

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Модернізація інерційного сепаратора зерна з розробкою осадового
пристрою»

Виконав здобувач вищої освіти IVкурсу,
групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Портянко Віталій Андрійович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд.техн.наук

_____Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд.техн.наук

_____Олександр СКІБІНСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма « Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Портянко Віталій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація інерційного сепаратора зерна з розробкою осадового пристрою
2. Керівник роботи Нестеренко Олександр Вікторович , к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 16.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення ефективності роботи інерційного сепаратора ІПС шляхом вдосконалення осадового пристрою пневмосистеми машини.
5. Перелік графічного матеріалу 1.Сепаратор ІПС (Загальний вигляд)- 1 арк (фА1); 2. Складальне креслення вузла (фА0); 3. Деталювання 1 арк (фА1). Всього 4 аркуша формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Нестеренко О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	02.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	16.04.2026 р.	
3	Виконання розділу 4		
	Графічна частина арк. 3	22.05.2026 р.	
4	Написання висновків	02.06.2026 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту	12.06.2026 р.	

Дата видачі завдання

«16» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан питання про інерційні сепаратори зерна.....	7
3. Конструкторська частина	15
4. Висновки	37
Список використаних джерел.....	38
Додатки.....	40

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

1. ВСТУП

Зернове господарство є однією з провідних галузей агропромислового комплексу України та формує значну частину експортного потенціалу держави. Однією з найважливіших операцій підготовки зерна до зберігання, переробки або використання як насіннєвого матеріалу є його очищення від домішок різного походження [2].

У процесі збирання зернових культур до складу зернового вороху потрапляють частинки соломи, полови, пилу, насіння бур'янів, уламки рослин та інші сторонні включення, які негативно впливають на технологічні властивості зерна [1, 2]. Наявність домішок знижує якість продукції, погіршує умови її зберігання, сприяє самозігріванню зернової маси та підвищує ризик розвитку мікробіологічних процесів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вдосконалення технічних засобів очищення зернових сумішей [1-3].

Сучасні технології післязбиральної обробки зерна передбачають широке використання повітряних, решітних та комбінованих сепараторів. Серед них значне поширення отримали інерційні сепаратори, принцип роботи яких ґрунтується на використанні відмінностей аеродинамічних властивостей компонентів зернової суміші та інерційних сил, що виникають під час зміни напрямку руху повітряного потоку. Такі машини характеризуються відносною простотою конструкції, високою продуктивністю та можливістю роботи з різними культурами.

Разом із тим аналіз конструкцій існуючих інерційних сепараторів свідчить про наявність низки недоліків, які обмежують ефективність їх використання [11]. До основних із них належать недостатня повнота видалення легких домішок, підвищене пилоутворення, втрати корисного продукту разом із відходами та нерівномірність розподілу повітряних потоків у зоні сепарації. Особливо гостро ці проблеми проявляються при роботі з дрібнонасіннєвими культурами та зерном підвищеної вологості.

					<i>МІС 00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Портянко</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Нестеренко</i>					
<i>Реценз.</i>						5	40
<i>Н. Контр.</i>		<i>Артеменко</i>				<i>ЦНТУ, гр. ГМ-22-1</i>	
<i>Затверд.</i>		<i>Васильковський</i>					

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності роботи інерційних сепараторів є вдосконалення систем осадження домішок шляхом розробки спеціальних осадових пристроїв. Використання раціонально спроектованих осадових камер дозволяє зменшити швидкість повітряного потоку в зоні відокремлення частинок, підвищити ступінь уловлювання пилу та легких домішок, знизити втрати зерна і покращити санітарно-гігієнічні умови роботи обладнання.

Саме тому модернізація інерційного сепаратора шляхом розробки нового осадового пристрою є актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності післязбиральної обробки зернової продукції.

Отже, метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності роботи інерційного сепаратора зерна шляхом модернізації його конструкції та розробки осадового пристрою, який забезпечить покращення процесу відокремлення легких домішок із повітряного потоку.

					МІС 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО ІНЕРЦІЙНІ СЕПАРАТОРИ ЗЕРНА

2.1 Аналіз конструкцій інерційних сепараторів зерна

Інерційна сепарація відрізняється від традиційних решітних способів очищення тим, що розділення матеріалу відбувається без застосування решітних станів. Це дозволяє суттєво знизити металоємність обладнання, зменшити енергоспоживання та спростити його технічне обслуговування.

Останніми роками інерційні сепаратори широко використовуються як у фермерських господарствах, так і на зернопереробних підприємствах.

Одним із найбільш відомих представників інерційних сепараторів є сепаратор марки ІСМ-5 (рис. 2.1) [7]. Його принцип роботи ґрунтується на подачі зернової суміші в пневмосепараційний канал, де матеріал взаємодіє з горизонтальним повітряним потоком та розділює зерновий матеріал на декілька фракцій [7].



Рис. 2.1. Загальний вигляд пневмосистеми в розрізі сепаратора ІСМ [7]

Внаслідок різниці аеродинамічних властивостей легкі домішки та щупле зерно відокремлюються від основної маси зерна та виносяться повітряним потоком до осадової камери.

Конструктивно сепаратор складається із завантажувального бункера, пневмосепараційного каналу, вентилятора, осадової камери та системи регулювання повітряного потоку.

Особливістю машини є можливість плавного регулювання швидкості повітря, що дозволяє адаптувати режим роботи до різних культур. А також наявність додаткової осадової камери з жалюзійною стінкою, яка встановлена між основним осадовим пристроєм та повітряним каналом, який з'єднує камеру з джерелом повітряного потоку.

Недоліками конструкції є значна енергоємність сепаратора та порівняно невисока ефективність видалення пилових частинок малого розміру, а також залежність якості очищення від стабільності роботи вентилятора.

Широке розповсюдження в Україні отримали сепаратори серії САД. Сепаратор САД-5 призначений для очищення та калібрування зернових, зернобобових, олійних та дрібнонасінневих культур за аеродинамічними властивостями [8].

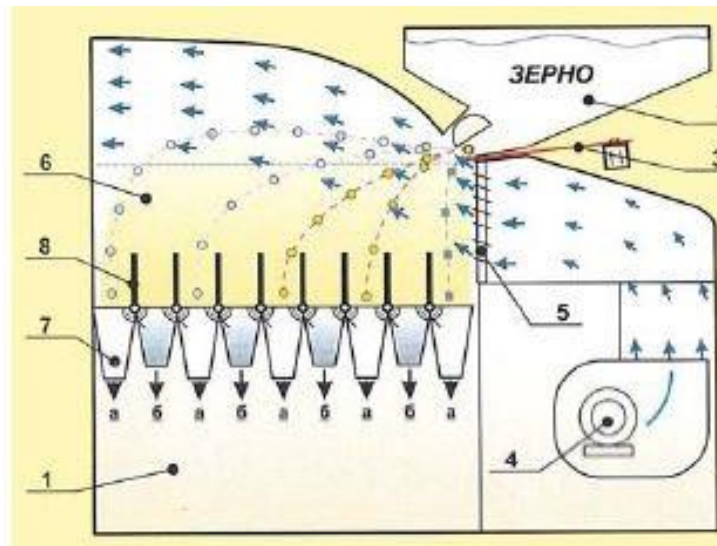


Рис. 2.2. Схема технологічного процесу сепаратора САД-5 [8]

1 - Корпус; 2 – бункер; 3- регульовальна заслінка; 4 – джерело повітряного потоку; 5 – розподільник повітряного потоку; 6 – повітряний канал; 7 – приймальники фракцій; 8- заслінки приймальників.

Основним робочим органом машини є горизонтальний пневмосепараційний канал, у якому формується повітряний потік необхідної швидкості. Зернова суміш надходить у робочу зону через розподільний пристрій і взаємодіє з потоком повітря. Зернові частинки розподіляються на фракції згідно аеродинамічних властивостей, відповідно повноцінне зерно потрапляє в перший приймальник, далі фуражне зерно та дрібні і легкі домішки.

Важливою особливістю САД-5 є багатократна циркуляція повітря та використання розвиненої системи пиловловлювання. Завдяки цьому зменшуються втрати повітря і покращуються екологічні показники роботи машини.

Разом із тим аналіз експлуатаційних характеристик показує, що ефективність роботи значною мірою залежить від якості функціонування осадкових пристроїв та системи очищення повітря.

Зерноочисна машина МЗПІ-10 належить до повітряно-решітних машин, у яких процес очищення зернового вороху поєднує механічне відокремлення домішок на решітній поверхні та аспіраційне розділення компонентів повітряним потоком [11]. Повітряна система машини виконана за замкненою схемою циркуляції, що дозволяє повторно використовувати повітряний потік і зменшувати запиленість робочої зони.

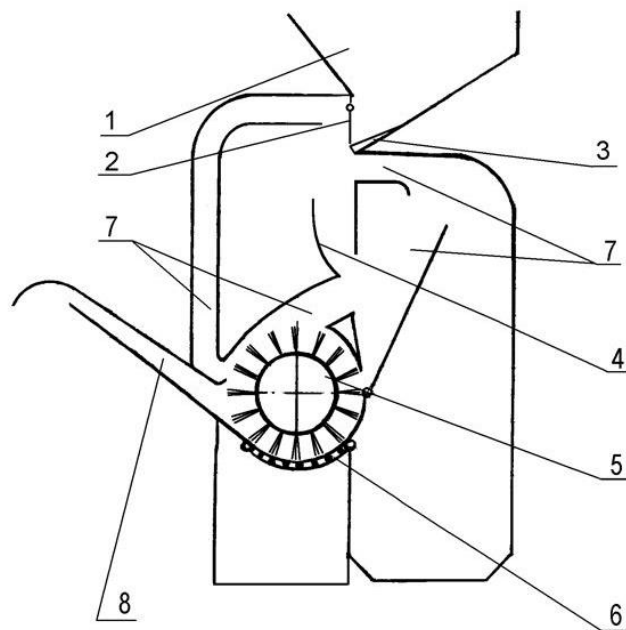


Рис. 2.3. Функціональна схема роботи повітряно-решітного модуля зерноочисної машин МЗПІ-10.

1- бункер; 2 - заслінка; 3- розподільник зерна; 4 – напрямник; 5 – джерело повітряного потоку; 6 – підсівне решето; 7 – сепараційні канали; 8- інерційний вивантажувальний рукав.

Конструктивно повітряно-решітний блок машини містить бункер, дозувальний пристрій, розподільник зернового потоку, регульовальну заслінку, щіточний ротор з лопатками, решето, аспіраційні канали та інерційний

вивантажувач. Така будова забезпечує послідовне проходження зернової суміші через декілька робочих зон, у яких відбувається її попереднє розподілення, очищення від великих і дрібних домішок та видалення легких фракцій.

Подача зернового вороху до машини здійснюється шнековими живильниками. Далі матеріал транспортується ковшовим елеватором і подається на решітну поверхню. Великі домішки, розміри яких перевищують отвори решета, залишаються на його поверхні та відводяться окремим потоком. Основна частина зернової маси проходить крізь решето і надходить до наступних зон очищення.

Особливістю МЗП-10 є використання двоступеневої аспірації, яка реалізується у похилому та вертикальному каналах. У процесі руху зернова суміш двічі піддається дії повітряного потоку, створеного ротором. Лопатки ротора захоплюють матеріал, надають йому додаткового прискорення та сприяють рівномірному розподіленню по робочій площині решіт. Завдяки цьому підвищується інтенсивність контакту зернового матеріалу з повітрям і покращуються умови відокремлення легких домішок.

Дрібні частинки, збираються у спеціальному бункері. Очищене зерно після проходження робочих зон набуває необхідної швидкості та виводиться з машини через кожух. Відокремлені легкі домішки транспортуються повітряним потоком до зони осадження та видаляються з технологічного процесу.

Перевагою конструкції МЗП-10 є поєднання решітного очищення із двоступеневою аспіраційною обробкою, що дозволяє підвищити якість розділення зернового вороху. Замкнена повітряна система зменшує втрати повітря та сприяє зниженню запиленості приміщення.

Разом із тим машина має певні конструктивні обмеження. Одним із найбільш суттєвих недоліків є недостатній об'єм осадової камери. За інтенсивної роботи це ускладнює повне осідання легких домішок і пилових частинок. Частина дрібнодисперсних домішок може залишатися у циркуляційному повітряному потоці, що знижує стабільність аспіраційного процесу та загальну ефективність очищення зернового матеріалу.

					МІС 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, для підвищення якості роботи машини доцільним напрямом є удосконалення осадового пристрою з метою збільшення ефективності видалення пилу та легких домішок із повітряного потоку.

Сепаратор СПО-80 [10] виробництва Хорольського механічного заводу належить до високопродуктивних машин попереднього очищення зерна. Його застосовують на елеваторах, зерносушильних комплексах та великих агропідприємствах.

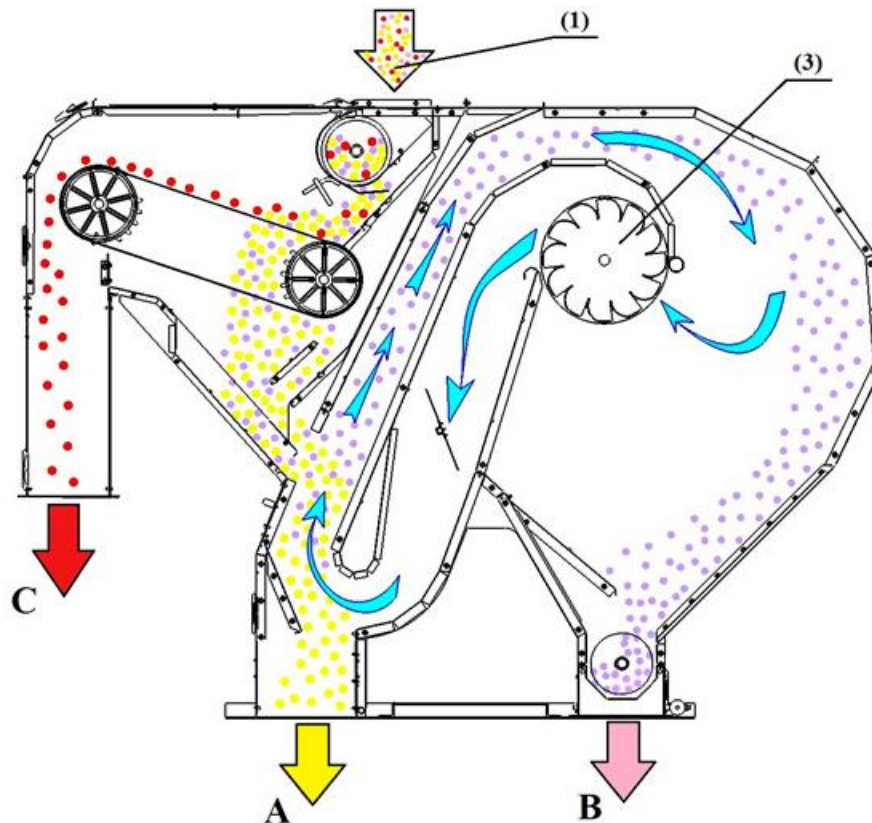


Рис. 2.4. Функціональна схема роботи сепаратора СПО-80 (ХМЗ) [10]

Основу конструкції складає система аспіраційних каналів, інерційний пиловловлювач та осадова камера збільшеного об'єму. Завдяки значній площі осадження забезпечується зменшення швидкості руху повітря та підвищення ефективності видалення домішок.

До переваг СПО-80 належать:

- висока продуктивність;
- надійність конструкції;
- ефективне видалення пилових домішок;
- можливість роботи в безперервному режимі.

Недоліком є значні габаритні розміри осадової камери, що збільшують металоємність конструкції та вартість виготовлення.

Проведений аналіз показує, що сучасні інерційні сепаратори мають спільний принцип роботи, проте відрізняються конструкцією пневмосепараційних каналів, способами формування повітряного потоку та будовою осадкових пристроїв.

Найкращі показники очищення забезпечують машини, в яких реалізовано багатоступеневе осадження домішок та рівномірний розподіл повітряних потоків. Водночас більшість існуючих конструкцій характеризуються недостатньою ефективністю роботи осадкових камер, особливо під час очищення зерна з високим вмістом пилу та легких домішок.

Аналіз конструкцій сепараторів ІСМ-5, САД-5, МЗПІ-10, СПО-80 та інших аналогічних машин свідчить, що подальше підвищення ефективності інерційної сепарації доцільно здійснювати шляхом удосконалення осадкових пристроїв, спрямованих на збільшення ступеня осадження легких домішок, зниження турбулентності повітряних потоків та мінімізацію втрат корисного зерна. Саме цей напрям покладено в основу подальшої модернізації інерційного сепаратора, що розглядається у даній кваліфікаційній роботі.

2.3 Напрямки удосконалення інерційного сепаратора

Проведений аналіз конструкції інерційного прямооточного сепаратора та результатів його експлуатації показав, що одним із факторів, які обмежують ефективність очищення зернового матеріалу, є недостатня інтенсивність видалення пилоподібних і легких органічних домішок із циркуляційного повітряного потоку.

Особливістю досліджуваного сепаратора є використання замкненої пневматичної системи, в якій повітря після проходження зони сепарації повертається до робочого процесу. Така схема дозволяє зменшити енергетичні витрати та скоротити викиди запиленого повітря в навколишнє середовище. Разом із тим ефективність її функціонування значною мірою залежить від роботи осадкового пристрою.

					МІС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

У процесі експлуатації встановлено, що наявний об'єм осадової камери не забезпечує повного осадження дрібнодисперсних частинок. За високих швидкостей руху повітря частина легких домішок залишається у завислому стані та повторно потрапляє до циркуляційного контуру. Унаслідок цього поступово зростає концентрація пилу в повітряному середовищі сепаратора, що негативно впливає на процес аеродинамічного розділення зернової суміші та знижує ефективність очищення.

Для усунення зазначеного недоліку запропоновано модернізувати осадовий пристрій шляхом встановлення жалюзійної пластини у нижній частині осадової камери перед входом повітря до вентилятора (рис. 2.5). Запропонований елемент виконано у вигляді системи похилих напрямних пластин, які змінюють траєкторію руху повітряного потоку та зменшують його швидкість у зоні осадження.

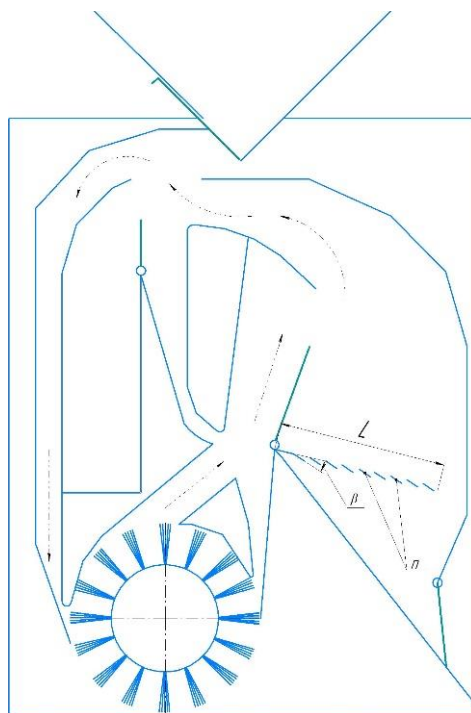


Рис. 2.5. Схема пневмосистеми удосконаленого сепаратора ПС

Під час проходження через жалюзійний пристрій повітря змушене багаторазово змінювати напрямок руху. Частинки домішок, що мають більшу масу та інерцію порівняно з повітрям, не здатні повністю повторювати складну траєкторію потоку і під дією сили тяжіння осідають у нижню частину камери.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Завдяки цьому зменшується ймовірність їх повторного захоплення повітрям та повернення до робочої зони сепаратора.

Запропонована модернізація не потребує суттєвого ускладнення конструкції машини та може бути реалізована без зміни основних вузлів пневмосистеми. Встановлення жалюзійного осаджувача дозволить підвищити ступінь очищення циркуляційного повітря, знизити концентрацію пилоподібних домішок у робочому контурі та покращити умови розділення зернової суміші за аеродинамічними властивостями.

Очікується, що впровадження вдосконаленого осадкового пристрою сприятиме підвищенню ефективності вилучення легких домішок, зменшенню втрат корисного продукту та покращенню загальної технологічної ефективності роботи інерційного сепаратора.

					МІС 00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Агротехнічні вимоги до очищення зерна та проектування сепараторів

Згідно з агротехнічними вимогами зерноочисні машини повинні забезпечувати ефективне видалення легких, крупних та дрібних домішок при мінімальних втратах основного продукту. Якість очищення продовольчого зерна повинна відповідати вимогам чинних стандартів щодо допустимого вмісту домішок, а під час підготовки насіннєвого матеріалу необхідно забезпечувати високу чистоту посівного матеріалу та збереження його біологічних властивостей [2, 3].

Основними агротехнічними вимогами до процесу очищення зерна є:

- повне або максимально можливе видалення легких органічних домішок, полови та пилу;
- відокремлення щуплого, пошкодженого та недозрілого зерна;
- мінімальні втрати зерна основної культури з відходами;
- відсутність механічного пошкодження зернівок у процесі очищення;
- забезпечення стабільної якості очищення незалежно від вологості та засміченості вихідного матеріалу;
- можливість роботи з різними зерновими, зернобобовими та олійними культурами;
- висока продуктивність при мінімальних енергетичних витратах.

Під час попереднього очищення основним завданням є видалення великих, легких та випадкових домішок із зернового вороху перед сушінням або тривалим зберіганням. Машини попереднього очищення повинні забезпечувати видалення не менше 50 % легких домішок та не менше 20 % дрібних домішок. При цьому вміст повноцінного зерна у відходах не повинен перевищувати 0,2 % від маси зерна, що надходить на очищення [15].

Первинне очищення виконується після сушіння або як самостійна операція підготовки продовольчого зерна. У цьому випадку зерноочисні машини повинні забезпечувати виділення основної маси домішок із доведенням зерна до кондиційного стану. Втрати повноцінного зерна у відходах не повинні

					МІС 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

перевищувати 1,5 %, а чистота зерна після очищення повинна становити не менше 60–70 % залежно від культури та її призначення.

Вторинне очищення застосовується переважно під час підготовки насіннєвого матеріалу. Основним завданням є відокремлення важковідокремлюваних домішок, щуплого, травмованого та біологічно неповноцінного зерна. Після вторинного очищення чистота насіннєвого матеріалу повинна становити не менше 98–99 %, а втрати повноцінного зерна у відходах не повинні перевищувати 3–5 %, оскільки частина зерен цілеспрямовано видаляється разом із низькоякісними фракціями [15].

Для виконання зазначених агротехнічних вимог конструкція зерноочисної машини повинна забезпечувати оптимальні умови взаємодії зернового матеріалу з робочими органами.

При проектуванні інерційних сепараторів необхідно враховувати ряд конструктивних та технологічних вимог, які безпосередньо впливають на якість очищення зерна.

До основних вимог проектування належать:

- забезпечення рівномірного розподілу зернового потоку по ширині робочої зони;
- створення стабільного повітряного потоку із заданими аеродинамічними параметрами;
- мінімізація турбулентних зон у сепараційній та осадовій камерах;
- забезпечення ефективного осадження пилоподібних і легких домішок;
- виключення можливості повторного потрапляння осаджених частинок у повітряний потік;
- забезпечення рівномірної циркуляції повітря в замкнутій пневмосистемі;
- зниження аеродинамічного опору окремих елементів конструкції;
- можливість регулювання режимів роботи залежно від виду культури;
- простота технічного обслуговування та очищення робочих органів.

3.2. Опис інерційного сепаратора зерна як об'єкту розробки

Пневмосепаратор ІПС (рис. 3.1) [11] належить до стаціонарних зерноочисних машин аеродинамічного типу та призначений для очищення зернових сумішей від легких органічних і мінеральних домішок. Несучою основою конструкції є дві вертикальні боковини, які встановлені паралельно одна до одної та закріплені на опорній рамі. Між ними формується внутрішній робочий простір, у якому розташовані елементи пневматичної системи та механізми сепаратора.

У межах корпусу змонтовані основні функціональні вузли машини: пневмосепараційний канал, щітково-лопатевий ротор, пруткове підсівне решето, напрямні жалюзі, відбивні елементи, осадові камери, приймачі продуктів сепарації, регулювальні заслінки та допоміжні конструктивні елементи. Сукупність зазначених вузлів забезпечує послідовне очищення зернового матеріалу та його подальше транспортування до вихідного патрубку.

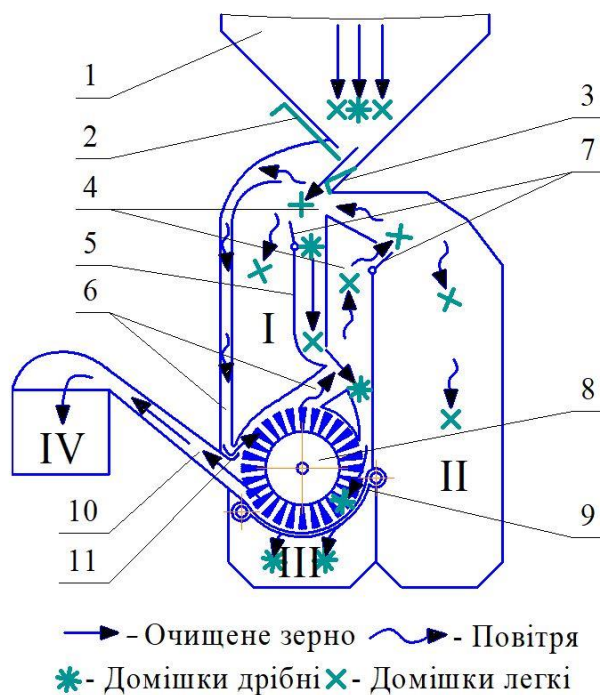


Рис. 3.1. Функціональна схема інерційного сепаратора

За принципом дії інерційно пневматичний сепаратор є повітряно-решітною машиною, у якій процес очищення поєднує механічне та аеродинамічне розділення компонентів зернової суміші. Після надходження в робочу зону зерновий ворох проходить через підсівне пруткове решето.

Подальше очищення відбувається у пневмосепараційному каналі під впливом повітряного потоку, який забезпечує видалення пилу, полови, легких органічних домішок та інших частинок, що відрізняються від основного зерна аеродинамічними характеристиками.

Ключовим робочим органом сепаратора є щітково-лопатевий ротор. Його особливістю є суміщення двох технологічних функцій. Під час обертання ротор створює необхідний повітряний потік для реалізації процесу пневмосепарації та одночасно забезпечує транспортування очищеного зерна до вивантажувального рукава. Завдяки цьому відпадає необхідність застосування окремих вентиляторів або додаткових транспортуючих пристроїв.

У процесі роботи зерновий матеріал рівномірно розподіляється по ширині робочої зони та надходить на пруткове решето. Під час руху по його поверхні відбувається видалення дрібних домішок, після чого зерно потрапляє в зону дії щітково-лопатевого ротора. Щітки ротора захоплюють очищений матеріал та переміщують його до вивантажувального рукава. Транспортування зерна здійснюється під дією відцентрових та інерційних сил, що виникають у результаті обертання ротора.

Привід робочого органа відбувається від електродвигуна, який розташований на зовнішній стороні корпусу. Передача крутного моменту до ротора здійснюється через механічну привідну систему, що забезпечує стабільний швидкісний режим роботи машини.

Конструкція пневмосепараційного каналу сформована таким чином, що з одного боку його межі утворює напрямний елемент, а з іншого -поверхня підсівного решета. Таке компонування дозволяє формувати необхідну структуру повітряного потоку та забезпечувати ефективно відокремлення легких домішок. За решетом розміщений пустотілий короб, який виконує функцію приймача та транспортного каналу для очищеного зерна, що переміщується до вихідного рукава під впливом інерційних сил, створюваних ротором.

Аналіз конструкції пневмосистеми сепаратора ІПС показує, що одним із факторів, які стримують підвищення ефективності очищення зернового матеріалу, є недостатній об'єм осадової камери. За таких умов швидкість руху повітряного потоку в зоні осадження залишається відносно високою, що ускладнює випадання пилоподібних частинок та легких органічних домішок. Частина цих домішок повторно залучається до циркуляційного повітряного потоку та повертається до робочої зони сепаратора. У результаті знижується ступінь очищення повітря, погіршуються умови аеродинамічного розділення зернової суміші та зменшується загальна ефективність роботи машини.

Саме тому одним із перспективних напрямів удосконалення конструкції є модернізація осадового пристрою шляхом встановлення жалюзійного осаджувача, який забезпечуватиме інтенсивніше осідання дрібнодисперсних домішок перед повторним надходженням повітря до циркуляційного контуру.

3.3 Технологічний розрахунок пневмосистеми інерційного сепаратора

Для виконання технологічного, кінематичного, силового розрахунків приймаємо такі вихідні дані: продуктивність сепаратора $Q = 2$ т/год; культура – пшениця; початкова засміченість зернового вороху $Z = 12\%$;

Осадова камера має ширину $B = 380$ мм, глибину $b = 200$ мм та висоту $H = 640$ мм. У правій частині камери встановлюється жалюзійна касета з кількістю жалюзій $z_j = 9$ шт. Кут нахилу жалюзій становить $\alpha = 30^\circ$.

Матеріал жалюзій – оцинкований листовий метал.

Визначення секундної продуктивності сепаратора

Масову подачу зернового матеріалу визначаємо за формулою [14]

$$q_m = \frac{Q \cdot 1000}{3600},$$

де Q – продуктивність сепаратора, т/год.

Після підстановки вихідних даних отримаємо

$$q_m = \frac{2 \cdot 1000}{3600} = 0,556 \text{ кг/с.}$$

Отже, за одну секунду через робочу зону сепаратора проходить приблизно 0,556 кг зернового вороху.

Визначення кількості домішок у зерновому матеріалі

Масову кількість домішок, що надходять до сепаратора, визначаємо за залежністю

$$q_d = q_m \cdot \frac{Z}{100},$$

де Z – початкова засміченість зернового матеріалу, %.

Тоді

$$q_d = 0,556 \cdot \frac{12}{100} = 0,0667 \text{ кг/с.}$$

кількість домішок становить

$$Q_d = Q \cdot \frac{Z}{100} = 2 \cdot 0,12 = 0,24 \text{ т/год.}$$

Маса повноцінного зерна, що входить до складу вороху, дорівнює

$$Q_z = Q - Q_d = 2 - 0,24 = 1,76 \text{ т/год.}$$

Таким чином, при продуктивності 2 т/год до сепаратора надходить близько 0,24 т/год домішок та 1,76 т/год зерна основної культури.

3.3.1 Розрахунок основних параметрів лопатевого ротора сепаратора

У модернізованому інерційному сепараторі формування повітряного потоку здійснюється щітково-лопатевим ротором (рис. 3.2). На відміну від схем, у яких повітряний потік створюється окремим вентилятором, у даній конструкції ротор одночасно виконує декілька функцій: переміщує зерновий матеріал по прутковому решету, сприяє видаленню дрібних домішок, формує

					МІС 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

циркуляційний повітряний потік і забезпечує вивантаження очищеного зерна у вивантажувальний рукав.

Тому під час визначення його параметрів необхідно враховувати не тільки кінематичний режим обертання, а й здатність ротора забезпечувати потрібну інтенсивність руху повітря в пневмосистемі.

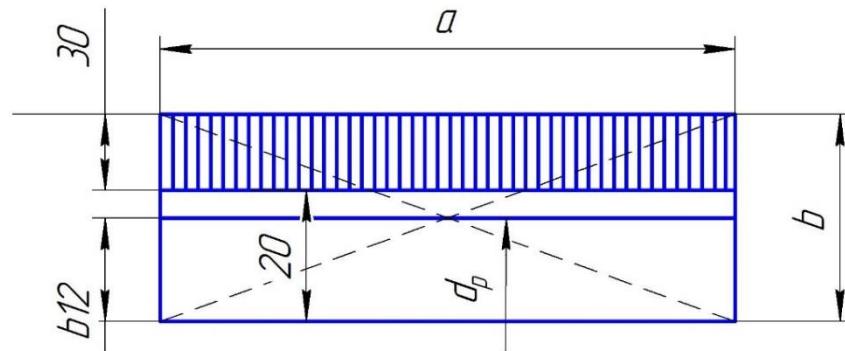


Рис. 3. 2. Конструктивні параметри щіток лопатевого ротора

Масову подачу повітря, яка теоретично може бути переміщена щітками ротора, визначаємо за залежністю:

$$m_{\pi} = \rho \cdot F_{\text{щ}} \cdot z \cdot V_{\text{щ}},$$

де ρ - густина повітря, кг/м³;

$F_{\text{щ}}$ - площа поперечного перерізу однієї щітки, м²;

z - кількість щіток ротора, шт.;

$V_{\text{щ}}$ - лінійна швидкість робочої кромки щітки, м/с.

Густину повітря для нормальних умов приймаємо:

$$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3.$$

Площа поперечного перерізу однієї щітки визначається за формулою:

$$F_{\text{щ}} = a \cdot b,$$

де a - довжина щітки, м; b - висота щітки, м.

Для прийнятої конструкції ротора довжина щітки дорівнює довжині робочої частини ротора:

$$a = 0,46 \text{ м}, \quad b = 0,05 \text{ м}.$$

Тоді:

$$F_{\text{щ}} = 0,46 \cdot 0,05 = 0,023 \text{ м}^2.$$

Кількість щіток на роторі становить:

$$z = 24 \text{ шт.}$$

Кутова швидкість ротора визначається за виразом:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

де $n = 1400$ об/хв - частота обертання ротора.

Після підстановки числових значень:

$$\omega = \frac{3,1416 \cdot 1400}{30} = 146,6 \text{ рад/с.}$$

Радіус розташування робочої кромки щітки приймаємо з урахуванням зовнішнього діаметра ротора та висоти щітки:

$$r_{\text{щ}} = \frac{D - b}{2},$$

де $D = 0,25$ м - діаметр щіткового ротора.

Тоді:

$$r_{\text{щ}} = \frac{0,25 - 0,05}{2} = 0,10 \text{ м.}$$

Лінійна швидкість робочої кромки щітки становить:

$$V_{\text{щ}} = \omega \cdot r_{\text{щ}}.$$

Отже:

$$V_{\text{щ}} = 146,6 \cdot 0,10 = 14,66 \text{ м/с.}$$

Теоретична масова подача повітря щітковим ротором дорівнює:

$$m_{\text{п}} = 1,2 \cdot 0,023 \cdot 24 \cdot 14,66 = 9,71 \text{ кг/с.}$$

Теоретичну об'ємну подачу повітря визначаємо за формулою:

$$Q_{\pi} = \frac{m_{\pi}}{\rho}.$$

Після підстановки:

$$Q_{\pi} = \frac{9,71}{1,2} = 8,09 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отримане значення характеризує максимально можливу теоретичну подачу повітря без урахування прослизання, витоків, неповного заповнення міжщіткового простору та аеродинамічного опору каналів. Фактична витрата повітря в робочих каналах визначається за їхнім живим перерізом і заданою швидкістю потоку.

Для оцінки інтенсивності обертального руху ротора визначаємо кінематичний критерій:

$$K = \frac{\omega^2 \cdot R}{g},$$

де $R = D/2 = 0,125$ м - зовнішній радіус ротора;

$g = 9,81$ м/с² - прискорення вільного падіння.

$$K = \frac{146,6^2 \cdot 0,125}{9,81} = 273,8.$$

Таке значення критерію свідчить, що ротор працює в інтенсивному режимі та здатний створювати достатній інерційний вплив на зерновий матеріал.

Швидкість повітряного потоку, яка формується ротором, орієнтовно визначаємо через коефіцієнт використання колової швидкості:

$$V_{\pi} = \xi \cdot V_{\text{щ}},$$

де ξ - коефіцієнт пропорційності, що враховує конструкцію ротора та кількість щіток. Для ротора з 24 щітками приймаємо $\xi = 0,82$.

$$V_{\pi} = 0,82 \cdot 14,66 = 12,0 \text{ м/с}.$$

Отримана швидкість є більшою за швидкість повітря в горизонтальному та вертикальному каналах, що становить відповідно 5,5 і 6,5 м/с. Це підтверджує, що прийняті параметри ротора забезпечують необхідний запас для формування циркуляційного повітряного потоку.

3.3.2 Розрахунок витрати повітря через горизонтальний та вертикальний канали

Для оцінки фактичної роботи пневмосистеми визначимо витрату повітря в основних робочих каналах. Оскільки ширина робочої зони відповідає довжині щіткового ротора, приймаємо:

$$B_k = 0,46 \text{ м.}$$

Глибина каналу за компонуванням машини становить:

$$b_k = 0,20 \text{ м.}$$

Площа живого перерізу каналу дорівнює:

$$F_k = B_k \cdot b_k.$$

$$F_k = 0,46 \cdot 0,20 = 0,092 \text{ м}^2.$$

Витрату повітря визначаємо за залежністю:

$$Q = F \cdot V,$$

де F - площа живого перерізу каналу, м^2 ;

V - швидкість повітряного потоку, м/с .

Для горизонтального каналу при швидкості $V_r = 5,5 \text{ м/с}$:

$$Q_r = 0,092 \cdot 5,5 = 0,506 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масова витрата повітря в горизонтальному каналі становить:

$$m_r = \rho \cdot Q_r.$$

$$m_r = 1,2 \cdot 0,506 = 0,607 \text{ кг/с}.$$

Для вертикального каналу при швидкості $V_B = 6,5$ м/с:

$$Q_B = 0,092 \cdot 6,5 = 0,598 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$m_B = 1,2 \cdot 0,598 = 0,718 \text{ кг/с}.$$

Середню розрахункову витрату повітря в пневмосистемі приймаємо як середнє значення витрат у горизонтальному та вертикальному каналах:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{Q_{\Gamma} + Q_B}{2}.$$

$$Q_{\text{сер}} = \frac{0,506 + 0,598}{2} = 0,552 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Порівнюємо фактичну витрату з теоретично можливою витратою, яку може створювати щітковий ротор:

$$k_B = \frac{Q_{\text{сер}}}{Q_{\Pi}}.$$

$$k_B = \frac{0,552}{8,09} = 0,068.$$

Отримане значення показує, що фактично використовується близько 6,8 % теоретичної подачі ротора. Це є закономірним, оскільки реальна витрата обмежується опором каналів, конструкцією корпусу, роботою осадової камери, щільністю зернового шару та частковими втратами повітря в місцях зміни напрямку потоку.

3.3.3 Розрахунок параметрів осадової камери та жалюзійної касети

Модернізований осадовий пристрій виконано у вигляді жалюзійної касети, установленної в осадовій камері (рис. 3.3). Її призначення полягає у зміні напрямку руху повітряного потоку, зменшенні швидкості частинок домішок та створенні умов для їх осадження в нижній частині камери.

Розміри осадової камери приймаємо такими:

$$B_o = 0,38 \text{ м}, \quad b_o = 0,20 \text{ м}, \quad H_o = 0,64 \text{ м},$$

					МІС 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

де B_o - ширина камери; b_o - глибина камери; H_o - висота камери.

Об'єм осадової камери визначається за формулою:

$$V_o = B_o \cdot b_o \cdot H_o.$$

$$V_o = 0,38 \cdot 0,20 \cdot 0,64 = 0,0486 \text{ м}^3.$$

Площа поперечного перерізу осадової камери для проходження повітря становить:

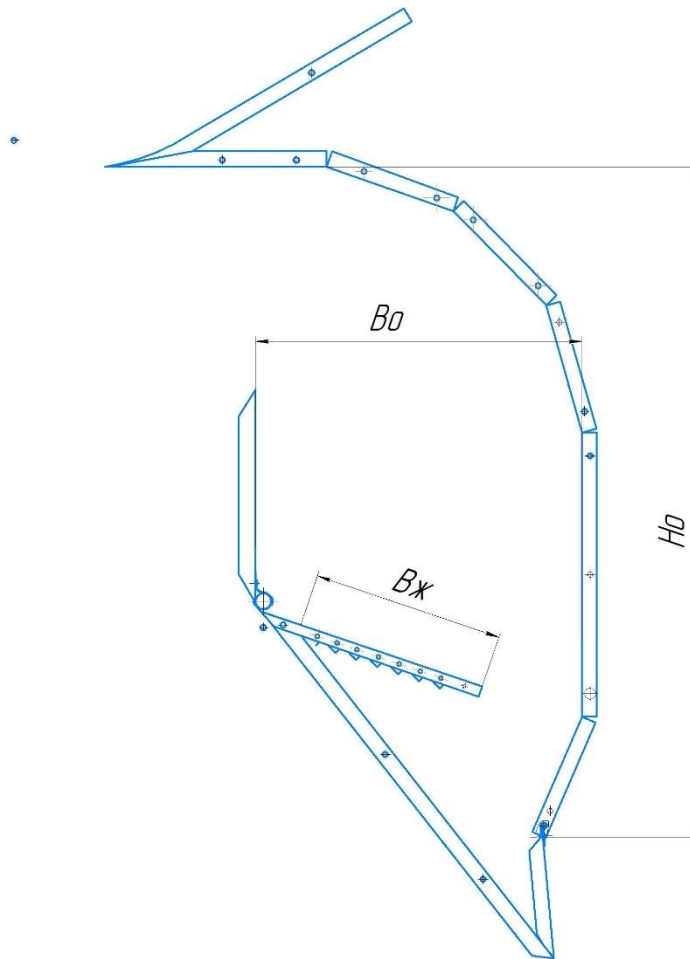


Рис. 3.3. Схема до визначення основних параметрів осадової камери.

$$F_o = B_o \cdot H_o.$$

$$F_o = 0,38 \cdot 0,64 = 0,243 \text{ м}^2.$$

Середня швидкість повітря в осадовій камері дорівнює:

$$V_o = \frac{Q_{\text{сер}}}{F_o}.$$

$$V_0 = \frac{0,552}{0,243} = 2,27 \text{ м/с.}$$

Отримана швидкість є меншою порівняно зі швидкостями в горизонтальному та вертикальному каналах. Це створює сприятливі умови для випадання частини легких домішок і пилу в осадовій зоні.

Час перебування повітря в об'ємі осадової камери визначаємо за залежністю:

$$t_0 = \frac{V_0}{Q_{\text{сер}}}.$$

Щоб уникнути змішування позначень, об'єм камери позначимо як $W_0 = 0,0486 \text{ м}^3$. Тоді:

$$t_0 = \frac{W_0}{Q_{\text{сер}}} = \frac{0,0486}{0,552} = 0,088 \text{ с.}$$

Жалюзійна касета має 9 жалюзей. Ширина однієї жалюзі становить 14 мм, а відстань між жалюзіями - 26 мм. Ширина касети дорівнює довжині ротора:

$$B_{\text{ж}} = 0,46 \text{ м.}$$

Кількість міжжалюзійних проходів приймаємо:

$$z_{\text{ж}} = 9.$$

Площа живого перерізу жалюзійної касети визначається за формулою:

$$F_{\text{ж}} = z_{\text{ж}} \cdot s \cdot B_{\text{ж}},$$

де $s = 0,026 \text{ м}$ - відстань між жалюзіями.

$$F_{\text{ж}} = 9 \cdot 0,026 \cdot 0,46 = 0,1076 \text{ м}^2.$$

Швидкість проходження повітря крізь жалюзійну касету становить:

$$V_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{сер}}}{F_{\text{ж}}}.$$

$$V_{\text{ж}} = \frac{0,552}{0,1076} = 5,13 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт живого перерізу касети визначимо як відношення площі відкритих щілин до загальної площі касети. Висоту касети приймаємо $H_{\text{ж}} = 0,39$ м.

$$\varphi_{\text{ж}} = \frac{F_{\text{ж}}}{B_{\text{ж}} \cdot H_{\text{ж}}}.$$

$$\varphi_{\text{ж}} = \frac{0,1076}{0,46 \cdot 0,39} = 0,60.$$

Отже, відкрита частина касети становить близько 60 % її загальної площі. Це дозволяє пропускати необхідну кількість повітря без надмірного збільшення аеродинамічного опору, водночас забезпечуючи багаторазову зміну напрямку руху потоку.

3.3.4 Оцінка ефективності жалюзійної касети

Ефективність жалюзійного осаджувача пов'язана з інерційними властивостями частинок. Частинки пилу та легких домішок, на відміну від повітря, не можуть миттєво змінювати напрям руху під час проходження через похилі жалюзі. У результаті частина домішок осідає на поверхнях пластин або випадає в нижню частину осадової камери.

Для орієнтовної оцінки інерційного осадження використаємо критерій Стокса:

$$Stk = \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot d_{\text{ч}}^2 \cdot V_{\text{ж}}}{18 \cdot \mu \cdot s},$$

де $\rho_{\text{ч}}$ - густина частинки, кг/м^3 ; $d_{\text{ч}}$ - еквівалентний діаметр частинки, м; $V_{\text{ж}}$ - швидкість повітря в жалюзійній касеті, м/с; μ - динамічна в'язкість повітря, $\text{Па} \cdot \text{с}$; s - відстань між жалюзіями, м.

Для пилоподібних частинок приймаємо:

$$\rho_{\text{ч}} = 1200 \text{ кг/м}^3, \quad d_{\text{ч}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad \mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Тоді:

$$Stk = \frac{1200 \cdot (30 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 5,13}{18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,026} = 0,658.$$

Орієнтовний коефіцієнт осадження частинок у жалюзійній касеті визначимо за експоненціальною залежністю:

$$\eta_{\text{ж}} = 1 - e^{-z_{\text{ж}} \cdot Stk \cdot \sin \alpha},$$

де $z_{\text{ж}} = 9$ - кількість жалюзій; $\alpha = 30^\circ$ - кут нахилу жалюзей.

$$\eta_{\text{ж}} = 1 - e^{-9 \cdot 0,658 \cdot \sin 30^\circ} = 1 - e^{-2,961} = 0,948.$$

У відсотках:

$$\eta_{\text{ж}} = 0,948 \cdot 100 = 94,8\%.$$

Отримане значення слід розглядати як розрахунково-орієнтовне, оскільки фактичний ступінь уловлювання залежить від форми домішок, вологості зернового матеріалу, нерівномірності потоку та запиленості повітря. Водночас розрахунок показує, що встановлення жалюзійної касети в осадовій камері суттєво підвищує інерційне відокремлення пилу та легких органічних домішок.

Для дрібніших частинок діаметром 10 мкм критерій Стокса і коефіцієнт осадження будуть меншими:

$$Stk_{10} = Stk \cdot \left(\frac{10}{30}\right)^2 = 0,658 \cdot 0,111 = 0,073.$$

$$\eta_{10} = 1 - e^{-9 \cdot 0,073 \cdot \sin 30^\circ} = 0,280 = 28,0\%.$$

Таким чином, жалюзійний пристрій найбільш ефективно видаляє легкі органічні домішки та пилові частинки середньої і крупної дисперсності, а для дрібнодисперсного пилу виконує функцію додаткового інерційного осаджувача в складі замкненої пневмосистеми.

3.4 Кінематичний розрахунок щітково-лопатевого ротора

Визначення робочого діаметра ротора

Оскільки щітки виступають за межі основного барабана, робочий діаметр ротора визначаємо з урахуванням висоти щіток:

$$D_p = D + 2h.$$

$$D_p = 0,25 + 2 \cdot 0,05 = 0,35 \text{ м.}$$

Кутова швидкість ротора

Кутову швидкість ротора визначаємо за формулою

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

де n – частота обертання ротора, об/хв.

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1400}{30} = 146,5 \text{ рад/с.}$$

Колова швидкість кінців щіток становить

$$u = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n}{60}.$$

$$u = \frac{3,14 \cdot 0,35 \cdot 1400}{60} = 25,6 \text{ м/с.}$$

Отримана швидкість є достатньою для створення інтенсивного повітряного потоку та транспортування очищеного зерна до вивантажувального рукава.

Частоту проходження щіток визначаємо за залежністю

$$f_b = \frac{z \cdot n}{60},$$

де z – кількість щіток на роторі.

$$f_b = \frac{24 \cdot 1400}{60} = 560 \text{ с}^{-1}.$$

Проміжок часу між проходженням сусідніх щіток дорівнює

$$t_b = \frac{1}{f_b} = \frac{1}{560} = 0,00179 \text{ с.}$$

Така частота взаємодії щіток із зерновим матеріалом забезпечує безперервне переміщення зерна по прутковому решету та стабільне його вивантаження.

3.5 Силовий розрахунок

Крутний момент на ва:

$$M_t = \frac{N}{\omega},$$

де N – потужність електродвигуна, Вт.

$$M_t = \frac{1500}{146,5} = 10,24 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тангенціальну силу, що відповідає переданій потужності, визначаємо так:

$$F_t = \frac{N}{u}.$$

$$F_t = \frac{1500}{25,6} = 58,6 \text{ Н}.$$

З урахуванням можливих нерівномірностей подачі зернового матеріалу вводимо коефіцієнт динамічного навантаження $k_d = 1,5$:

$$F_{t.max} = k_d \cdot F_t.$$

$$F_{t.max} = 1,5 \cdot 58,6 = 87,9 \text{ Н}.$$

Вагу ротора визначаємо за формулою

$$G = m \cdot g,$$

де m – маса ротора, кг; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$G = 3,6 \cdot 9,81 = 35,3 \text{ Н}.$$

Розрахункове навантаження на вал приймаємо як геометричну суму ваги ротора та максимальної тангенціальної сили:

$$F = \sqrt{G^2 + F_{t.max}^2}.$$

$$F = \sqrt{35,3^2 + 87,9^2} = 94,7 \text{ Н}.$$

Потрібну потужність із урахуванням коефіцієнта запасу $k_N = 1,2$ визначаємо за формулою

$$N_{potr} = k_N \cdot M_t \cdot \omega.$$

$$N_{potr} = 1,2 \cdot 10,24 \cdot 146,5 = 1800 \text{ Вт} = 1,8 \text{ кВт}.$$

Оскільки паспортна потужність електродвигуна становить 1,5 кВт, а розрахунок враховує підвищений коефіцієнт запасу для найважчих режимів, експлуатація машини повинна здійснюватися без перевищення допустимої подачі зернового матеріалу. Для номінального режиму роботи без додаткового коефіцієнта запасу потрібна потужність становить 1,5 кВт, що відповідає встановленому електродвигуну.

3.6 Розрахунок вала щітково-лопатевого ротора на міцність

Вихідні дані для розрахунку вала

Діаметр вала ротора $d = 28$ мм, відстань між підшипниковими опорами $l = 170$ мм, матеріал вала – сталь 45. Ротор встановлений безпосередньо на вал електродвигуна, тому додаткові сили від пасової або ланцюгової передачі не враховуються.

Для спрощеного розрахунку приймаємо, що розрахункове навантаження прикладене посередині між опорами. Тоді максимальний згинальний момент дорівнює [14]

$$M_b = \frac{F \cdot l}{4}.$$

$$M_b = \frac{94,7 \cdot 0,17}{4} = 4,02 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження згину для круглого суцільного вала визначаємо за формулою

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot M_b}{\pi \cdot d^3}.$$

Підставляємо $M_b = 4,02 \text{ Н} \cdot \text{м}$ та $d = 0,028 \text{ м}$:

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot 4,02}{3,14 \cdot 0,028^3} = 1,87 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,87 \text{ МПа.}$$

Дотичні напруження від кручення визначаємо так:

$$\tau_t = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3}.$$

$$\tau_t = \frac{16 \cdot 10,24}{3,14 \cdot 0,028^3} = 2,37 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,37 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження за енергетичною теорією міцності визначаємо за формулою

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2}.$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{1,87^2 + 3 \cdot 2,37^2} = 4,51 \text{ МПа.}$$

Для сталі 45 приймаємо допустиме напруження $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$.
Коефіцієнт запасу міцності становить

$$n_s = \frac{[\sigma]}{\sigma_{eq}}.$$

$$n_s = \frac{60}{4,51} = 13,3.$$

Отриманий коефіцієнт запасу свідчить, що вал діаметром 28 мм має достатню міцність для роботи щітково-лопатевого ротора за прийнятих навантажень.

3.6.1 Розрахунок жалюзійної пластини на дію повітряного потоку

Динамічний тиск повітря в зоні проходження через жалюзійну касету визначаємо за формулою

$$p_d = \frac{\rho \cdot v_j^2}{2},$$

де $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря;

v_j – швидкість повітря в жалюзійній касеті, м/с.

$$p_d = \frac{1,2 \cdot 3,70^2}{2} = 8,21 \text{ Па.}$$

Площу однієї жалюзі визначаємо за формулою

$$A_1 = a \cdot B.$$

$$A_1 = 0,014 \cdot 0,38 = 0,00532 \text{ м}^2.$$

Загальна площа дев'яти жалюзій дорівнює

$$A_{\Sigma} = z_j \cdot A_1 = 9 \cdot 0,00532 = 0,0479 \text{ м}^2.$$

Аеродинамічне навантаження на касету визначаємо за формулою

$$P_j = p_d \cdot A_{\Sigma}.$$

$$P_j = 8,21 \cdot 0,0479 = 0,393 \text{ Н.}$$

З урахуванням можливих пульсацій повітряного потоку приймаємо коефіцієнт запасу $k_p = 3$:

$$P_{j.max} = k_p \cdot P_j = 3 \cdot 0,393 = 1,18 \text{ Н.}$$

Для перевірконого розрахунку приймаємо, що одна жалюзі працює як тонка пластина, закріплена по краях. Рівномірне навантаження на одну жалюзі становить

$$q_j = p_d \cdot a.$$

$$q_j = 8,21 \cdot 0,014 = 0,115 \text{ Н/м.}$$

Максимальний згинальний момент для смуги, умовно прийнятої як балка на двох опорах, визначаємо за формулою

$$M_j = \frac{q_j \cdot B^2}{8}.$$

$$M_j = \frac{0,115 \cdot 0,38^2}{8} = 0,00208 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Напруження згину тонкої пластини визначаємо за формулою

$$\sigma_j = \frac{6 \cdot M_j}{a \cdot \delta^2}.$$

$$\sigma_j = \frac{6 \cdot 0,00208}{0,014 \cdot 0,00055^2} = 2,95 \text{ МПа.}$$

Для оцинкованого листового металу приймаємо допустиме напруження $[\sigma_j] = 120 \text{ МПа}$. Коефіцієнт запасу міцності жалюзі становить

$$n_j = \frac{[\sigma_j]}{\sigma_j} = \frac{120}{2,95} = 40,7.$$

Отже, жалюзійна пластина товщиною 0,55 мм має достатню міцність при дії розрахункового повітряного навантаження. Запропонована конструкція є працездатною та може бути застосована в осадовій камері інерційного сепаратора.

3.7.Розрахунок шпонкового з'єднання

Для передачі крутного моменту від вала до маточини ротора приймаємо призматичну шпонку для вала діаметром $d = 28 \text{ мм}$. За конструктивними міркуваннями приймаємо шпонку перерізом $b \times h = 8 \times 7 \text{ мм}$ і довжиною $l_{\text{ш}} = 40 \text{ мм}$.

Дотичне напруження зрізу визначаємо за залежністю [14]:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{2T}{d \cdot b \cdot l_{\text{ш}}},$$

де $T = 10,23 \text{ Н}\cdot\text{м}$ - крутний момент;

$d = 0,028 \text{ м}$ - діаметр вала;

$b = 0,008 \text{ м}$ - ширина шпонки;

$l_{\text{ш}} = 0,040 \text{ м}$ - довжина шпонки.

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{2 \cdot 10,23}{0,028 \cdot 0,008 \cdot 0,040} = 2,28 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,28 \text{ МПа.}$$

Для сталевій шпонки приймаємо допустиме напруження зрізу $[\tau_{\text{ш}}] = 60 \text{ МПа}$. Умова міцності:

$$\tau_{\text{ш}} = 2,28 \text{ МПа} < [\tau_{\text{ш}}] = 60 \text{ МПа.}$$

Отже, шпонка за напруженнями зрізу працює з достатнім запасом.

Перевірка шпонки на зминання

Напруження зминання визначаємо за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{4T}{d \cdot h \cdot l_{ш}},$$

де $h = 0,007$ м - висота шпонки.

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot 10,23}{0,028 \cdot 0,007 \cdot 0,040} = 5,22 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,22 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження зминання для даного типу з'єднання приймаємо $[\sigma_{зм}] = 100$ МПа. Перевіряємо умову міцності:

$$\sigma_{зм} = 5,22 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}.$$

Умова міцності на зминання виконується. Прийняте шпонкове з'єднання $8 \times 7 \times 40$ мм може бути використане для передачі крутного моменту від вала до маточини ротора.

Висновки до розділу

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що при продуктивності сепаратора 2 т/год секундна подача зернового матеріалу становить 0,556 кг/с, а кількість домішок при засміченості 12 % – 0,24 т/год.

Об'єм осадової камери дорівнює 0,04864 м³. Встановлення жалюзійної касети з дев'ятьма пластинами під кутом 30° забезпечує формування додаткового інерційного осаджувального елемента з ефективним живим перерізом 0,0684 м².

Кінематичний розрахунок показав, що робочий діаметр ротора з урахуванням щіток становить 0,35 м, кутова швидкість – 146,5 рад/с, а колова швидкість кінців щіток – 25,6 м/с. Це забезпечує створення повітряного потоку та вивантаження очищеного зерна до рукава.

Розрахунок жалюзійної пластини товщиною 0,55 мм показав, що напруження від дії повітряного потоку не перевищує допустимих значень. Отже, запропонована модернізація осадового пристрою є конструктивно обґрунтованою і може бути використана для підвищення ефективності очищення циркуляційного повітря в пневмосистемі інерційного сепаратора.

					МІС 00.000 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу сучасних зерноочисних машин встановлено, що інерційні сепаратори забезпечують ефективне очищення зернових сумішей від легких домішок. Водночас одним із факторів, що обмежує ефективність їх роботи, є недостатня якість очищення повітря від дрібнодисперсних домішок.

2. На підставі аналізу роботи базового сепаратора ІПС розроблено конструкцію вдосконаленого осадового пристрою у вигляді жалюзійної касети, встановленої в осадовій камері пневмосистеми. Конструкція касети включає дев'ять жалюзійних пластин шириною 14 мм, розташованих із кроком 40 мм під кутом 30° до горизонтальної площини.

3. Виконані технологічні розрахунки показали, що щітково-лопатевий ротор діаметром 250 мм, довжиною 460 мм та частотою обертання 1400 об/хв забезпечує формування повітряного потоку зі швидкістю близько 12 м/с, що є достатнім для створення необхідного аеродинамічного режиму очищення зернової суміші продуктивністю 2 т/год.

4. Проведений енергетичний аналіз підтвердив можливість ефективної роботи модернізованого сепаратора при використанні електродвигуна потужністю 1,5 кВт.

5. Розрахунок вала щітково-лопатєвого ротора на міцність показав, що вал діаметром 28 мм, виготовлений зі сталі 45, забезпечує необхідну несучу здатність і працює з достатнім запасом міцності.

6. Встановлення жалюзійної касети в осадовій камері забезпечує додаткову зміну напрямку руху циркуляційного повітряного потоку, сприяє інтенсивнішому осадженню пилоподібних та легких органічних домішок, зменшує їх повторне потрапляння до робочої зони сепаратора та підвищує загальну ефективність очищення зернової суміші.

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

Список використаної літератури

1. Котов Б.І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасінноочисної техніки / Б.І. Котов, М.І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110–111.
2. Васильковський О.М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 286–288.
3. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С. 53-59.
4. Комаристов В.Ю. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
5. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.
6. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка - Київ: Агроосвіта, 2015.- 679 с.
7. <https://ismgrain.com.ua/goods/separator-zernovoy-ism-5/>
8. [Аеродинамічні сепаратори САД](#). Технічна документація та характеристики.
9. [ТОВ «ОЛІС»](#). Каталоги зерноочисного обладнання.
10. [Хорольський механічний завод](#). Технічні характеристики сепараторів СПО.
11. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М.

- Васильковський, С.М. Лещенко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.
12. Розробка нової конструкції пневморешітної зерноочисної машини. Том. 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора. Монографія / В.М. Сало, С.М. Мороз, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко – Кіровоград: Видавець Лисенко В.Ф., 2014 – 108 с.
 13. Сисолін П. В., Сало В. М., Рибак Т. І. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва». Кн. 2. Машини для рільництва. - К. : Урожай, 2002. - 364 с.
 14. Бендера І. М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» № / І. М. Бендера, А. В. Рудь, Я. В. Козій, Д. Г. Войтюк, П. В. Сисолін; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. - Кам'янець-Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. - 639 с.
 15. ДСТУ 2240-93 Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови.
 16. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

ДОДАТКИ