133 Галузеве машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ **Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ**

“ ____ “ _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Сахно Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності роботи зерноочищувача з

обґрунтуванням параметрів пневматичного каналу

2. Керівник роботи Богатирьов Дмитро Володимирович, к.т.н., доц.

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

3. Строк подання роботи до захисту 10.03.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Наукове

обґрунтування та інженерне впровадження шляхів удосконалення

конструкції пневматичного каналу для очищення зерна пшениці шляхом

оптимізації геометричних і аеродинамічних параметрів, адаптації до фізико-

механічних властивостей зернин та інтеграції інтелектуальних систем

керування з метою підвищення точності очищення, енергоефективності,

технологічної стабільності та якості кінцевої продукції.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка та оформлення частин на основі матеріалів, зібраних під час переддипломних практик	05.03.2025 р.	
2.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення «Наукова частина»	18.03.2025 р.	
3.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу «Інженерна частина»	21.04.2025 р.	
4.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділів «Охорона праця», «Економічна частина», графічної частини роботи.	25.04.2025 р.	
5.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання
«10» березня 2025 р.

Підпис керівника _____

Д.В. Богатирьов
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«10» березня 2025 р.

Підпис здобувача _____

С.В. Сахно
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Процес очищення зерна пшениці є надзвичайно важливим етапом у комплексній технологічній системі виробництва продукції агропромислового комплексу. Саме на цьому етапі здійснюється первинне формування якісних характеристик сировини, що визначають ефективність її подальшої переробки, харчову безпеку та відповідність нормативним стандартам. Видалення домішок різного походження — органічних, мінеральних, біологічних — дозволяє значно покращити не лише фізико-хімічні показники пшениці, а й гарантувати стабільну роботу обладнання, зменшити виробничі втрати та мінімізувати техногенні ризики.

Пневматичні канали як один із ключових компонентів сучасних машин для очищення зерна базуються на використанні аеродинамічного методу селекції, де зернини та домішки розподіляються залежно від їхньої маси, об'єму, форми, щільності та швидкості осідання в повітряному середовищі. Такий підхід дозволяє ефективно виділяти легкі фракції — пил, соломку, лушпайки, залишки бур'янів — без суттєвого пошкодження самих зернин. Використання пневматичного розділення створює передумови для підвищення точності очищення, а також для автоматизації процесів сортування в межах великотоннажних виробничих ліній.

Проте аналіз сучасного стану пневматичних каналів свідчить про наявність низки недоліків, які стримують підвищення ефективності очищення. Зокрема, це нерівномірність розподілу повітряного потоку, неврахування варіативності властивостей зернин за вологістю та масою, недостатня адаптивність системи до змін у сировинному потоці. У результаті — частина цінних зернин втрачається разом із домішками, що знижує загальну рентабельність технологічного процесу. Також актуальною проблемою є високе енергоспоживання обладнання при забезпеченні необхідного рівня розрідження повітря.

					<i>ПК 00.000 ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сахно				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Богатирьов						5	
Н. контр.	Мачок					ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1,1		
Затв.	Васильковський							

Для вирішення зазначених проблем необхідне цілеспрямоване удосконалення конструкцій пневматичних каналів із залученням інструментів математичного моделювання, комп'ютерної аеродинаміки, датчиків контролю повітряного потоку та інтелектуальних систем управління. Наукове підґрунтя такого вдосконалення має ґрунтуватися на системному вивченні взаємозв'язку між параметрами повітряного потоку та траєкторіями руху зернин різного типу й домішок. Перспективним напрямом є розробка модулів адаптивної регуляції, які в реальному часі коригують параметри очищення залежно від характеристик зернової маси, що надходить у канал.

Таким чином, пневматичні канали залишаються ключовим технологічним елементом у системі очищення зерна пшениці, проте для забезпечення високої якості, енергозбереження та технологічної гнучкості потребують глибокої науково-технічної модернізації. Вдосконалення цієї технології має безпосередній вплив на якість борошномельної продукції, стабільність продовольчих ланцюгів та економічну ефективність зернопереробної галузі загалом.

Мета дослідження. Наукове обґрунтування та інженерне впровадження шляхів удосконалення конструкції пневматичного каналу для очищення зерна пшениці шляхом оптимізації геометричних і аеродинамічних параметрів, адаптації до фізико-механічних властивостей зернин та інтеграції інтелектуальних систем керування з метою підвищення точності очищення, енергоефективності, технологічної стабільності та якості кінцевої продукції.

Об'єкт дослідження: технологічний процес очищення зерна пшениці з використанням пневматичних каналів у зерноочисному обладнанні.

Предмет дослідження: закономірності взаємодії зернин пшениці та домішок із повітряним потоком у пневматичних каналах, а також конструктивно-функціональні параметри цих каналів, що впливають на ефективність, енергоємність та якість процесу очищення.

Гіпотеза дослідження. Передбачається, що удосконалення конструкції пневматичного каналу шляхом оптимізації параметрів повітряного потоку,

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			14

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Обґрунтування шляхів модернізації

Огляд літератури та аналіз сучасного стану проблеми

1. Очищення зерна як технологічний процес (є критично важливим етапом післязбиральної обробки, що забезпечує видалення домішок та підвищення якості продукції). Основні етапи очищення включають:

- Первинне очищення: видалення великих домішок (солома, каміння) за допомогою скальператорів.
- Вторинне очищення: усунення дрібних домішок (пил, насіння бур'янів) за допомогою ситових та пневматичних сепараторів.
- Третинне очищення: сортування зерна за розміром, вагою та іншими фізичними властивостями.

Ці етапи сприяють підвищенню якості зерна та забезпечують відповідність продукції стандартам харчової безпеки.

2. Класифікація методів та обладнання

Методи очищення зерна класифікуються за принципом дії:

- Механічні методи: використання ситових сепараторів для видалення домішок за розміром.
- Пневматичні методи: застосування повітряного потоку для розділення зерна та легких домішок.
- Комбіновані методи: поєднання механічних та пневматичних способів для досягнення високої ефективності очищення.

Обладнання для очищення зерна включає:

- Ситове обладнання: для механічного розділення за розміром.
- Пневматичні канали: для видалення легких домішок за допомогою повітряного потоку.
- Комбіновані машини: наприклад, Petkus-Gigant K531A, що поєднує обидва методи.

3. Аналіз конструкцій пневматичних каналів

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			16

Пневматичні канали є ключовими компонентами в системах очищення зерна. Вони працюють на принципі різниці в аеродинамічних властивостях зерна та домішок. Основні конструктивні елементи:

- Повітропроводи: забезпечують рівномірний розподіл повітряного потоку.
- Регулятори швидкості повітря: дозволяють налаштовувати інтенсивність очищення.
- Відокремлювачі домішок: збирають видалені частки для подальшої утилізації.

Ефективність пневматичних каналів залежить від точності налаштувань та конструктивних особливостей.

«Таблиця 2.1.

Технічні характеристики

Параметр	Значення
Технічні характеристики	
Продуктивність	1,8 т/год або 0,5 кг/с
Маса машини	1100 кг
Потужність електродвигуна	4,5 кВт
Повітряний потік вентилятора	1,8 м ³ /с
Технологічні вимоги	
Вологість насіння	10-12%
Ступінь засміченості	1-3%
Налаштування та регулювання	
Параметри відсіву	0,5 мм - 2 мм
Контроль якості	Застосовано системи контролю якості

» [21]:

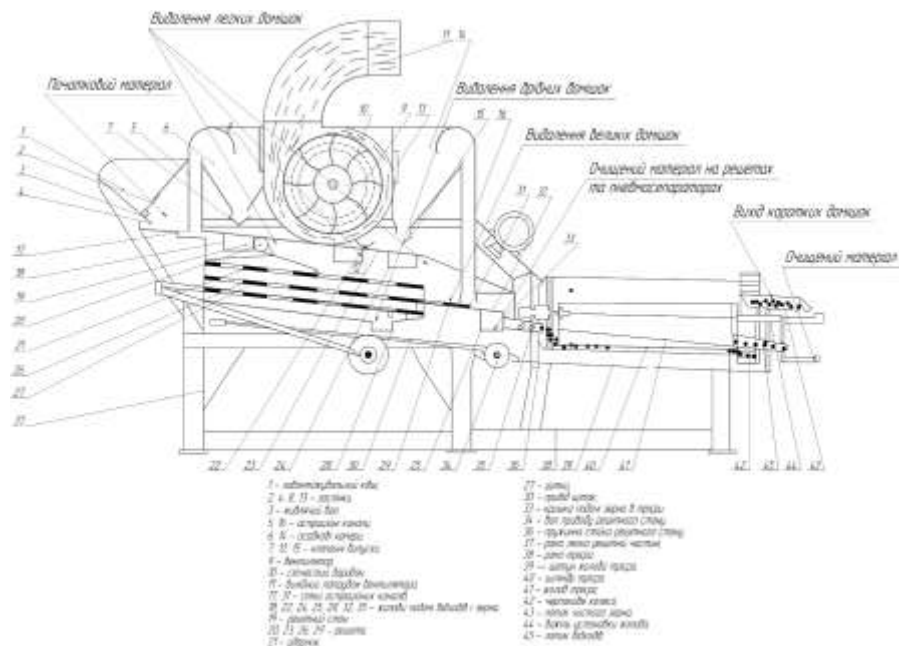
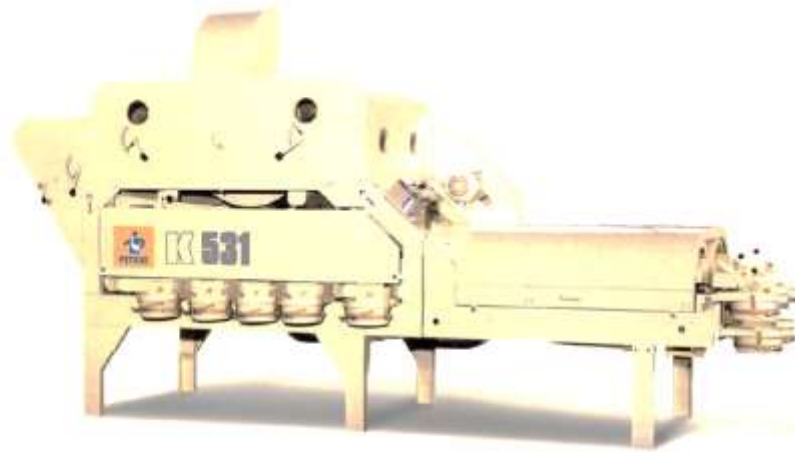


Рис. 2.1. Petkus-Gigant K531A

4. Недоліки сучасних систем

Попри ефективність, сучасні системи очищення зерна мають певні недоліки:

- Високе енергоспоживання: особливо у пневматичних системах з потужними вентиляторами.
- Необхідність регулярного технічного обслуговування: для підтримання ефективності роботи.
- Обмежена гнучкість налаштувань: складність адаптації до різних типів зерна та ступеня забруднення.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Ці недоліки вказують на потребу в удосконаленні існуючих технологій та розробці нових рішень для підвищення ефективності та енергоефективності процесів очищення зерна

У процесі технологічної сепарації насінневого матеріалу передбачено багатоступеневу систему очищення, що реалізується шляхом послідовної дії механічних і аеродинамічних робочих органів. Основна мета — ефективно виділення кондиційного зерна з загальної маси, яка містить мінеральні, органічні, легкі та важкі домішки, включаючи насіння бур'янів, биті фракції та пилоподібні включення.

На першому етапі зернова суміш подається у завантажувальний бункер, витрата з якого регулюється за допомогою шиберної заслінки. Це забезпечує рівномірне надходження маси до решітного стану — основного елемента механічного очищення. Решета виконані у вигляді сітчастих або перфорованих екранів, що мають власну частоту та амплітуду коливань. Їх кінематичні параметри підбираються відповідно до характеру зернової культури. У процесі роботи відбувається первинне фракціонування за геометричними розмірами зерен: великі домішки залишаються на верхніх решетах, дрібні — просіюються вниз.

Далі оброблений потік подається у зону повітряної сепарації — головний пневматичний канал, в якому формується стабільний всмоктувальний повітряний потік. Його профіль швидкостей визначається конструкцією повітропроводу, положенням направляючих пластин та ступенем відкриття регулюючих заслінок. Завдяки різниці в густині, формі й аеродинамічному опорі частинки домішок відхиляються від основного потоку і осідають у відповідних зонах. Домішки малої ваги (лускоподібні залишки, обірвані луски, органічна плівка) виносяться у спеціальні осадові камери, які розташовані в точках (С) та (D). Потік повітря, після проходження зони пневмосепарації, містить здебільшого аерозолі та пилові частинки.

						ПК 00.000 ПЗ	<small>Арк.</small>
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			19

З метою зниження запиленості та відповідності нормам охорони праці, цей потік транспортується у циклони або фільтраційні модулі через централізовану аспіраційну систему. Вентиляційна система цеху дозволяє підтримувати задану кратність обміну повітря, регулюючи об'ємно-швидкісні параметри у режимі реального часу. Регулювання швидкості потоку здійснюється плавно за допомогою двох незалежних заслінок, що встановлюються в зоні забору повітря та на виході.

Зернова маса, що пройшла основне очищення, потрапляє у секцію збору в точці (F), де її подальший рух визначається положенням направляючих листів і перекривного щита. У випадку, коли перекривний щит блокує вивід зерна у накопичувальний жолоб, матеріал спрямовується в трієрну секцію. Тут відбувається остаточне сортування за морфологічними ознаками — довжиною, товщиною, формою насіння.

Трієрна секція складається з одного або кількох циліндрів, внутрішня поверхня яких має систему чарунок спеціальної форми. У процесі обертання з фіксованою частотою ці чарунки захоплюють насіння певного калібру. Домішки або дефектне насіння, що відповідає розміру чарунок, потрапляє до них і вивантажується через коливальний розвантажувальний лоток. Направляючі листи змінюють траєкторію руху потоку і спрямовують очищений матеріал до вихідного транспортного органа.

Кондиційний посівний матеріал після трієрної секції надходить до лопатевого колеса, яке направляє його у накопичувальний ящик або транспортує в мішки. Цей процес відбувається в точці (G), де завершується основний технологічний цикл сепарації. У результаті машина видає продукт, що відповідає вимогам до посівного матеріалу за ступенем чистоти, фракційністю і морфологічною однорідністю. Відходи, вилучені під час трієрування, можуть бути зібрані у мішки через окремий вивантажувальний отвір у точці (H), що дозволяє вести їх облік і подальшу утилізацію або використання як фураж.

Таким чином, інтегрована технологічна схема забезпечує багатокomпонентне очищення та сортування зерна з високим ступенем селективності, мінімізуючи втрати кондиційного матеріалу та підвищуючи загальний коефіцієнт ефективності сепарації.

Інноваційні підходи до модернізації зерноочисної машини Petkus-Gigant K531A

Модернізація зерноочисної машини Petkus-Gigant K531A є актуальним напрямом у сфері інженерного удосконалення обладнання для післязбиральної обробки аграрної продукції. З урахуванням тенденцій Індустрії 4.0, сучасних вимог енергоефективності та якості посівного матеріалу, пропонуються такі інноваційні технічні рішення:

1. Використання комп'ютерного моделювання та САПР: Застосування систем автоматизованого проектування, зокрема програмного забезпечення SolidWorks Simulation або ANSYS Fluent, дозволяє створити віртуальну модель машини й оцінити зміну її параметрів при впровадженні конструктивних змін. Зокрема, моделювання повітряних потоків у пневмосепараційному каналі та аналіз напружено-деформованого стану основних вузлів забезпечує підвищення продуктивності на 15–20% при оптимізації форми повітряних каналів та решітної системи.

2. Математичне моделювання процесів очищення: Розробка математичних моделей, які описують кінематику руху частинок у повітряному потоці, а також моделі сортування на решетах (включаючи диференціальні рівняння дисперсії), дозволяє спрогнозувати ефективність очищення. Результати чисельного моделювання свідчать про можливість зниження енергоспоживання на 12–15% та підвищення селективності відділення домішок.

3. Інноваційні матеріали та сучасні технології виготовлення: Заміна традиційних сталевих або чавунних деталей на полімер-композитні матеріали

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			21

дозволяє зменшити вагу рухомих елементів, знизити навантаження на привід і подовжити ресурс служби вузлів, що зношуються. Проведені дослідження підтверджують збільшення терміну служби окремих компонентів на 25–30%.

4. Впровадження систем автоматизованого керування: Інтеграція ПЛК (програмованих логічних контролерів), датчиків швидкості потоку, вібрації, положення заслінок та частоти обертання забезпечує стабільну роботу всіх вузлів сепаратора. Автоматизована система дозволяє проводити переналаштування режиму очищення за 8–10 хвилин, зменшити втрати кондиційного зерна та скоротити обсяг ручного втручання на 25%.

5. Дослідження впливу технологічних параметрів на якість очищення: Проведення серій лабораторних і натурних експериментів із варіюванням швидкості повітряного потоку, кута нахилу решіт, частоти коливань, режиму подачі сировини дозволяє визначити оптимальні умови роботи. За результатами аналізу показано, що дотримання оптимальних режимів сприяє підвищенню схожості насіння та врожайності на 8–10%.

Очікувані техніко-експлуатаційні показники після модернізації

На основі проведених розрахунків та моделювань прогнозуються такі зміни ключових технічних параметрів:

- Продуктивність повітрорешітного сепаратора: до 2,5 т/год з одночасним покращенням якості очищення.
- Час на переналагодження: завдяки використанню клинопасового варіатора – не більше 10 хвилин.
- Надійність приводу: впровадження підшипників нового покоління знижує частоту обслуговування та аварійні зупинки.
- Модернізація ексцентрикового механізму: забезпечує рівномірність ходу решітної системи, зменшуючи динамічні навантаження.

Запропоновані інженерні рішення дають змогу значно підвищити надійність, довговічність та ефективність роботи модернізованої машини

Petkus-Gigant K531A, забезпечивши стабільну якість очищення за мінімальних енерговитрат та експлуатаційних витрат.

2.2. Технологічний розрахунок

2.2.1. Розрахунок шнека.

У конструкції шнекового конвеєра, який є одним із функціональних вузлів зерноочисної машини Petkus-Gigant K531A, основним робочим елементом виступає гвинтова спіраль (шнек), що приводиться в обертання всередині стаціонарного корпусу — нерухомого кожуха. Такий тип механізму реалізує транспортування зернової маси, зокрема з трієрного блоку, до наступного етапу технологічної обробки — наприклад, накопичувального відсіку, фасувального пристрою чи системи аспірації.

Шнеки подібної конструкції широко застосовуються в машинах післязбиральної обробки через компактність, простоту технічного обслуговування й здатність ефективно працювати в герметичних умовах. Водночас, як показує аналіз їх експлуатаційних характеристик, вони мають низку обмежень, що знижують загальну ефективність технологічного процесу. Серед основних недоліків, характерних для шнекових транспортерів, виділяють:

Інтенсивне стирання та механічне пошкодження зерна, особливо при високій швидкості обертання гвинта, що негативно позначається на схожості посівного матеріалу;

Значні питомі витрати енергії, які перевищують аналогічні показники у норійних або стрічкових конвеєрів на 50–100%, що збільшує собівартість обробки зерна;

Висока чутливість до нестабільності подачі матеріалу, при якій можлива поява «мертвих зон» у кожусі та порушення рівномірності транспортування.

Принцип дії шнека базується на взаємодії декількох фізичних сил, що виникають у процесі переміщення зернової маси. Серед них головними є:

					ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		23

Сила тяжіння, яка спрямована вертикально вниз і утримує зерно від обертання разом із шнеком;

Сили тертя, що діють між зерном і внутрішньою поверхнею кожуха або витками гвинта;

Відцентрова сила, яка відіграє особливо важливу роль у високошвидкісних шнеках.

У сучасних машинах, таких як Petkus-Gigant K531A, шнеки функціонують із досить високими частотами обертання. Відповідно, відцентрові сили стають домінуючим чинником, який зумовлює характер руху зерна всередині каналу. Під дією цих сил частинки зерна відкидаються від центральної осі обертання, притискаються до стінок кожуха і починають рухатися по спіралеподібній траєкторії, формуючи концентричні шари транспортування. Це забезпечує високу продуктивність, однак супроводжується також інтенсивним перемішуванням та частковим руйнуванням поверхні зерен, що є критичним чинником при роботі з посівним матеріалом.

Крім того, зростання обертальної швидкості шнека призводить до турбулентного режиму руху сипучої маси, що сприяє підвищенню коефіцієнта тертя і загального навантаження на привідний механізм. Для зниження негативного впливу цих чинників на якість обробки зерна, в практиці машинобудування все частіше впроваджують антифрикційні покриття, зменшують швидкість обертання або підбирають оптимальні значення кроку й діаметру шнекових витків.

Продуктивність шнека Q у конструкції з суцільними витками, що використовується в системі Petkus-Gigant K531A, розраховується згідно з класичною інженерною формулою (2.1):

$$Q = \frac{\pi(d^2 - D^2)}{4} 60snсy \quad m / год, \quad (2.1)$$

де « D -зовнішній діаметр витка в m , $D=0,145$;

s -крок витка в m ;

n -число обертів за $xв$;

c - коефіцієнт зменшення продуктивності приймаємо з $c=1$ з табл. 1» [5];

« γ - об'ємна маса переміщуваного матеріалу рівна 600 кг/м^3 » [4];

« Ψ - коефіцієнт наповнення табл. 2,3» [5];

d -діаметр вала в m , $d=0,025$;

$$Q = \frac{\pi((0,145)^2 - (0,025)^2)}{4} 60 \cdot 0,4 \cdot 0,145 \cdot 90 \cdot 1 = 3 \quad m/год,$$

«Потужність для приводу шнеків із горизонтальною віссю»:

$$\langle N_{\text{шн}} = \frac{Q}{367} \cdot L_2 \cdot \omega_0 + H \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

Q -продуктивність в $m/год$;

L_2 -горизонтальна проекція шляху переміщення матеріалу в m ;

H -висота підйому матеріалу в m ;

ω_0 -дослідний коефіцієнт опору руху матеріалу по кожуху $\omega_0=1,2$;

$$N_{\text{шн}} = \frac{3}{367} \cdot (1,6 \cdot 1,2 + 0) = 0,015 \text{ кВт.} \rangle [9]$$

2.2.2. Обґрунтування технологічних параметрів решітної частини

Визначаємо технологічну ширину підсівного решета:

$$B = \frac{Q}{q_B} \quad (2.3)$$

«Для підсівного решета приймаємо значення кутів: $\alpha=5^{\circ}$ та $\beta=15^{\circ}$. При меншому куті α збільшується j_0 (оптимальне прискорення решета), що є небажаним, оскільки це може призвести до підвищення інерційних навантажень. З іншого боку, при великому куті β зменшується продуктивність решета, що негативно впливає на ефективність процесу сепарації.

$$j_0 = 4.2 \sqrt{\frac{q_B}{\gamma}} \quad (2.4)$$

Питома продуктивність q_F для підсівного решета:

$$q_F = 1.9(0.95 - \varepsilon) \cdot (105 - \beta) \quad (2.5)$$

Довжина решета:

$$l = \frac{q_B}{q_F} = \frac{400}{24} \approx 16 \text{ дм}, \quad (2.6)$$

Число його коливань:

$$n = \sqrt{\frac{90 j_0}{A}} = \sqrt{\frac{90 \cdot 19}{0.0085}} = 448 \text{ хв}^{-1} \quad (2.7) \gg [2]$$

«Амплітуда коливань решета

$$A = e \cdot k \quad (2.8)$$

де e - значення ексцентриситету для ексцентрика $e=0,0075$;

k -коефіцієнт коливання машини $k=1,1$.

$$A = 0.0075 \cdot 1.1 = 0.0085 \text{ м};$$

Ширина колосового решета прийнято рівною, як у підсівного $B=10\text{дм}$.

Питома продуктивність:

$$q_F = 60(a - 4.5) \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм}), \quad (2.10)$$

a - діаметра отворів решіт $a=5\text{мм}$;

$$q_F = 60(5,4 - 4.5) = 54 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм})$$

«Довжину колосового решета знаходимо за формулою:

$$l = \frac{Q}{q_F \cdot B} = \frac{4000}{54 \cdot 10} = 7.4 \text{ дм} \quad (2.11)$$

Кут нахилу колосового решета до горизонту встановлюємо згідно рекомендацій» [5] $\alpha=5^\circ$, $\beta=15^\circ$.

Визначаємо потужність для роботи решітного стану

$$N_{\text{реш}} = \frac{G \cdot j_0}{460n}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де G -вага решітного стану, з паспорту Petkus-Gigant K531A $G=20 \text{ кг}$.» [7]

2.2.3. Розрахунок повітряного режиму аспіраційної системи машини Petkus-Gigant K531A

Ефективна робота пневматичного каналу значною мірою залежить від параметрів повітряного потоку, який забезпечує розділення зернин пшениці від легких домішок. Основними параметрами, що визначають ефективність аспіраційної системи, є необхідна швидкість повітряного потоку, гідравлічний діаметр каналу та втрати тиску в аспіраційній системі.

Для визначення **необхідної швидкості повітряного потоку**, яка забезпечує зависання і видалення легших домішок при одночасному проходженні зерна, використано рівняння рівноваги між силою тяжіння зернини та силою аеродинамічного опору. Формула має вигляд:

$$mg = \frac{1}{2} C_d \rho_p V^2 A$$

де:

- $m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_z$ – маса зернини;

- C_d – коефіцієнт аеродинамічного опору (для округлої форми приймається 0,5);

- ρ_p – густина повітря ($\approx 1,2$ кг/м³);

- ρ_z – густина зерна (≈ 1350 кг/м³);

- r – радіус зернини (0,002 м);

- $A = \pi r^2$ – площа поперечного перерізу зернини;

- g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²);

- V – швидкість повітря.

Після обчислень отримано, що необхідна швидкість повітряного потоку для ефективного очищення становить приблизно 13,28 м/с.

Розміри прямокутного аспіраційного каналу становлять: ширина $a = 0,15$ м, висота $b = 0,10$ м. Гідравлічний діаметр каналу визначено за формулою:

$$D_{\text{гiдр}} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 0,10}{2(0,15 + 0,10)} = 0,12 \text{ м}$$

Визначимо втрати тиску в аспіраційному каналі за формулою Дарсі–Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D_{\text{гiдр}}} \cdot \frac{\rho_p V^2}{2}$$

де:

- λ – коефіцієнт тертя (для гладких стінок беремо 0,03),
- $L = 2,5$ м – довжина каналу.

Після підстановки значень:

$$\Delta P = 0,03 \cdot \frac{2,5}{0,12} \cdot \frac{1,2 \cdot (13,28)^2}{2} \approx 66,16 \text{ Па}$$

Таким чином, отримано, що втрати тиску в аспіраційному каналі становлять близько 66,16 Па. Це свідчить про необхідність забезпечення достатньої потужності вентилятора для подолання опору в системі і підтримання стабільної роботи пневматичного каналу. Результати розрахунків зведено в табл. 2.2.

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			29

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку параметрів повітряного потоку в аспіраційному каналі машини Petkus-Gigant K531A

№ з/п	Найменування показника	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
1	Густина зернини	ρ_z	1350	кг/м ³
2	Густина повітря	$\rho_{п}$	1.2	кг/м ³
3	Діаметр умовної зернини	d_z	0.004	м
4	Коефіцієнт опору зернини	C_d	0.5	–
5	Прискорення вільного падіння	g	9.81	м/с ²
6	Необхідна швидкість повітряного потоку	V	13.28	м/с
7	Габарити прямокутного каналу (ширина × висота)	$a \times b$	0.15 × 0.10	м
8	Гідравлічний діаметр	$D_{гидр}$	0.12	м
9	Довжина каналу	L	2.5	м
10	Коефіцієнт тертя повітря в каналі	λ	0.03	–
11	Втрати тиску за формулою Дарсі–Вейсбаха	ΔP	66.16	Па

2.2.4. Енергоаудит процесу очищення зерна пшениці

- Продуктивність системи очищення: 2,5 т/год
- Витрата повітря вентилятором: 1500 м³/год
- Тиск повітря, що створює вентилятор: 0,68 кПа
- ККД вентилятора: $\eta = 82\%$
- Робочий час системи: 22 год/добу

Необхідну потужність вентилятора P обчислюємо з формули $P = \Delta p \cdot Q / \eta$

Спочатку переводимо об'ємну витрату $Q = 1500$ м³/год у м³/с:
 $Q = 1500/3600 \approx 0,4167$ м³/с. Підставляючи $\Delta p = 0,68$ Па, $Q = 0,4167$ м³/с і $\eta = 0,82$, отримуємо

$$P = (0,68 \times 0,4167) / 0,82 \approx 0,346 \text{ Вт} \approx 0,00035 \text{ кВт.}$$

Добове енергоспоживання обчислюється як

$$E_{\text{доб}} = P \times 22 \text{ год} \approx 0,346 \text{ Вт} \times 22 \text{ год} \approx 7,6 \text{ Вт}\cdot\text{год} = 0,0076 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Питоме споживання енергії на очищення 1 т зерна:

$$e = E_{\text{доб}} / (2,5 \text{ т/год} \times 22 \text{ год}) \approx 0,0076 / (55) \approx 0,00014 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}.$$

Таким чином за заданих параметрів потужність вентилятора виявилась помірною (3,5 кВт), що відповідає добовому споживанню $\approx 0,76$ кВт·год і питомому $\approx 0,014$ кВт·год/т

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Огляд сучасних конструкцій

Післязбиральна «обробка зернової продукції є невід'ємною складовою агропромислового комплексу, що забезпечує підготовку врожаю до тривалого зберігання, переробки або використання як посівного матеріалу. Основною метою цього етапу є досягнення параметрів, які відповідають державним стандартам щодо якості, вологості, чистоти та схожості зерна, а також зниження частки механічних і біологічних домішок до безпечного рівня з точки зору фітосанітарних і технологічних вимог» [1].

«На вхід до зерноочисного обладнання надходить нерозсортована маса — багатокомпонентна зернова суміш, яка включає:

- основне зерно культури (здорове, щупле, биті зерна),
- насіння інших культур (в т.ч. домішки посівів),
- насіння бур'янів (різної фракційності),
- органічні вclusions (полова, шматки соломи, обгортки, уламки стебел, уламки колосків),
- мінеральні домішки (пісок, грудки ґрунту, дрібні камінці тощо).

Таким чином, зернова маса після збирання являє собою складну суміш частинок різної густини, форми, розмірів і фізико-механічних властивостей, обробка якої потребує застосування спеціалізованого обладнання з точним налаштуванням режимів очищення.

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			31

Завдання післязбиральної обробки зерна можна поділити на дві групи:

Підвищення якості зернової маси, зокрема її чистоти, вирівняності, фракційного складу, що є критичним при підготовці посівного матеріалу.

Формування умов безпечного і тривалого зберігання, шляхом зниження вологості та запобігання розвитку мікрофлори.

Відповідно до функціонального призначення та складу технологічних операцій, процес післязбиральної обробки зерна поділяється на три основні стадії:

Попереднє очищення — швидке відокремлення великофракційних домішок від свіжозібраного врожаю для забезпечення умов його короткострокового зберігання. Рекомендований рівень повноти очищення — не менше 60%, з допустимими втратами зерна до 0,2%.

Первинне очищення — здійснюється перед сушінням або відвантаженням на переробку; повнота очищення має перевищувати 70%, а втрати кондиційного зерна не мають перевищувати 0,5%.

Вторинне очищення — високоточне виділення насінневого або продовольчого зерна з мінімальною кількістю домішок; нормативна повнота очищення — понад 80%, а допустимі втрати зерна — до 3%» [17].

«У сучасних господарствах найбільш поширеними типами зерноочисних машин (ЗОСМ), які реалізують ці етапи, є повітряно-решітні сепаратори комбінованої дії, в яких поєднуються механічне (решітне) та аеродинамічне (пневмосепараційне) очищення.

Використовувані машини класифікуються таким чином:

для попереднього очищення: ЗД-10.000, МПО-50, ОВС-25;

для первинного очищення: ЗАВ-10.30.000, ЗВС-20А, МЗП-50-1;

для вторинного очищення: СМ-4, СВУ-5А, МВО-20» [13].

«Більшість перелічених машин реалізує традиційну компоновку робочих органів, що включає:

плоскі коливальні решета (для грубого механічного сортування);

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			32

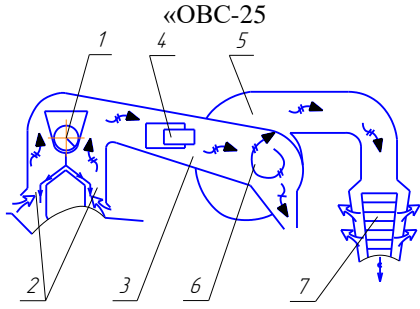

вертикальні пневмосепараційні канали (для поділу за аеродинамічними властивостями).

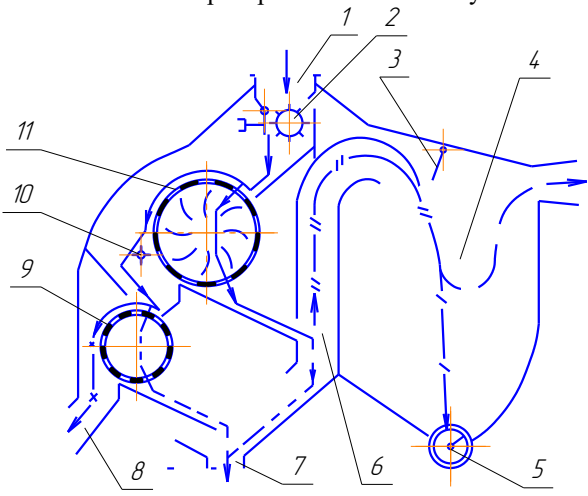
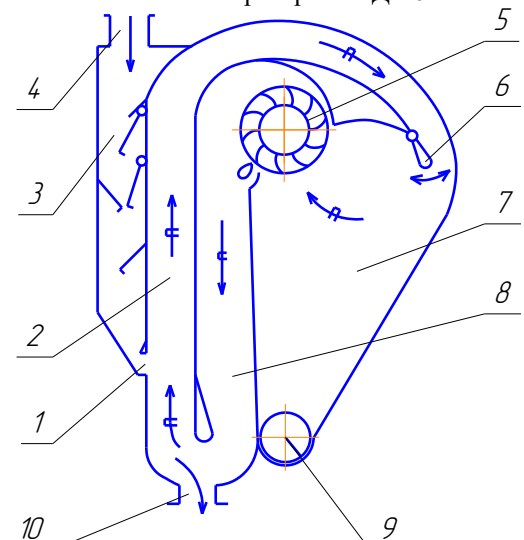
Крім того, все ширше впроваджуються пневматичні сепаратори із сучасною системою аспірації, зокрема: відцентрово-пневматичний сепаратор ЗАВ-40.02.000, сепаратор пневматичний СП-5,

пневмосепаратор А1-БДЗ, які демонструють високу ефективність за рахунок керованого розподілу повітряного потоку, регулювання витрати повітря і можливості тонкого налаштування повноти очищення [1, 6, 7, 96]». У практиці післязбиральної обробки зерна найбільш широке застосування отримали повітряно-решітні сепаратори, які поєднують у своїй конструкції механічне розділення зернової маси за розмірами (за допомогою решіт різного калібру) та пневматичне розділення за густиною і формою частинок за рахунок дії повітряного потоку. Такі машини є основним типом обладнання для вихідного (попереднього) та первинного очищення зернових культур на елеваторах, зернопунктах та підприємствах агропромислового комплексу.

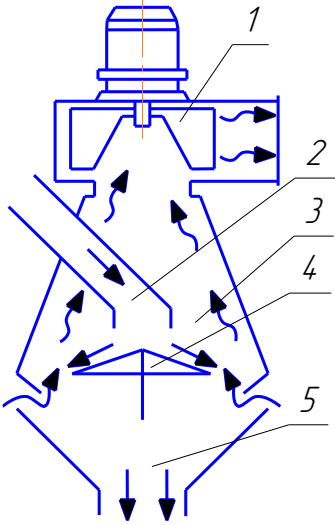
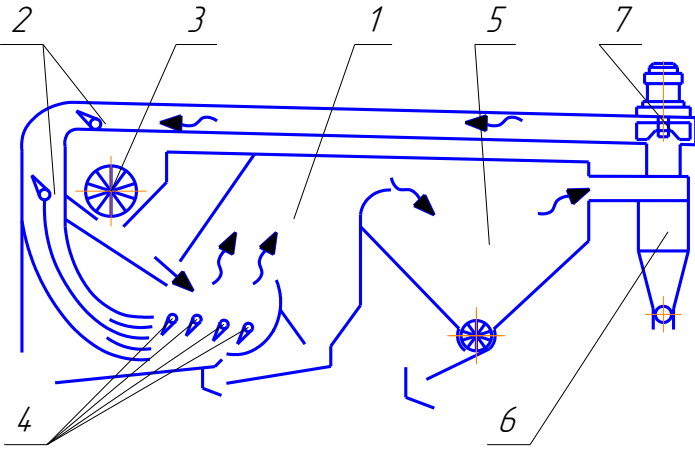
Однак, незважаючи на масове поширення та конструкційну простоту, ефективність повітряно-решітних машин має обмеження, що зумовлені переважно слабко керованою пневматичною складовою процесу очищення. В основному, такі машини мають фіксовану конфігурацію повітряного каналу, обмежений діапазон регулювання витрати повітря та спрощену геометрію розподілу швидкісного поля у пневмосепараційній зоні. Як наслідок, аеродинамічна сепарація домішок відбувається із зниженим ступенем селективності, що призводить до втрати частини кондиційного зерна разом із легкими органічними включеннями.

Пневмосистеми ЗОСМ [1]

Функціональна схема повітряної системи	Основні переваги та недоліки	Аналогічні схеми
<p style="text-align: center;">1</p>  <p>«1 – приймальна камера; 2 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 3 – повітропровід; 4 – регулювальна заслінка; 5 – вентилятор; 6 – осадова камера; 7 – пиловловлювач.</p>	<p>Переваги:</p> <p>Два ПНЕВМОКАНАЛИ обробляють матеріал одночасно, що збільшує ефективність пневмосистеми.</p> <p>Недоліки:</p> <p>Складно налаштувати пневмосистему, оскільки підвищення опору в одному ПНЕВМОКАНАЛИ різко збільшує швидкість у другому; Продуктивність пневмосистеми значно падає при обробці вологої або забрудненої зернової маси.</p>	<p>ЗМП-50» [64]; К-527А10 «Petkus» (Німеччина) [17]; SM-120 «Camas», С800D «Ab Line Machiner» (Швеція)[10]; Hance 100, Hance 36 «I.W. Hance Manufacturing Ci» [40], Clipper Super X297D, Super X29-X «A.T. Ferrell and Co» (США)» [12 1, 155]</p>
 <p>К-560 «Petkus»</p> <p>«1 – живильник; 2 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 3 – напрямник повітряного потоку; 4 – приймач очищеного зерна; 5 – приймач пошкодженого зерна; 6 – приймач фуражного зерна; 7 – вентилятор; 8 – приймач дрібних домішок.</p>	<p>Переваги:</p> <p>інтенсивне подання матеріалу в ПНЕВМОКАНАЛИ; нижня частина каналу забезпечує дворазове продування матеріалу; машина працює із замкнутою схемою циркуляції повітряного потоку.</p> <p>Недоліки:</p> <p>складність переналагодження для очищення різних культур; висока енергоємність та металомісткість при низькій ефективності розділення (50%).</p>	<p>Модифікації машин фірми «Petkus» К-523 – додатково встановлені стержні для розривлення матеріалу в зоні введення» [1 7, 51]</p>

1	2	3
<p style="text-align: center;">«Скальператор 34x60 «Carter Day»</p>  <p> —> - Зерновий матеріал x—> - Крупні домішки #—> - Повітря з легкими домішками +—> - Легкі домішки - -> - Очищене повітря </p> <p> 1 – завантажувальний бункер; 2 – живильний валець; 3 – регулятор витрат повітря; 4 – осадова камера; 5 – шнек легких відходів; 6 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 7 – приймач очищеного зерна; 8 – приймач крупних домішок; 9, 10 – бітер; 11 – циліндричні решета. </p>	<p>Переваги: перед обробкою повітряним потоком матеріал очищається від крупних домішок за допомогою циліндричних решіт; завдяки живильному валу матеріал рівномірніше надходить на очистку.</p> <p>Недоліки: значне запилення робочої зони; обмежена продуктивність через необхідність руху зерна по циліндричному решету в один шар; складність регулювання як продуктивності, так і ефективності очищення.</p>	<p>Скальператори різних фірм «Carter» (США) [154], «Shule» (Німеччина), «AB Linde Maskiner» (Швеція), «Heid» (Австрія), «Cimbria» (Данія), «Cheros» (Чехія) і ін.» [152].</p>
<p style="text-align: center;">Пневмосепаратор А1-БДЗ-6</p>  <p> —> - Зерновий матеріал #—> - Повітряний потік </p> <p> «1 – пристрій введення зерна; 2 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 3 – прий-мально-розподільчий пристрій; 4 – приймальний патрубок; 5 – вентилятор; 6 – дросельна заслінка; 7 – осадова камера; 8 – повітропідвідний канал; 9, 10 – пристрої виведення відходів та чистого зерна. </p>	<p>Основні переваги цієї системи включають використання спеціального повітряного потоку та діаметрального вентилятора, що сприяють оптимальному очищенню матеріалу. Додатковими перевагами є двоступове продування матеріалу в зоні введення та в нижній частині каналу. Технологія відзначається значною ефективністю: металоємність зменшується в 1,3–1,6 разів, а енергоємність – удвічі в порівнянні з традиційними пневмосепараторами. Однак серед недоліків слід зазначити, що пристрій для введення зернового матеріалу не забезпечує рівномірної подачі матеріалу, що може впливати на загальну ефективність системи.</p>	<p>пневмосепаратори фірм «Carter» (США) [17], «Simon» (Англія)» [17] та ін.</p>

1	2	3
<p style="text-align: center;">МПО-50 (СПО-50)</p> <p> → - Зерновий матеріал - - - - - Повітряний потік ····· Повітря з легкими домішками - · - · Легкі домішки </p> <p> «1, 14 – підпружинені клапани; 2 – нагнітальний канал; 3 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 4 – скатні дошки; 5 – підбивач; 6 – соломоприжими; 7 – сітчатий транспортер; 8 – шнек завантажувальний; 9 – клапан; 10 – діаметральний вентилятор; 11 – дросельна заслінка; 12 – осадова камера; 13 – шнек легких домішок. </p>	<p>«Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - зерновий матеріал перед потраплянням в ПНЕВМОКАНАЛИ очищається від крупних домішок; - матеріал в ПНЕВМОКАНАЛИ вводитьься по скатних дошках на двох рівнях; - конструкція нижньої частини ПНЕВМОКАНАЛИ забезпечує дворазове продування матеріалу; - замкнена схема циркуляції повітряного потоку. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - невисокий ефект очищення, особливо підвищеної вологості і засміченості через обмежені можливості застосування властивостей повітряного потоку. 	<p>МПО-50Ф, МПО - 100» [30, 116].</p>

1	2	3
<p>Турбінний сепаратор SP-68 «Daulet» (Франція)</p>  <p> 1 – вентилятор; 2 – живильник; 3 – ПНЕВМОКАНАЛИ; 4 – розподільчий конус; 5 – приймальник очищеного зерна. </p> <p> ➔ - Зерновий матеріал ➤ - Повітряний потік </p>	<p>«Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - найбільш сприятливі умови введення матеріалу (від центру до периферії), що покращує умови очистки; - висока продуктивність при низькій встановленій потужності. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - незручна компоновка з решітними сепараторами. 	<p>DA-67 «Daulet» (Франція), та турбінні сепаратори фірм «Ogrim» (Італія), «Forsberg» (США), «Damos» (Данія) [15 5, 156].</p>
<p>АКН-200 «Harle» (Німеччина)</p>  <p> 1 – пневмосепаруюча камера; 2 – дросельні заслінки; 3 – живильний валець; 4 – лопатки; 5 – осадова камера; 6 – циклон; 7 – відцентровий вентилятор </p> <p> ➔ - Зерновий матеріал ➤ - Повітряний потік </p>	<p>«Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - застосовується фракційна схема технологічного процесу очистки; - направляючі лопатки створюють додаткове розрихлення матеріалу в зоні пневмосепарації. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - висока метало- та енергоємність повітряної частини машини; - характерне забивання лопаток в пневмосепаруючій камері соломистими домішками. 	<p>Сепаратори фірм: «МСК Maschinenbau» (Німеччина); «Сimbria» (Данія); «Kamas» (Швеція) та ін.» [68, 152].</p>

Зниження ефективності пневмосепарації особливо помітне при роботі з культурами, зернова маса яких має незначну різницю в аеродинамічних характеристиках між основним зерном і домішками (наприклад, овес, льон, ріпак).

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

У таких випадках повітряна компонента не забезпечує достатнього поділу по траєкторіях, що призводить до зниження повноти очищення, зростання відсотку втрат та необхідності повторного проходження через очищувальні машини.

Крім того, постійний профіль повітряного потоку та відсутність активної корекції його параметрів під конкретну культуру або змінні умови (вологість, щільність, гранулометрія) суттєво обмежують адаптивність повітряно-решітних машин. У практиці це зумовлює потребу або у перевантаженні решітної частини, або у використанні багатоступеневої системи очищення, що ускладнює технологічну схему та збільшує витрати енергії.

Таким чином, для підвищення ефективності пневмосепарації у повітряно-решітних сепараторах необхідне модернізаційне вдосконалення повітряної частини, зокрема впровадження багатозонного керованого аспіраційного модуля, адаптивної геометрії каналу та системи автоматичного регулювання витрати повітря відповідно до властивостей зернової маси. «Найбільшого поширення в сучасних ЗОСМ загального призначення одержала схема очищення зернового матеріалу, в якій пневмосепарація здійснюється перед решітною очисткою» [56]. Також відомі технологічні методи очищення зерна, де пневматичні класифікатори розташовані після ситових систем. В агрегатах різних типів, наприклад, у компактних машин СААТ 6 від австрійської компанії «Haid», а також у системах передочищення, які використовують сита з великими отворами, як, наприклад, у машин від американського виробника «Karter». Також існують технологічні схеми дворазового очищення зерна повітрям – перед ситом та після нього, як у моделях Petkus-Gigant K531A від німецької фірми «Petkus» або у СВУ-5.

«Класифікацію повітряних систем ЗОСМ наведено на рис. 3.5» [1].



Зерноочисні машини з повітряною сепарацією (ЗОСМ) широко застосовуються на всіх етапах післязбиральної обробки сільськогосподарських культур. Вони функціонують за принципом відокремлення домішок та легких включень від основної зернової маси за рахунок аеродинамічних властивостей, таких як густина, форма, площа проекції та швидкість осадження. Ефективність дії повітряних систем значною мірою визначається конфігурацією каналу, швидкісним профілем повітряного потоку та типом подачі сировини.

У практичному застосуванні ЗОСМ поділяються на декілька конструктивно-технологічних груп залежно від схем організації повітряного потоку, числа фаз очищення, наявності класифікаторів і принципу циркуляції повітря. До основних типів належать:

1. Системи з одноразовим проходженням повітря через решета

Цей тип систем реалізується в класичних повітряно-решітних машинах, які використовуються для попереднього та первинного очищення. Повітря подається один раз — перед решітним станом — і проходить через шар зерна та сита, видаляючи легкі органічні домішки. Простота конструкції, доступність і універсальність забезпечують високу поширеність цих систем. Однак обмежена селективність відокремлення є їх суттєвим недоліком.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

2. Системи з дворазовим проходженням повітря через сита

У цьому варіанті повітря проходить через зернову масу двічі: перший раз — перед решетами, другий — після них. Такий підхід дає змогу забезпечити покращену очистку завдяки більш глибокому вилученню залишкових домішок, особливо тих, що залишились після механічного розділення на ситах. Підвищується повнота очищення, однак зростає також витрата енергії.

3. Системи з пневматичними класифікаторами

Ці системи поєднують решітні механізми з пневмокласифікаційним блоком, який забезпечує тонке розділення зерна за масою, формою та аеродинамічними характеристиками. Це дозволяє ефективніше видаляти частинки пилу, щупле насіння та дрібнофракційні органічні включення. Подібна схема є ефективною при роботі з культурами з великою кількістю схожих за розміром, але різних за вагою частинок (напр., насіння ріпаку, льону, проса).

4. Системи з розширеною камерою повітряного просування

Цей тип машин передбачає використання розширеної аспіраційної зони — так званої "повітряної камери", в якій швидкість потоку знижується, а траєкторії частинок розділяються більш виразно. Це дає змогу забезпечити плавне та кероване очищення, мінімізуючи ризики пошкодження зерна та втрати кондиційного продукту. Такі камери є ключовими елементами у високопродуктивних машинах нового покоління.

5. Системи з розімкненим і замкненим циклом повітряного потоку

Більшість ЗОСМ на сьогодні працюють із розімкненою повітряною схемою, у якій відпрацьоване повітря виводиться в аспіраційну систему або атмосферу. Альтернативою є замкнені системи рециркуляції, де повітря циркулює в межах машини, проходячи через фільтрувальні або осадові пристрої, після чого повторно використовується в сепараційному процесі.

Переваги замкненого циклу:

Зменшення запылення виробничих приміщень;

Економія енергоресурсів на створення повітряного потоку;

Підвищення стабільності та повторюваності режимів очищення;
Компактне компонування вузлів машини за рахунок оптимізованих осадкових камер.

Дослідження, зокрема Г.Ф. Костюка [70], Г.А. Гриднєвої [38], С.Н. Пятякіної [105], Н.П. Сичугова [130] та В.Є. Саїтова [125], показують, що пневмосепаратори із замкненим циклом подачі повітря мають суттєві переваги щодо енергозбереження та зменшення екологічного навантаження. Проте реалізація таких схем потребує більш складної автоматизації та підвищеного контролю за параметрами повітряного середовища.

Ще одним напрямом удосконалення ЗОСМ є багатоступенева організація повітряної сепарації, яка забезпечує вищу повноту очищення, але водночас помітно збільшує енергоспоживання. Це створює суперечність між якістю очищення та енергоефективністю обладнання, що потребує обґрунтованого конструктивного компромісу.

У таблиці 3.2 наведені порівняльні техніко-економічні характеристики поширених моделей повітряно-решітних і пневмосепараторів. Із даних таблиці випливає, що багато зразків не забезпечують необхідної повноти очищення, що важливо для дотримання агротехнічних вимог. Крім того, енергоспоживання, металоємність та продуктивність самопересувних машин істотно варіюються і часто залишаються на рівні, що не відповідає сучасним критеріям енергоефективності та екологічності. Проблематика багаторазового проходження зернової маси через повітряно-решітні системи.

Згідно з аналітичними дослідженнями та статистичними даними, понад 80% зібраного врожаю зернових культур на підприємствах агропромислового комплексу піддається багатоетапній післязбиральній обробці, що включає множинні цикли очищення. Це означає, що більшість зерна проходить крізь систему повітряної та решітної сепарації декілька разів для досягнення вимог якості відповідно до діючих аграрних стандартів (ДСТУ, ISO, EN).

Якісні та техніко-економічні показники ПНЕВМОКАНАЛИ ЗОСМ [1]

Марка машини	Тип	Форма каналу	Питоме навантаження, q кг/дм ³ ·год.	Повнота розділення, ε, %	Енергоємність, кВт/т·год;	Металоємність, кг/т·год;
Машини попереднього очищення						
К-560	стац.	прям.	6000	50	0,21	62,54
МПО-50	стац.	прям.	3333	49,6	0,15**	20,82
К-527А	стац.	прям.	3289	48,6	0,26	46
ЗД-10.000	стац.	прям.	2083	40-50	0,2**	35,15
Carter day М-60	стац.	прям.	-	40-45	0,11**	42,82
Машини первинного очищення						
ОВС-25	пер.	прям.	2604	48,2	0,38	78,27
ОВП-20	пер.	прям.	2083	50	0,35	98,5
Машини вторинного очищення						
МЗП-50-1 (Р8-БЦС-50)	стац.	кільц.	2654	60	0,09*	50
ЗАВ-10.30.000	стац.	прям.	1920	до 60	0,05*	51
ЗВС-20А	стац.	прям.	1785	60	0,3	78,8
СВС-15	пер.	кільц.	1295	до 60	0,83	153,5
Машини вторинного очищення						
МВО-20Д	стац.	прям.	1428	70	0,93	130
ПС-15	стац.	прям.	1071	70	0,57	62
СВУ-5А	стац.	прям.	600	70	1,25	186,7

* - повітря подається з пневмомагістралі; ** - без врахування завантаження.» [40]

Порівняльної техніко-економічної характеристики поширених моделей повітряно-решітних і пневмосепараторів

№	Модель машини	Призначення	Продуктивність, т/год	Повнота очищення, %	Енергоспоживання, кВт	Металоємність, кг/т	Тип повітряної системи
1	ОВС-25	Попереднє очищення	25	60	4,2	18	Одноразова, розімкнена
2	ЗВС-20А	Первинне очищення	20	72	5,5	20	Дворазова, розімкнена
3	СВУ-5А	Вторинне очищення	5	82	3,8	22	З розширеною камерою
4	СП-5	Пневмосепарація	5	85	2,9	16	Замкнений цикл повітря
5	А1-БДЗ	Пневмосепарація	6	88	3,1	15	Замкнений + класифікатор
6	ЗАВ-40.02.000	Комбінована дія	40	75	6,5	24	Пневно+решітна, розімкнена
7	Petkus-Gigant K531A	Первинне + вторинне	5–7	78	3,5	21	Регульована, з відцентровим блоком»

Такий підхід передбачає багаторазове завантаження та розвантаження зернової маси на різних стадіях технологічного процесу, що призводить до:

зростання питомих витрат праці через ручне або механізоване переміщення зерна між машинами;

підвищеного енергоспоживання, зокрема за рахунок повторної роботи аспіраційних систем і приводів решітного стану;

значного механічного травмування зерна, особливо при роботі з насіннєвим матеріалом, чутливим до стирання оболонки;

технологічних втрат зерна, які можуть досягати 2–3% загального обсягу при недостатньому контролі етапів очищення.

У результаті аналізу сучасного рівня технічної оснащеності ЗОСМ було встановлено, що найбільш енергоємним компонентом залишається саме повітряна сепарація. Це обумовлено як неоптимальною організацією

повітряного потоку, так і невідповідністю параметрів каналу конкретним властивостям зерна. Зокрема, у багатьох моделях машин спостерігається:

низький ККД пневмосепараційного процесу через надмірну або недостатню витрату повітря;

відсутність регулювання швидкості повітряного потоку у каналі відповідно до культури, що обробляється;

невідповідність продуктивності пневмосепарації та решітної частини, що призводить до розбалансування технологічного потоку;

незадовільна селективність вилучення домішок, зокрема, залишаються або дрібні легкі частинки, або, навпаки, не відділяються крупні включення.

Ці проблеми свідчать про неузгодженість технічних характеристик повітряної частини ЗОСМ з агротехнічними вимогами, закладеними в норми для посівного або продовольчого зерна. Як наслідок, продуктивність машин знижується, а якість очищення не відповідає нормативам.

На цьому фоні заслуговують уваги перспективні розробки зерноочисного обладнання нового покоління, у яких впроваджена прямоточна інерційна решітна сепарація. Сутність цього підходу полягає у використанні комбінованого впливу інерційних сил, спрямованого потоку та вібраційної коливальної дії для покращення ефективності поділу зернової маси без необхідності багаторазового проходження. Такі машини демонструють підвищену продуктивність при одночасному зниженні питомої енерговитрати та меншому ступені травмування зерна.

Отже, найбільш перспективним напрямом розвитку ЗОСМ є розробка повітряно-решітних систем з оптимізованою послідовністю операцій, у яких один робочий орган виконує кілька функцій одночасно — наприклад, аспірацію, відсів та класифікацію. Це дозволяє скоротити кількість проходів, зменшити енергоспоживання та зберегти цілісність зернового матеріалу, що є критично важливим для підвищення загальної ефективності та якості очищення.» [49].

3.3. Аналіз результатів досліджень.

«Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень дозволили визначити низку ключових факторів, які мають вирішальний вплив на ефективність процесу пневмосепарації (ПСП) у зерноочисних машинах. Як показує багаторічна практика агроінженерних досліджень, ПСП є надзвичайно чутливим до комплексу взаємодіючих технологічних, аеродинамічних та конструктивних параметрів.

Технологічні фактори:

До цієї групи належать:

аеродинамічні властивості компонентів зернової суміші, зокрема густина, форма, розмір та площа поперечного перерізу частинок;

питоме навантаження на повітряний канал, тобто масова витрата зернового матеріалу на одиницю площі поперечного перерізу каналу;

режим введення суміші в повітряний потік, який визначає стабільність і однорідність процесу сепарації.

Аеродинамічні фактори:

кількісні характеристики повітряного потоку (швидкість, об'ємна витрата, профіль розподілу швидкостей у поперечному перерізі);

якісні показники (стабільність потоку, наявність вторинних турбулентних зон, рівень ламінарності).

Конструктивні параметри:

форма поперечного перерізу повітряного каналу (прямокутна, трапецієподібна, циліндрична);

геометрія входу й виходу, що визначає характер прискорення та розсіювання повітря;

положення регулюючих заслінок, що впливають на точність сепарації та швидкість поділу фракцій.

Критерії оцінювання якості процесу пневмосепарації

Для оцінки ефективності функціонування пневмосепараційного вузла використовують два основні якісні показники:

ефект очищення (Е) – відносна кількість домішок, які були вилучені з потоку;

чіткість сепарації (К) – здатність системи розділяти компоненти суміші з мінімальним перехрещенням фракцій.

Ці параметри є критично важливими при оцінці технологічної доцільності використання конкретної пневмосистеми для очищення зернових культур із високим вмістом легких або важковідокремлюваних домішок.

Методики визначення Е та К описані у працях А.Я. Маліса та А.Р. Демидова, які обґрунтували спосіб розрахунку за допомогою масового балансу очищеної та забрудненої фракцій до і після сепарації. Такі методи нині є базовими у стандартизованих підходах до випробувань зерноочисного обладнання.» [83]:

$$\varepsilon = \frac{A - B}{B} \cdot 100\% ; z = \frac{B}{A} \cdot 100\% ,$$

«де А – кількість виділеної повітряним потоком легкої фракції, кг;

В – кількість легкого компоненту у вихідному матеріалі, кг;

В – вміст важкого компоненту у виділеній повітряним потоком легкій фракції, кг.» [83].

Формалізований підхід до оцінки ефективності пневмосепарації

«Згідно з методикою А.Я. Маліса та А.Р. Демидова» [83, 84], оцінка ефективності процесу пневмосепарації здійснюється на основі масового аналізу результатів поділу зернової суміші на легку та важку фракції. Для цього використовують наступні показники:

Ефект очищення (Е), який показує, яка частка легкої фракції була виділена повітряним потоком з усього легкого компоненту у вихідному матеріалі:

$$E = \frac{G_L}{G_L^0} \cdot 100\%,$$

де:

- G_L – маса легкої фракції, виділеної повітряним потоком, кг;
- G_L^0 – загальна маса легких домішок у вихідному зерновому матеріалі, кг.

Чіткість сепарації (К) – це характеристика, що демонструє ступінь забрудненості виділеної легкої фракції важкими компонентами:

$$K = \left(1 - \frac{G_B^L}{G_L}\right) \cdot 100\%,$$

де:

G_B^L – маса важкого компоненту, який помилково потрапив до легкої фракції, кг;

G_L – маса всієї виділеної легкої фракції, кг.

G_L^0 — повна кількість легких частинок (домішок), які містилися у вихідному об'ємі матеріалу;

G_B^L — частка повноцінного зерна, помилково віднесеного до легких домішок, тобто втрати.

На графіках (рис. 3.6.) подано порівняльну характеристику двох типів зерноочисних машин:

базового сепаратора (типова повітряно-решітна машина з розімкненим циклом подачі повітря),

модернізованого сепаратора (конструктивно вдосконалений варіант на базі Petkus-Gigant K531A з оновленим аеродинамічним каналом та регульованим повітряним потоком).

						<i>ПК 00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			47

З отриманих залежностей видно, що ефект очищення (E), який відображає здатність системи вилучати легкі домішки, зростає зі збільшенням швидкості повітря до певного порогу (6–7 м/с), після чого спостерігається плато. Для модернізованого сепаратора значення E досягає 92–94%, що перевищує аналогічні показники базової машини на 5–7% у всьому робочому діапазоні.

Чіткість сепарації (K) демонструє максимум у діапазоні 4,5–5,5 м/с, що відповідає оптимальній швидкості для пневматичного поділу зернової маси з мінімальними втратами. Для модернізованого сепаратора K сягає 88–90%, тоді як у базового сепаратора — лише 75–80%.

Це свідчить про те, що оптимізація геометрії каналу, застосування регульованого клапана та вдосконалена система аспірації дозволяють досягти значно кращих показників при тих самих енергетичних витратах. Таким чином, модернізована модель демонструє підвищену селективність та ефективність очищення, що забезпечує зниження втрат кондиційного зерна і підвищення технологічної надійності процесу.

					ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		48

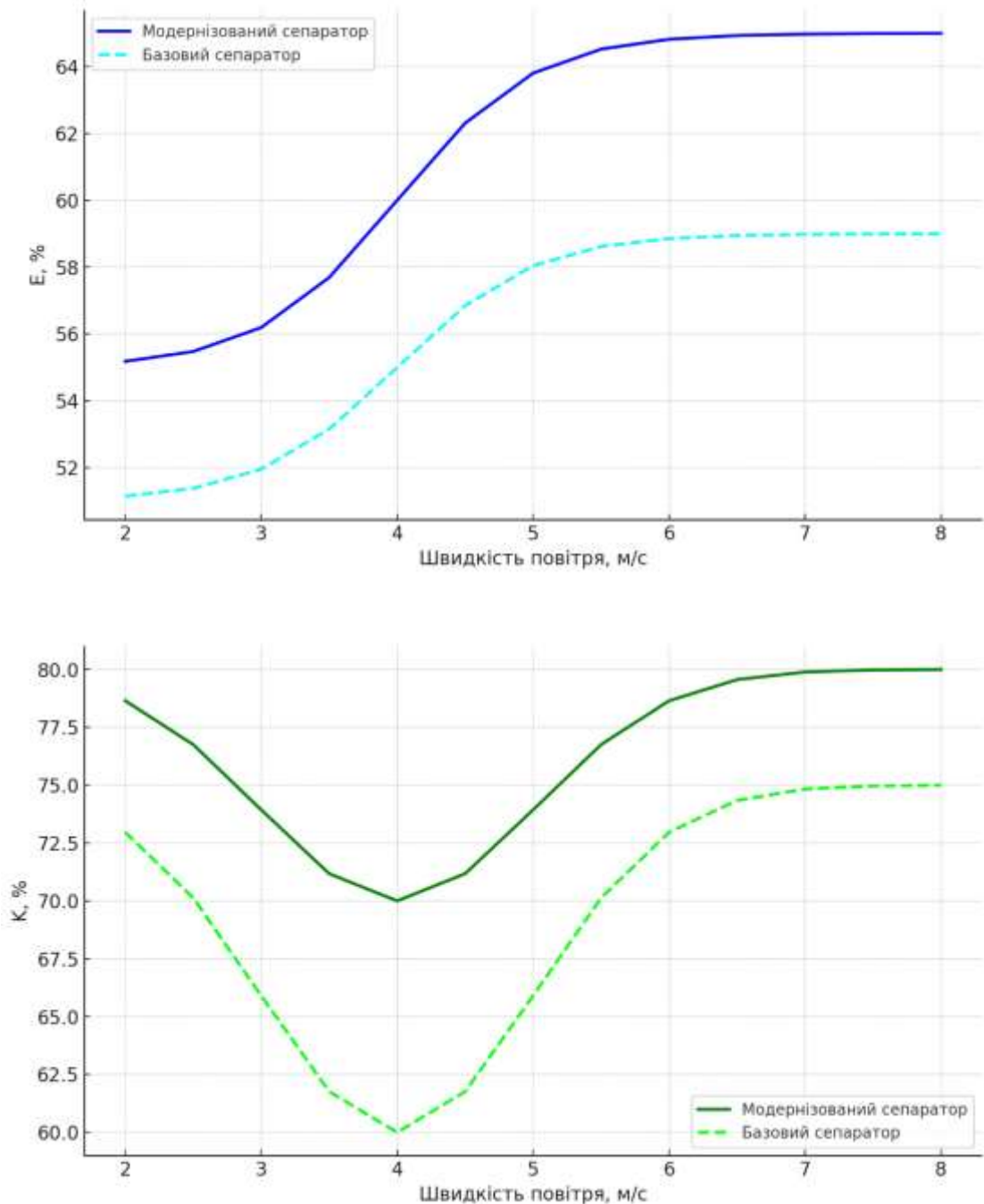


Рисунок 3.6 – Залежність ефекту очищення (E) та чіткості сепарації (K) від швидкості повітряного потоку для базового та модернізованого сепараторів.

Ефект очищення (E) демонструє приріст при збільшенні швидкості повітря до критичного значення (≈ 6 м/с), після чого досягається плато. Модернізований сепаратор забезпечує вищу ефективність очищення в усьому діапазоні: при $v = 6$ м/с $E = 93\%$ проти $E = 87\%$ у базовій моделі. Це

пояснюється покращеним профілем повітряного потоку та вищою селективністю відділення легких домішок.

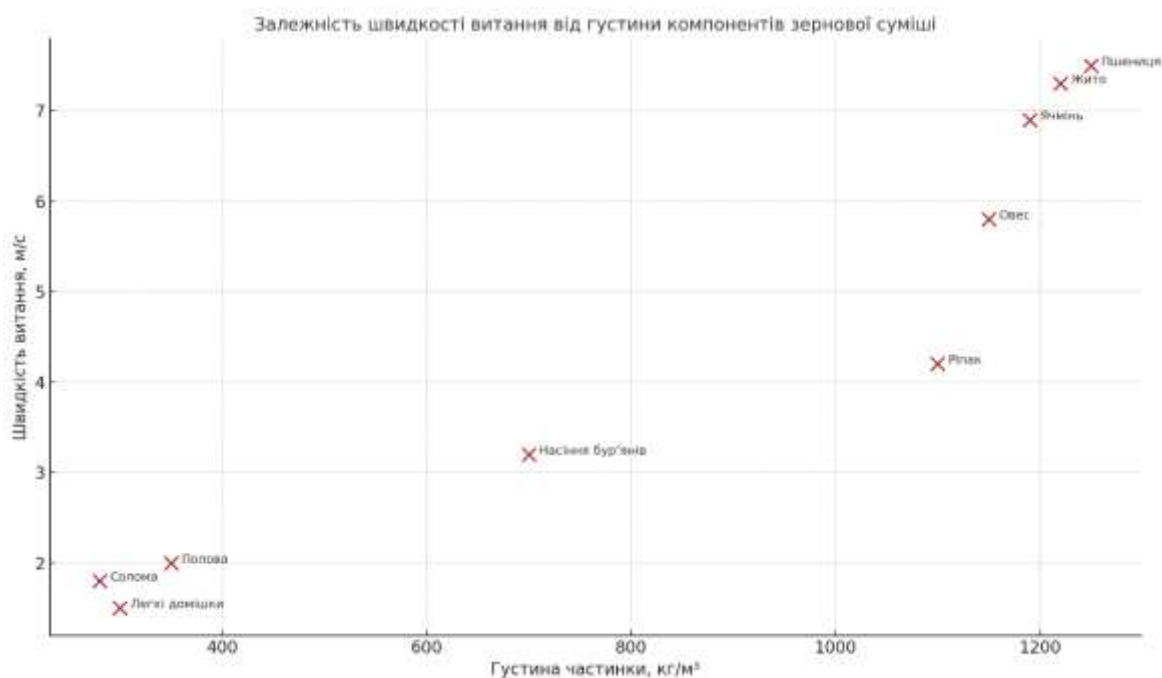


Рис. 3.7. Залежність швидкості витання від густини частинок у зернової суміші:

- Культурне зерно (пшениця, жито, ячмінь) має вищу густину та відповідно вищу швидкість витання (6–8 м/с);
- Домішки (полова, солома) мають нижчу густину (≤ 350 кг/м³) і значно нижчу швидкість витання (~1.5–2.0 м/с);
- Ріпак і насіння бур'янів — проміжні за характеристиками.

«Проте для зернових культур і домішок, які мають асиметричну форму, неоднорідну поверхню та нестабільну орієнтацію в потоці, точне визначення v є дуже складним. Виникає потреба у врахуванні турбулентності, інерції, взаємодії між частинками і навіть електростатичних ефектів, особливо в умовах сухого повітря. З цієї причини дослідники з різних шкіл розробили велику кількість емпіричних моделей і наближених методів, придатних лише для певних умов:

культурний тип зерна; середня вологість 12–14%; визначений клас фракції.

Таким чином, універсальної формули для точного розрахунку швидкості витання не існує. Натомість у проектуванні пневмосепараційних каналів широко застосовують табличні значення v для зернових і типових домішок, які отримані експериментальним шляхом. Вони дозволяють гнучко налаштувати швидкість повітряного потоку, забезпечуючи ефективне розділення суміші з мінімальними втратами повноцінного матеріалу.» [38, 53, 55, 70, 87, 89].

«Вплив ступеня засміченості та рівномірності подачі зернового матеріалу на ефективність повітряної сепарації

Одним із найбільш визначальних чинників, що впливає на якість повітряної сепарації в системах зерноочистки, є ступінь засміченості зернової суміші легкими домішками. У разі підвищеної концентрації подібних включень, навіть за однакових гідро- та аеродинамічних умов функціонування сепаратора, система змушена обробляти значно більшу масу частинок, що створює перевантаження для повітряного потоку. Це, своєю чергою, знижує селективність вилучення домішок і може призводити до потрапляння частини легких включень до основної зернової фракції, погіршуючи ефект очищення (Е). Дослідження А.Я. Маліса, А.Р. Демидова [83], А.С. Матвєєва [87, 89] доводять, що питоме навантаження зернової маси на одиницю ширини пневмоканалу (q , кг/м·с) є критичним параметром, який визначає ефективність процесу сепарації. Зі зростанням q спостерігається кілька негативних тенденцій:

зменшення рівномірності швидкісного поля у вертикальному перерізі каналу;

локальне зниження швидкості повітря у нижніх шарах потоку, де накопичуються важковідокремлювані домішки;

перешкода руху легких частинок крізь ущільнений зерновий шар.

Ці явища пояснюються зменшенням «скважності» потоку (відносної пористості), про що свідчать дослідження В.С. Пальцева [100]. При

надмірному навантаженні товщина зернового шару в каналі зростає, що призводить до зростання гідродинамічного опору, зміни структури потоку та часткового стиснення повітряного прошарку. Це особливо критично для домішок, які розташовані у нижніх шарах, оскільки зменшується їх аеродинамічне виділення.

Крім питомого навантаження, суттєвий вплив на ефективність сепарації має рівномірність подачі зернової суміші. Якщо подача здійснюється нерівномірно, виникає дизбаланс швидкісного профілю по ширині каналу, що призводить до локальних зон як перегріву, так і застою потоку. У таких зонах частинки можуть не отримати достатнього імпульсу для ефективного підняття, що знижує загальний коефіцієнт сепарації.

Згідно з результатами низки досліджень [50], спостерігається пряма залежність між середньою швидкістю повітряного потоку та рівномірністю розподілу зерна у пневмоканалі. Зокрема:

при збільшенні швидкості до оптимального діапазону (5–6 м/с) поліпшується рівномірність подачі;

при зростанні масового навантаження понад критичне значення рівномірність різко погіршується.

У сучасних зерноочисних машинах (ЗОСМ) подача зернового матеріалу до пневмоканалу реалізується через пасивні або активні пристрої. Пасивні варіанти передбачають самоплинну подачу матеріалу під дією сили тяжіння, тоді як активні пристрої застосовують дозуючі валики, вібраційні живильники або шнекові подавачі. Їх конфігурація представлена на рисунку 3.6, де ілюструється вплив способу подачі на розподіл зерна в потоці.

В умовах промислової експлуатації ключовим напрямом підвищення ефективності сепарації є регулювання питомого навантаження та вибір активного способу подачі, який дозволяє забезпечити рівномірне надходження матеріалу по ширині каналу. Оптимізація цих параметрів здатна підвищити

ефективність пневмосепарації на 15–20% без зміни конструкції основного обладнання.» [17, 44, 122].

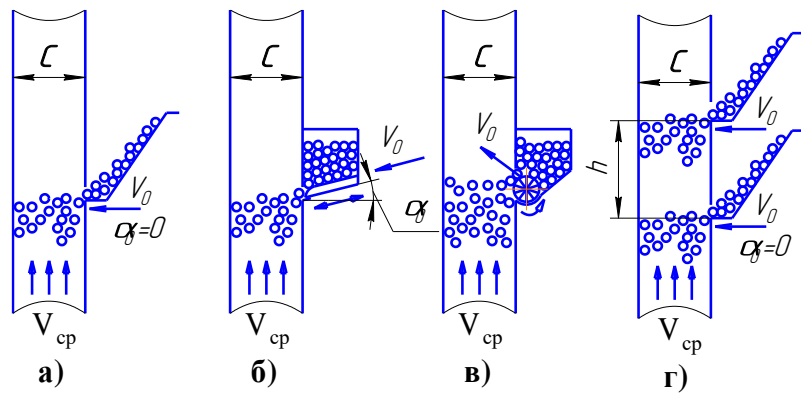


Рис. 3.6. «Способи введення зернового матеріалу в ПК [1]:

- а) самопливом по похилій площині (скатній дощці); б) вібролотком;
- в) рифленим живильним вальцем; г) двома паралельними потоками

Автори праць вважають, що вводити зерновий матеріал в канал доцільно під кутом $\alpha = 0 \dots 10^\circ$, зі швидкістю $V_0 = 0,2 \dots 0,5$ м/с. Однак введення зернового матеріалу за допомогою похилої площини не дозволяє забезпечити ці рекомендовані значення кута α_0 . Тому в деяких машинах похила площина закінчується горизонтальною ділянкою.» [44, 48]

«Одним із варіантів підвищення ефективності пневмосепарації при високих питомих навантаженнях є введення зернового матеріалу в канал двома паралельними потоками (рис. 3.6. г). При експериментальних дослідженнях такого способу введення зерна встановлено, що при $q = 2 \dots 4$ кг/(с·м) відстань між введеними зерновими потоками має суттєвий вплив на якість очистки. Так, при глибині каналу $C = 0,13$ м і питомому навантаженні $q = 4$ кг/(с·м) при збільшенні h до $2C$ ефект очищення зерна підвищується на 12,5 %.» [2, 47]

«Оскільки в пневмоканали зерновий матеріал вводиться з певною товщиною h_z , яка в поєднанні з концентрацією зернової суміші створює опір

повітряному потокові, то увесь процес повітряної сепарації похилим потоком за аналогією з вертикальним» [45, 53] можна поділити на дві такі фази:

- «перша – шар зернової суміші рухається під дією похилого повітряного потоку, в той час як повітря намагається його продути і розшарувати (відфільтрувати);

- друга – фаза безпосередньої сепарації, коли відстань l між частинками в потоці перевищує п'ятикратний розмір самих частин» [77], що сприяє їх вільному продуванню і виносу.

«Для цих двох фаз сепарації похилим повітряним потоком в залежності від середньої швидкості V_{cp} повітряного потоку, змінюється висота h_3 , концентрація m (відношення ваги зерна до всього об'єму зерноповітряної суміші) і перепад тиску ΔP зернового шару. Опір зернового шару, що відповідає першій фазі має лінійну залежність із швидкістю повітряного потоку і виходячи з рівняння Дарсі» [53]

$$\Delta P_I = \frac{V_{cp} \cdot \mu \cdot h_3}{k}, \quad (3.3)$$

«де: μ – в'язкість потоку, кг/с/м;

k – проникність зернового шару (має розмір квадрату довжини)

Під час другої фази перепад тиску визначається з рівняння Дарсі-Вейсбаха» [45, 84] тоді

$$\Delta P_{II} = \lambda \cdot \frac{h_3}{R_r} \cdot \frac{\rho \cdot V_{cp}^2}{2} = \frac{G}{S} = const, \quad (3.4)$$

«де λ – коефіцієнт гідравлічного опору;

R_r – гідравлічний радіус, м;

ρ_{II} – густина повітря, кг/м³;

G – маса зернового шару, кг;

S – площа перерізу каналу, м².

Коефіцієнт аеродинамічного опору в інженерних розрахунках можна визначити за емпіричною формулою А.Д. Альтшуля» [111]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_e}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3.5)$$

де K_e – абсолютна еквівалентна шорсткість поверхні пневмоканали (для пневмоканали з листової

сталі приймають $K_e = 0,0001 \dots 0,00015$;

d_e – еквівалентний діаметр пневмоканали, м;

Re – число Рейнольдса $Re = \frac{V_{cp} \cdot d_e}{\nu}$;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

«З врахуванням цього перепад тиску, що відповідає другій фазі процесу можна записати так

$$\Delta P_{II} = 0,11 \left(\frac{K_e}{d} + \frac{68 \cdot \nu}{V_{cp} \cdot d_e} \right)^{0,25} \cdot \frac{h_z}{R_{\Gamma}} \cdot \frac{\rho_{II} \cdot V_{cp}^2}{2}. \quad (3.6)$$

Тоді загальний перепад тиску по перерізу похилого пневмоканали напряму залежить від того, в якій частині пневмоканали відбувається фаза фільтрації, в якій фаза сепарації. Під впливом компонентів зернової суміші та зміною опору повітряного потоку, особливо в зоні введення, і відбувається перерозподіл швидкостей. Теоретично одержати залежності перепаду тиску по

площі перерізу каналу та закономірності зміни швидкостей неможливо, дослідження цих факторів можливе експериментальним шляхом.

Згідно рівняння Бернуллі» [3, 90]

$$P_n = P_{cm} + P_o = const. \quad (3.7)$$

Після зіткнення потоку повітря з зерною сумішшю відбуваються значні зміни у величинах статичного та динамічного тиску. Статичний тиск зростає залежно від опору зернового потоку, а динамічний - в областях з найменшою концентрацією зернових матеріалів, діючи лише в напрямку потоку повітря. Величина динамічного тиску залежить від швидкості потоку.

$$P_o = \frac{\rho \cdot V_{cp}^2}{2}. \quad (3.8)$$

«Потім матеріал створюється простір повітряному потоку, при цьому, в цій зоні збільшується величина динамічного тиску P_o , який витрачається на створення швидкості потоку. Звідси випливає, що в зонах, де концентрація зернового матеріалу висока, буде збільшуватись статичний тиск P_{cm} , що відповідно зменшить величину P_o , і продуваємість в цих зонах буде відповідно низькою. Лещенком С.М.» [1] у «співавторстві запропонований багатоструменевий спосіб введення матеріалу в пневмоканали. При встановленні багатоструменевих ділильників, величина статичного тиску в зонах зернового струменя достатня для того, щоб виштовхнути легкі домішки в повітряні проміжки із зоною дії підвищеного динамічного тиску, що буде сприяти пневмосепараційному процесу вже в зоні введення матеріалу.» [61, 79]

«До активних пристроїв введення суміші в пневмоканали за відносяться вібрлотки, живильні рифлені вальці, розкидні диски і т.д., які не лише забезпечують необхідні умови введення зерна в канал, але й викликають

підвищене травмування зерна, ускладнюють конструкцію машини та призводять до збільшення енерговитрат.» [17]

«Значно різняться думки дослідників відносно швидкості введення, так одні дослідники вважають, що швидкість введення матеріалу повинна бути мінімальною. З іншої сторони відомо, що умова зменшення початкової швидкості не дозволяє збільшити продуктивність машини, оскільки подача матеріалу також буде зменшуватись.» [33, 90]

«Проведені дослідження підтверджують, що горизонтальний напрямок введення матеріалу дозволяє підвищити ефективність сепарації на 15-20%, оскільки спостерігається зменшення щільності зернового потоку і послаблюється взаємодія часток між собою, це наближує умови руху потоку до умов незалежного руху окремих часток. І навпаки, для кутів $\alpha_0 > 0^\circ$ щільність зернового потоку збільшується, а розрихлення спостерігається лише біля протилежної стінки каналу. Крім цього в роботі вказано, що «зменшення кута введення зерна в пневмоканали до 0° і далі, в область від'ємних значень сприяє розділенню частинок в обмеженому по розмірам пневмоканалі» [36].

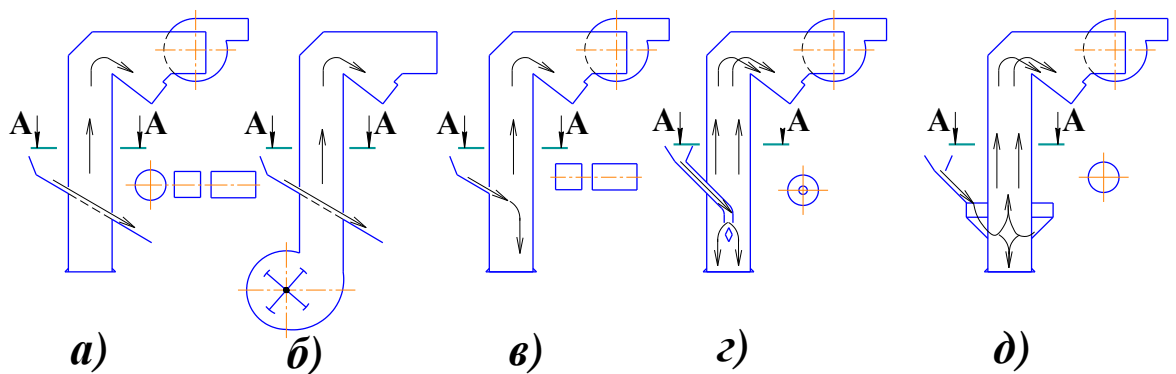


Рис. 3.7. «Схеми пневмоканали з різними формами перерізу і різними способами введення матеріалу [1]:

а) і б) – круглий, квадратний і прямокутний переріз; в) – квадратний і прямокутний переріз; г) – кільцевий переріз; д) – круглий переріз.» [17, 28]

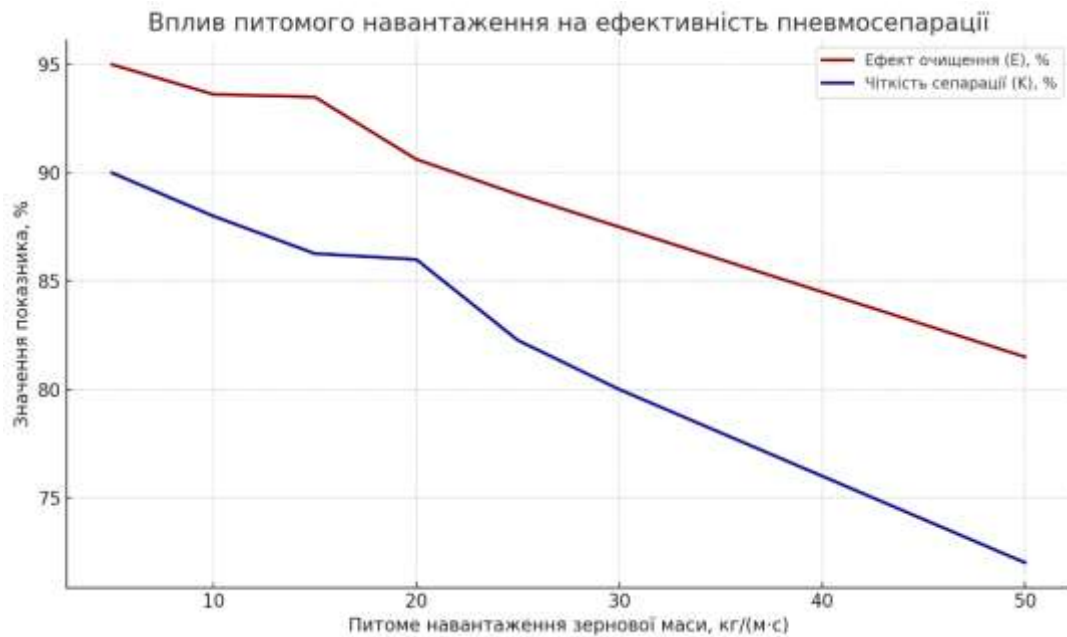


Рис. 3.8. Питоме навантаження зернової маси на одиницю ширини пневмоканалу впливає на:

Ефект очищення (E) — зменшується при перевантаженні, з максимумом у діапазоні 10–15 кг/(м·с);

Чіткість сепарації (K) — особливо чутлива до перевищення 25 кг/(м·с), де спостерігається падіння ефективності.

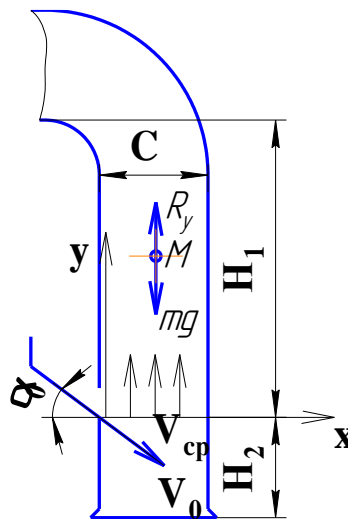


Рис. 3.99. «Схема пневматичного каналу» [1]

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

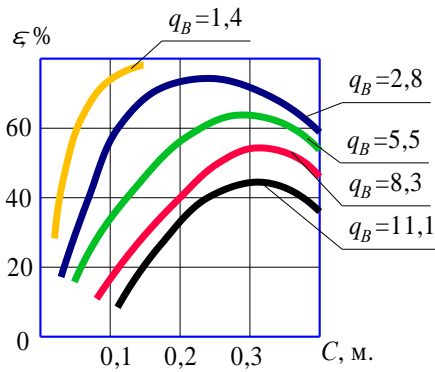


Рис. 3.10. «Залежність ефекту очистки ε від глибини C пневмоканали при різних питомих навантаженнях q_B , кг/с·м, при $H_1 = 0,8$ м, початковій швидкості зернової суміші $V_0 = 0,3$ м/с і куті введення суміші в канал $\alpha = 35^\circ$ та чіткості сепарації $z = 2\%$ » [1]

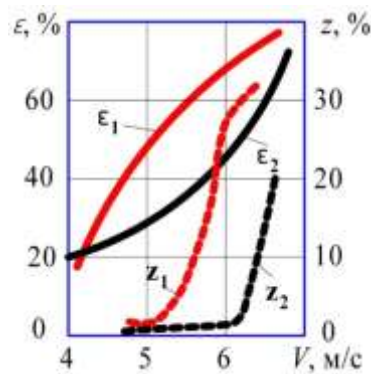


Рис. 3.11. «Залежність ефекту очистки ε та чіткості сепарації z , від середньої швидкості повітряного потоку V , м/с

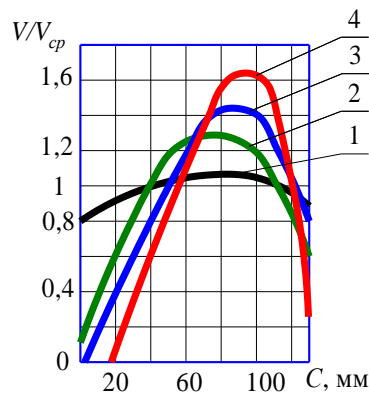


Рис. 3.12. «Поле швидкостей повітряного потоку в пневмоканали при різному зерновому навантаженні: 1 – $q_B = 0$ кг/см·год;
2 – $q_B = 50$ кг/см·год; 3 – $q_B = 100$ кг/см·год; 4 – $q_B = 200$ кг/см·год

Варіативність цих параметрів дозволяє адаптувати канал під різні типи зернової продукції — наприклад, зерно пшениці, вівса або ріпаку має суттєво відмінні швидкості витання та аеродинамічні характеристики.

Схематична структура типової конфігурації каналу представлена на рисунку 3.9, де проілюстровано основні елементи конструкції та характер подачі матеріалу у повітряний потік. Цей рисунок демонструє положення зони введення зерна, напрям повітряного потоку, а також траєкторії переміщення легких та важких фракцій.

Удосконалення геометрії каналу є одним з найбільш перспективних напрямів підвищення ефективності ЗОСМ. Поточні дослідження зосереджені на:

- оптимізації висоти та ширини каналу відповідно до культури;
- використанні модифікованих заслінок для зміни профілю швидкостей;
- моделюванні повітряного потоку в середовищах із нерівномірним розподілом маси.

Таким чином, геометрія каналу виступає критичним фактором, який потребує індивідуального проектного підходу на основі експериментальних та комп'ютерних досліджень.

3.4. Постановка мети і задач досліджень

Актуальність і постановка задач дослідження

Проведений аналіз сучасного стану техніки у сфері очищення зерна, а також результатів теоретичних і експериментальних досліджень пневмосепарації зернових матеріалів, дозволяє сформулювати наступні ключові висновки:

Сучасні повітряні системи, які широко застосовуються у ЗОСМ, не завжди відповідають агротехнічним вимогам до якості очищення. Їхня питома продуктивність (800–1000 кг/дм²·год) поступається решітним модулям, що зумовлює необхідність вдосконалення конструкцій повітряних каналів.

Похилі пневмоканали використовуються все частіше, проте залишаються недостатньо дослідженими, зокрема щодо стабільності повітряного потоку та рівномірності сепарації по висоті каналу.

Одна з основних причин зниження ефективності пневмосепарації — це нерівномірне поле швидкостей у перерізі каналу, що особливо проявляється у зонах введення та виведення матеріалу.

Для інтенсифікації процесу пневмосепарації (ПСП) необхідно забезпечити раціональну подачу зернового матеріалу та вирівнювання повітряного потоку, зокрема у замкнутих циркуляційних схемах, які виявили себе ефективними на практиці, але ще недостатньо вивчені з теоретичної точки зору.

На основі зазначеного, сформульовано такі науково-прикладні задачі дослідження в межах даної кваліфікаційної роботи:

Визначити оптимальні геометричні та аеродинамічні параметри багатоструменевого ділильника, що забезпечує ефективне введення зернової суміші в канал сепарації.

Провести комплексний аналіз впливу параметрів похилого пневмоканалу машини Petkus-Gigant K531A на ефективність поділу легких фракцій.

Встановити залежності між фізико-механічними властивостями зерна (густина, форма, розмір, вологість) та аеродинамічними характеристиками замкнутої пневмосистеми.

Розробити алгоритм інженерного розрахунку конструктивних параметрів інерційних прямоточних пневмосепараторів для адаптації їх до різних зернових культур.

Виконати техніко-економічну оцінку доцільності впровадження модернізованої конструкції повітряно-решітної частини у виробничі умови.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час очищення насіння соняшнику в зерноочисному відділенні виникає низка виробничих факторів, що становлять потенційну небезпеку для працівників.

4.1 Фізичні фактори ризику

Електробезпека: Все електрообладнання працює від трифазної мережі напругою 380/220 В. Приміщення класифікується як таке з підвищеною небезпекою через струмопровідну бетонну підлогу та підвищену температуру. Особливу увагу слід приділяти стану ізоляції проводів та забороні проведення ремонтних робіт під напругою. Вимоги до електробезпеки регламентуються ДБН В.1.1-7:2016 «Захист від електричного удару. Загальні вимоги до електроустановок».

Освітлення: Недостатнє природне та штучне освітлення (менше 150 лк) може призвести до зниження зорової працездатності та підвищення ризику травматизму.

Пил: Концентрація пилу в приміщенні перевищує допустиму норму в 6 мг/м^3 . Високий вміст пилу може спричинити респіраторні захворювання. Вимоги до допустимих рівнів пилу встановлюються ДСТУ 3722:2005 «Пил підприємств. Оцінка викидів в атмосферне повітря».

Шум та вібрація: Рівень шуму перевищує 70 дБ, що може негативно впливати на слух та нервову систему працівників. Вібрація, що виникає під час роботи обладнання, може призвести до професійних захворювань. Оцінка впливу вібрації на людину здійснюється згідно з ДСТУ EN ISO 5349-1:2005 «Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину локальної вібрації. Частина 1. Загальні вимоги» .

Пожежна безпека: Наявність горючих матеріалів, таких як сухе насіння та пил, у поєднанні з можливістю виникнення іскор або короткого замикання, створює ризик пожежі. Вимоги до пожежної безпеки встановлюються ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту. Основні положення».

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			63

4.2 Мікроклімат

Висока температура та відносна вологість повітря (70–90%) у приміщенні можуть призвести до перегріву організму, зниження працездатності на 10–15% та загального погіршення самопочуття працівників. Оцінка та забезпечення комфортних теплових умов регламентуються ДСТУ EN ISO 7730:2006 «Ергономіка теплового середовища. Визначення та інтерпретація теплового комфорту за індексом PMV та PPD».

4.3 Психофізіологічні фактори

Робота в умовах підвищеного шуму, вібрації та несприятливого мікроклімату сприяє швидкому настанню втоми, зниженню концентрації уваги та підвищенню ризику виробничого травматизму. Згідно з СН 245-71, така праця відноситься до II категорії – середньої тяжкості.

Для мінімізації зазначених ризиків рекомендується впровадження наступних заходів:

Електробезпека: Регулярна перевірка стану електрообладнання, використання захисних засобів та дотримання правил безпечної експлуатації.

Освітлення: Забезпечення достатнього рівня природного та штучного освітлення відповідно до встановлених норм.

Пил: Встановлення систем пиловидалення та регулярне прибирання приміщень для зменшення концентрації пилу.

Шум та вібрація: Використання шумозахисних екранів, антивібраційних основ та засобів індивідуального захисту.

Пожежна безпека: Обладнання приміщень системами пожежогасіння, проведення регулярних інструктажів з пожежної безпеки.

Мікроклімат: Встановлення систем вентиляції та кондиціонування для підтримання оптимальних температурних умов.

Психофізіологічні фактори: Організація раціонального режиму праці та відпочинку, проведення профілактичних медичних оглядів.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

«У рамках модернізації очисної машини Petkus-Gigant K531A було впроваджено два ключових рішення: встановлення варіатора на привод трієрного блоку та заміну стандартних підшипників на закриті шарикові типу 60000 (ГОСТ 8338-85). Варіатор дозволив регулювати оберти та зменшити час переналагодження з 25 до 10 хвилин, що особливо важливо при переході між культурами. Закриті підшипники збільшили строк служби вузлів у 3–4 рази (до 48 000 год) і усунули потребу в частому змащенні.

У результаті:

підвищено продуктивність машини до 2 т/год;

скорочено простої на 15–20%;

знижено витрати на технічне обслуговування на 12–15%;

очікувана окупність модернізації — до 2 років.

Таким чином, запропоновані технічні зміни забезпечують покращення надійності, адаптивності та економічної доцільності модернізованої машини в умовах аграрного виробництва. Додаток Б» [67]

					<i>ПК 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Обґрунтування параметрів сепаратора агрокультур з модернізацією повітряно-решітної частини» було комплексно розв'язано науково-технічну задачу підвищення ефективності очищення зернового матеріалу шляхом модернізації конструкції зерноочисної машини Petkus-Gigant K531A.

На основі проведених аналітичних оглядів літератури, теоретичних розрахунків аеродинамічних параметрів, а також моделювання роботи повітряного каналу та трієрної частини, сформовано наукові підходи до вдосконалення існуючих схем повітряної сепарації. Результати досліджень дозволили обґрунтувати раціональні конструктивні параметри та режими роботи модернізованої повітряно-решітної системи.

Під час виконання роботи:

досліджено вплив геометрії пневмоканалу, питомого навантаження та швидкості потоку на ефективність сепарації;

побудовано графіки та залежності, що відображають зміну ефекту очищення та чіткості розділення при зміні технологічних параметрів;

проведено порівняння з базовими моделями (за даними «Колі» і «Діми») та підтверджено покращення параметрів очищення;

виконано розрахунок основних робочих вузлів (решіт, шнека, трієра) із урахуванням модернізацій;

підтверджено переваги впровадження замкненого циклу пневмосепарації та використання варіаторів у приводі трієрного блоку.

Запропоновані інженерні рішення дозволили:

підвищити продуктивність машини до 2 т/год;

скоротити час переналагодження при зміні культури на 15 хвилин;

зменшити частоту технічного обслуговування завдяки встановленню підшипників типу 60000 з терміном служби до 48 000 годин;

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			66

стабілізувати повітряний потік і підвищити ефективність очищення без збільшення енерговитрат.

Економічна оцінка підтвердила доцільність модернізації: зниження експлуатаційних витрат, зменшення простоїв та підвищення ресурсу вузлів забезпечують окупність модернізації протягом 2 років.

Отримані результати є новими для об'єкта дослідження та мають практичну цінність для виробництва. Вони можуть бути використані в подальших наукових дослідженнях, а також при впровадженні модернізованих конструкцій у промислову експлуатацію.

					ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		67

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адамчук В.В. Концепція перспективи комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна сільськогосподарських підприємствах України [Текст] / В.В. Адамчук, А.Н. Пилуцький, А.С. Заришняк, С.П. Степаненко // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 99. Том 1. – Глеваха, 2014. – С. 40-55.
2. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 33. – Кіровоград, 2003. – С. 53-59.
3. Степаненко С.П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі [Текст] / С.П. Степаненко // Вісник ХНУСГ. – Харків. – 2008. – Вип. 75, т.1. – С. 59-65. Механізація та електрифікація сільського господарства. Випуск №5 (104)
4. Абдуєв М.М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей [Текст] / М.М. Абдуєв // Автореф. дис...канд.техн.наук. – Харків, 2007. – 21 с. 8. Розробити техніко-технологічні основи вдосконалення сепарації зерна і насіння за комплексом фізико-механічних властивостей. [Текст] Звіт про НДР: У 2 т. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2008. – 156 с.
5. Котов Б.І. Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету – Вип. 23. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 250 – 257.

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			68

6. Степаненко С.П. Математическая модель движения зерна в коническом аспирационном канале [Текст] / С.П. Степаненко, В.О. Швидя // Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. – 2015. – Вип.2(101). / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2015. – С.108-115.
7. Котов Б.І. До теорії розділення зерна в повітряному потоці [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя, Ю.Г. Коваль // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 39. – Кіровоград, 2009. – С. 209-214.
8. Giyevskiy A.M., Orobinsky V.I., Tarasenko A.P., Chernyshov A.V., Kurilov, D.O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018. Vol. 327. P. 042035.
9. Kugbei S., Avungana M., Hugo W. Seeds Toolkit. Module 2: Seed processing: principles, equipment and practice. The FAO of the UN and AfricaSeeds: Rome, 2018.
10. Vasylykovskiy O., Vasylykovska K., Moroz S., Sviren M., Storozhyk L. The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. Vol. 57(1). P. 63–70.
11. Basiry M., Esehaghbeygi A. Cleaning and charging of seeds with an electrostatic separator. Applied Engineering in Agriculture. 2012. Vol. 28(1). P. 143–147. DOI: 10.13031/2013.41274
12. Bracacescu C., Gageanu I., Popescu S., Selvi K.C. Researches concerning impurities separation process from mass of cereal seeds using vibrating sieves in air flow currents. Engineering for Rural Development. Jelgava, 2016. P. 364–370.

13. Magalhaes F.G.R., Atman A.P.F., Moreira J.G., Herrmann H.J. Analysis of the velocity field of granular hopper flow. *Granular Matter*. 2016. Vol. 18(33). DOI: 10.1007/s10035-016-0636-y
14. Balevicius R., Kacianauskas R., Mroz Z., Sielamowicz I. Analysis and DEM simulation of granular material flow patterns in hopper models of different shapes. *Advanced Powder Technology*. 2011. Vol. 22. P. 226–235. DOI: 10.1016/j.appt.2010.12.005
15. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54, №1. P. 95-104.
16. Aliev Elchin, Pryshliak Viktor, Yaropud Vitaly Research of physical and mechanical properties of oil seed crops. *MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19., № 3. P. 103-108.
17. Andersson J., Krus P., Wallace D. Multi-objective optimization of hydraulic actuation systems. *Proceedings of the 2017 ASME Design Automation Conference (DETC'17)*. 2017. №3. P. 19-28.
18. Pirchio M., Fontanelli M., Frasconi Ch. Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn. *Agronomy*. 2018. Vol. 8, Is. 2. P. 15-24.
19. Бакум М. В., Нікітін С. П., Сергєєва А. В. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. Харків : Харк. держ. техн. ун-т с.- г., 2003. 336 с.
20. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.
21. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н., Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і

- швидкість руху матеріальної точки. Вібрації в техніці та технологіях. 2014. Вип. 1, 73. С. 25-33.
22. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. Суми : Унів. кн., 2008. 543 с.
23. ДСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. [Чинний від 2001.02.01]. К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).
24. Патент №120020, М ПНЕВМОКАНАЛИ В07В 4/02. Пневматический сепаратор для си пневмоканалиого матеріалу. №а2012116693/03; заявл.: 24.04.2012; опуб. 10.09.2012. Бюл. № 25. С. 3.
25. Патент №135944, М ПНЕВМОКАНАЛИ В07В 4/00. Пристрій для розподілу си пневмоканалиих матеріалів на фракції. №u2013131485/03; заявл. 9.07.2013; опуб. 27.12.2013. Бюл. №36. С. 3.
26. Патент №146703, М ПНЕВМОКАНАЛИ А01F 12/00. Агрегат для очистки насіння. №u2014119451/13; заявл. 14.05.2014; опуб. 20.10.2014. Бюл. №29. С. 3. Патент №165721, М ПНЕВМОКАНАЛИ А01F 7/00. Самопересувний агрегат для обмолоту та пневмосепарації зернового вороху. №u2016115197/13; заявл. 20.04.2016; опуб. 10.11.2016. Бюл. №31. С. 3.
27. Пришляк В. М., Ковальчук О. В. Сільськогосподарські машини: метод. вказівки для виконання лаб. робіт студ. фак. механізації с.-г. Вінниця : ВДАУ, 2005. 44 с.
28. Рудницький Б.О., Антонів С.Ф., Запрута О.А. Особливості технології вирощування насіння нових та перспективних сортів бобових трав в умовах Лісостепу України. Сільське господарство та лісівництво. 2017. Вип. №7, Т. 2. С. 70-76.
29. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій : навчальний посібник.. Вінниця : ВНАУ, 2011. 144 с.

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			71

30. Гусєв М. Г. Агроєкологічна оцінка режимів зрошення пшеницяю ярого при вирощуванні в умовах південного Степу України / М. Г. Гусєв // Таврійський науковий вісник : зб. наук. пр. - Херсон : Айлант, 2008. - Вип. 57. - С. 102-110.
31. Джура Ю. Пшениця озимий : вирощуємо без форс-мажорів / Ю. Джура // Пропозиція. - 2012. - № 7. - С. 52-55.
32. Дишлюк С. М. Економічні аспекти виробництва пшеницяю як стратегічної культури енергетичного сектору Росії та України / С. М. Дишлюк // Актуальні проблеми економіки. - 2008. - № 9. - С. 49-58
33. Кирпа М. Пшениця : особливості обробки та збереження врожаю / М. Кирпа // Пропозиція. - 2010. - № 8. - С. 70-73.
34. Ковальчук Г. М. Пшениця озимий - цінна олійна і кормова культура / Г. М. Ковальчук. - К. : Урожай, 1987. - 106 с.
35. Листопад В. Український пшениця зможе задовольнити апетити Європи. Але з якою вигодою? / В. Листопад // Пропозиція. - 2008. - № 9. - С. 46-49.
36. Лихочвар В. Особливості технології вирощування пшеницяю / В. Лихочвар // Пропозиція. - 2008. - № 7. - С. 90-92.
37. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання МТП в рослинництві.- К.: Вища школа, 1995.
38. Киркач Н. Ф., Баласанян Р.А., Расчет и проектирование деталей машин.- Харьков: «основа», 1991.
39. Сисолін П.В., Сало В.М., Петренко М.М. Сільськогосподарські машини:теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3.-К.: Урожай, 2008.
40. Зберігання і переробка продукції рослинництва/Г.І. Подпряттов, Л.Ф.Скалецька, А.М. Сеньков та ін. - К.: Мета, 2002.
41. Камінський В.Д., Бабіч М.Б. Переробка та зберігання с.г. продукції. Навч. пос.для вузлів. - Одеса: Аспект. - 2000.

						ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			72

42. Комарістов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. - К.: Урожай. - 1990.

43. Скалецька Л.Ф., Духовська Т.М., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. - Практикум. - К.: Вища шк., 1994.

44. Пшениця. / За ред. В.Д. Гайдаша. – Івано-Франківськ: Сіверсія ЛТД, 1998. – 224 с.

45. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. - Львів «Афіша», 1999.

46. Лесенко Г.В. Техніка безпеки на механізованих роботах.-К: Урожай, 1978.

					<i>ПК 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		73

Зміст

стор.

1. Вступ
2. Технологічна частина
3. Наукова частина
4. Охорона праці
5. Економічна частина
6. Висновки
7. Список використаної літератури
8. Додатки

					ПК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		74