

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

«Обґрунтування параметрів аспірації зерноочисної машини ОВС-25»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Юрченко Максим Олександрович
« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Станіслав КАТЕРИНИЧ

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти II

Галузь знань 13 - Механічна інженерія

Спеціальність Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 р.

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

_____ Юрченко Максим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Обґрунтування параметрів аспірації зерноочисної машини ОВС-25»

2. Керівник роботи (проекту) Васильковський Олексій Михайлович, кандидат технічних наук, професор

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

3. Строк подання роботи до захисту 15.05.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Підвищення ефективності осадження легких домішок

5. Перелік графічного матеріалу 1. Огляд конструкцій осаджувальних пристроїв,

2. Обґрунтування параметрів осадкової камери, 3. Зерноочисна машина ОВС-25,

4. Аспірація, 5. Деталювання

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
	О. Васильковський		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Пояснювальна записка	04.05.2026	
	Графічна частина	11.05.2026	
	Захист роботи	20-31.05.2026	

Дата видачі завдання

«18» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«18» лютого 2026 р.

Підпис здобувача _____ Максим ЮРЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Анотація

Юрченко Максим Олександрович

Yurchenko Maksym

Обґрунтування параметрів аспірації зерноочисної машини ОВС-25

Justification of the suction parameters for the OVS-25 grain cleaning machine

Магістерська робота присвячена удосконаленню конструкції зерноочисної машини ОВС-25 шляхом заміни жалюзійного пиловловлювача оригінальним циклоном.

Обґрунтовано параметри аспірації – повітряних каналів, вентилятора і циклона для забезпечення ефективної роботи та очищення відпрацьованого повітря від пилу.

Здійснено розробку оригінального циклона.

This master's thesis focuses on improving the design of the OVS-25 grain cleaning machine by replacing the louvre-type dust collector with an original cyclone.

The parameters of the extraction system – comprising air ducts, a fan and a cyclone – have been optimised to ensure efficient operation and the removal of dust from the exhaust air.

An original cyclone has been developed.

Ключові слова: аспірація, циклон, очищення, повітря, пил

Keywords: extraction, cyclone, filtration, air, dust

Юрченко, М. О. Обґрунтування параметрів аспірації зерноочисної машини ОВС-25: кваліфікаційна робота: спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. О.М. Васильковський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2026. – 46 с.

ЗМІСТ

1. Вступ	6
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	7
3. Наукова частина	16
4. Практична реалізація результатів досліджень	24
5. Охорона праці	40
6. Загальні висновки	42
Список використаної літератури	43
Додатки	46

1. ВСТУП

Сільськогосподарське виробництво України традиційно орієнтоване на зернові культури, і зернова галузь залишається одним із ключових секторів національної економіки. Постійне зростання валових зборів зерна – наслідок як розширення посівних площ, так і підвищення врожайності – неминуче супроводжується відповідним зростанням обсягів його первинної обробки на стаціонарних зерноочисних комплексах. Однак поряд з кількісними показниками незмінно загострюється проблема пилоутворення у процесі очищення зернової маси.

Постійне вдихання зернового пилу спричиняє ураження дихальних шляхів та легень операторів – чинні санітарні норми встановлюють гранично допустиму концентрацію зернового пилу на рівні 4 мг/м^3 робочої зони. При концентрації зваженого органічного пилу понад $20\text{--}60 \text{ г/м}^3$ у замкненому просторі формується вибухонебезпечна суміш, здатна детонувати від іскри.

Зерноочисна машина ОВС-25 – один із найпоширеніших агрегатів первинної обробки зерна в умовах України. У базовій комплектації її аспіраційна система оснащена жалюзійним інерційним пиловловлювачем, ефективність якого обмежена діапазоном $60\text{--}85 \%$ і суттєво падає для частинок дрібніше 20 мкм – саме тих, що становлять найбільшу небезпеку для здоров'я персоналу та довкілля. Ця конструктивна невідповідність між реальними характеристиками пилоочисного елемента і нормативними вимогами до якості очищення повітря визначає актуальність пошуку ефективного рішення.

Одним з перспективних напрямків модернізації є заміна жалюзійного пиловловлювача на циклонний апарат. Циклони здатні уловлювати частинки розміром від 10 мкм і дрібніше, мають просту конструкцію і не потребують складного технічного обслуговування.

Спробу удосконалення зерноочисної машини шляхом обґрунтування параметрів циклону реалізовано у нашій магістерській роботі.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Постановка проблеми

Збільшення валових зборів зернових супроводжується підвищенням вмістом пилу й домішок, що без ефективного очищення призводить до втрат, погіршення товарних характеристик і ризиків самозігрівання під час зберігання.

Робота повітряно-решітних зерноочисних машин базується на поєднанні аеродинамічного (за швидкістю осідання частинок у повітряному потоці) та механічного (за розмірами через систему решіт).

У процесі очищення зернова маса піддається дії повітряного потоку. Потік формується вентилятором і налаштовується таким чином, щоб легкі домішки – пил, половиця, частки оболонок, насіння бур'янів із малою масою підхоплювались і виносились із зерна. Важчі та повноцінні зерна, маючи більшу швидкість витання, продовжують рух донизу, потрапляючи до решітчастих станів.

Далі матеріал проходить через систему коливальних решіт, до відбувається сепарація за розмірами – товщиною або шириною. Комбінація повітряної сепарації та решітчастої класифікації дозволяє досягати високого ступеня очищення зерна.

Одним із негативних явищ в роботі зерноочисних машин є утворення пилу. Пилова фракція формується як із природних домішок зернової маси, так і внаслідок тертя та руйнування частинок при транспортуванні і сепарації. Без використання системи очищення повітря це призводить до низки серйозних проблем: небезпеки для здоров'я персоналу, створення пилових вибухонебезпечних сумішей, особливо у приміщеннях. Крім того, викиди пилу в атмосферу погіршують екологічну ситуацію.

Таким чином, очищення відпрацьованого повітря від пилу є актуальною задачею науки і техніки.

Аналіз конструкцій очисників повітря сучасних зерноочисних машин

Пилоочисники сучасних зерноочисних машин (рис. 2.1) являють собою системи, призначені для вилучення та локалізації пилових аерозолів, що утворюються під час сепарації зернової маси [1]. Їх робота базується на русі повітряних потоків, всередині яких тверді частинки різної дисперсності відокремлюються за рахунок інерційних дій або фільтраційних механізмів.

У класичних конструкціях зерноочисних машин (рис. 2.1) пилоочисник інтегрується в аспіраційну систему і працює за ступеневою схемою. На першому етапі відпрацьоване повітря надходить до осадової камери, де відбувається осадження легких домішок і крупних частинок пилу. Далі повітря проходить через очисники (рис. 2.2-2.4), які відділяють або затримують дрібнодисперсний пил. Завдяки цьому досягається значне зниження концентрації зважених частинок перед викидом або рециркуляцією повітря.

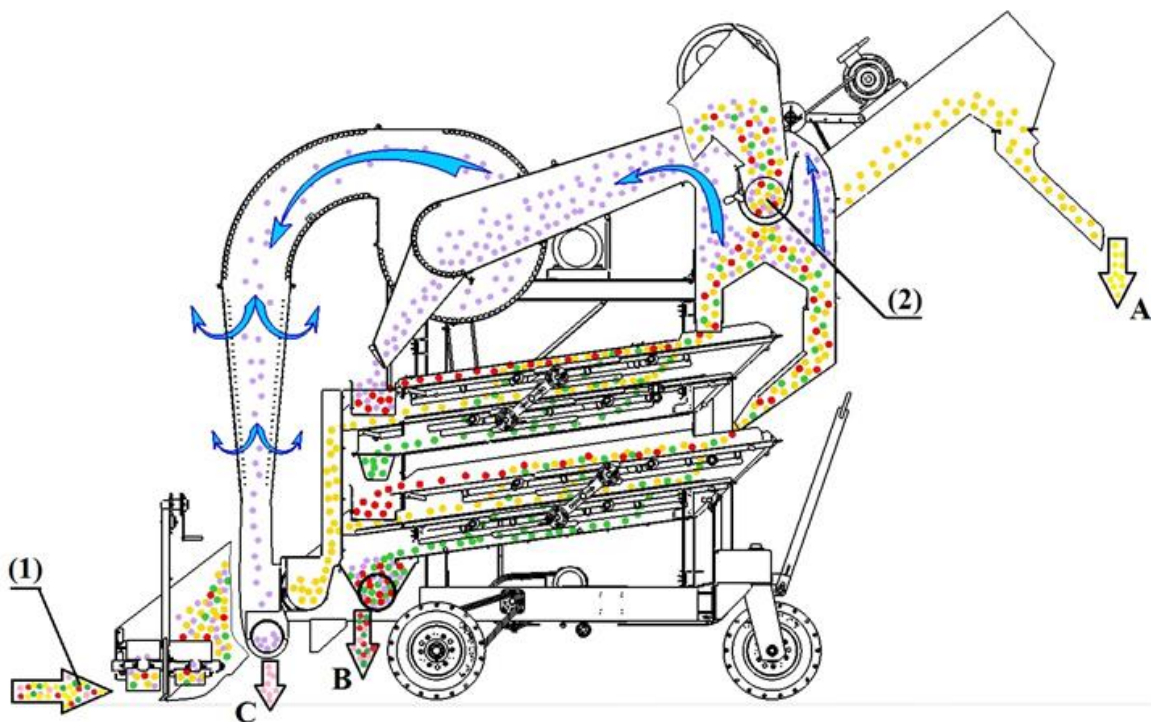


Рис. 2.1. Очисник вороху самопередвижний ОВС-25

Найбільшого поширення у зерноочисних машинах [1] отримали жалюзійні інерційні пиловловлювачі (рис. 2.2). Це пристрої, у яких відокремлення пилу відбувається за рахунок різкої зміни траєкторії повітряного потоку та інерційних властивостей частинок. Їх конструкція базується на системі паралельно розташованих пластин (жалюзі), встановлених під певним кутом до напрямку руху газоповітряної суміші.

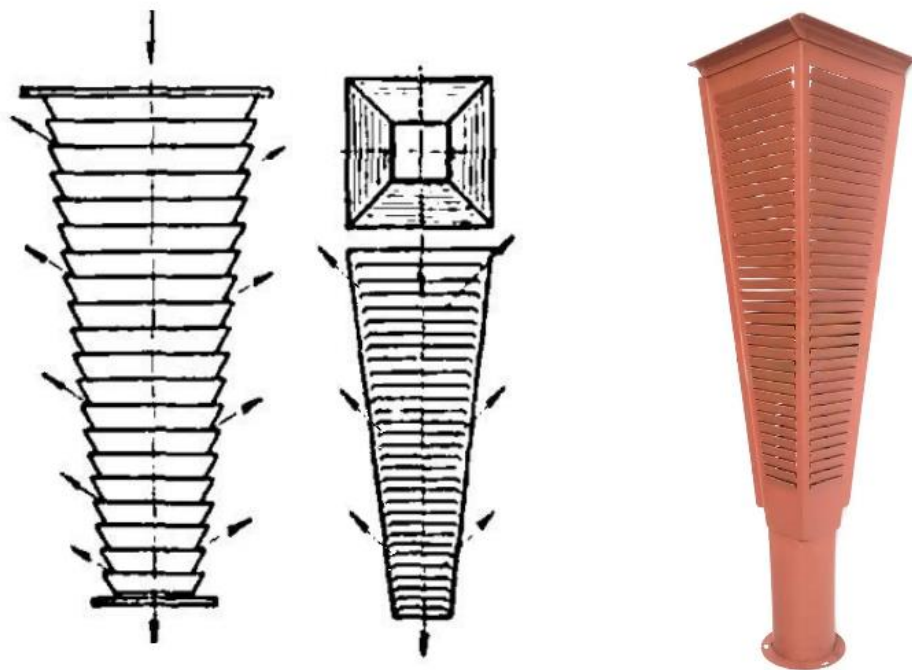


Рис. 2.2. Схеми і загальний вигляд жалюзійного пиловловлювача

Під час роботи запилене повітря надходить у канал пиловловлювача і багаторазово змінює напрямок руху, огинаючи жалюзійні елементи. Легкі частинки, маючи малу масу, слідує за повітряним потоком і проходять далі разом із ним. Важчі пилові частинки, через інерцію, не встигають змінити траєкторію, відхиляються від потоку, вдаряються об поверхню жалюзі або потрапляють у спеціальні відвідні канали, де їх швидкість різко зменшується.

У зоні за жалюзі створюються локальні вихрові області та зони пониженого тиску, які сприяють додатковому осадженню пилу. Відокремлені частинки накопичуються в пилозбірнику або виводяться через окремий канал, з меншим об'ємом повітря, що підвищує загальну ефективність очищення.

Ефективність жалюзійних інерційних пиловловлювачів складає 60-85 % і значною мірою залежить від швидкості повітря, кута нахилу пластин, відстані між ними та дисперсного складу пилу. Для крупних частинок ($>50\text{--}100\text{ мкм}$) ефективність складає 80–90%, для середніх ($20\text{--}50\text{ мкм}$) – 60–80%, а для дрібного пилу ($<10\text{--}20\text{ мкм}$) не перевищує 40–60%.

Вони більш ефективні для вловлювання частинок пилу середнього та крупного розміру, тому часто використовуються як попередній ступінь очищення перед більш тонкими фільтраційними системами.

Перевагою таких пиловловлювачів є простота конструкції, відсутність рухомих частин, низький гідравлічний опір і здатність працювати в умовах високої запиленості.

Основний недолік – низька ефективність очищення повітря.

Інший принцип роботи мають циклони (рис. 2.3) – механізми, в яких виділення пилу відбувається завдяки обертанню потоку та дії відцентрових сил [2]. Принцип їх роботи ґрунтується на перетворенні прямолінійного руху газоповітряної суміші на закручений спіральний потік, у якому частинки пилу відокремлюються від повітря через різницю в масі та інерційних властивостях.

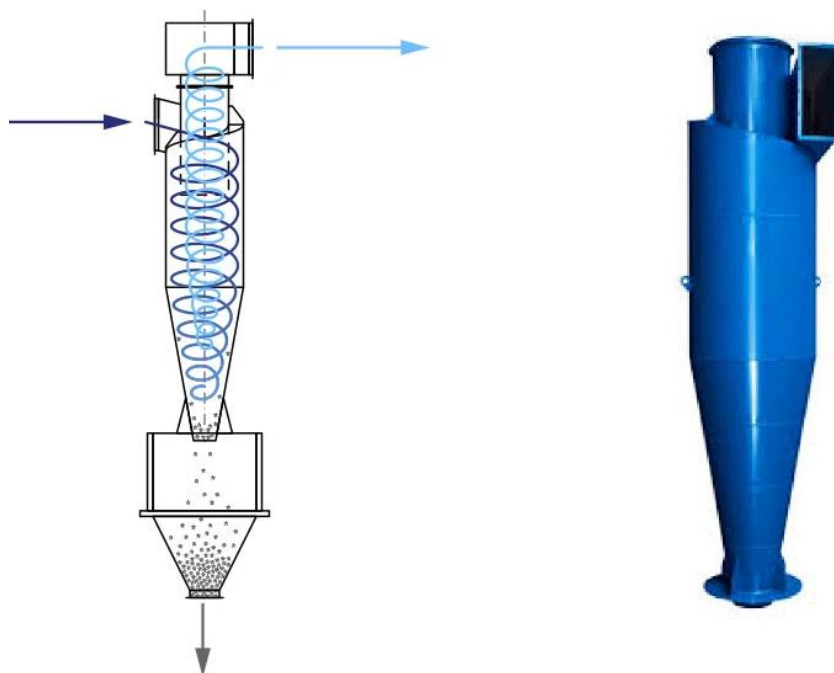


Рис. 2.3. Схема роботи і загальний вигляд циклону

Запилене повітря вводиться в корпус циклона тангенційно, в результаті чого всередині формується зовнішній вихор, що рухається вниз. Під дією відцентрової сили тверді частинки відкидаються до периферії, притискаються до стінок циклону і втрачають швидкість через тертя. Поступово вони осідають і сповзають у нижню конічну частину, де накопичуються або виводяться назовні через випускний отвір.

Очищене повітря, втративши значну частину пилу, змінює напрямок руху: у центральній зоні формується внутрішній вихор, який піднімається вгору і виводиться через вихлопну трубу. Таким чином, у циклоні одночасно існують два взаємопов'язані потоки – зовнішній низхідний і внутрішній висхідний, що забезпечує безперервність процесу очищення.

Ефективність очищення повітря циклоном становить 70-95% і визначається швидкістю обертання потоку, геометрією корпусу – діаметром, висотою, кутом конуса та характеристиками пилу. Для крупних частинок (понад 50–100 мкм) ефективність може досягати 90–95% і вище, для середніх фракцій (20–50 мкм) – 80–90%, а для дрібнодисперсного пилу (менше 10–20 мкм) ефективність може становити лише 50–70%.

Важливою перевагою циклонів є їхня конструктивна простота, відсутність рухомих частин, висока надійність і здатність працювати з великими об'ємами повітря при значному пиловому навантаженні.

До недоліків циклонів відносять громіздку конструкцію та велику масу у порівнянні з жалюзійними пиловловлювачами.

У циклофені [3] функціонує теплогенератор, який висушує запилену масу (рис. 2.3). Закручування запиленого повітряного потоку всередині апарата здійснюється за допомогою крильчатки, що створює інтенсивний обертальний рух. Виділення пилових частинок відбувається у спеціальному відсіку, де застосовується мініциклон: він відокремлює тверді домішки від повітря. Осаджений пил спрямовується в циклони, тоді як очищене повітря повертається у циклофен через всмоктувальну зону, проходячи повторну циркуляцію та додаткове очищення.



Рис. 2.3. загальний вигляд циклофену

Основною конструктивною особливістю циклофену, порівняно з класичним циклоном, є наявність додаткового елемента, що забезпечує закручування потоку. Циклофен є альтернативою традиційним фільтрувальним установкам, що застосовуються на елеваторах і зернопереробних підприємствах. Він здатний ефективно видаляти пил різного походження, включно з вологими та висококонцентрованими пилоповітряними сумішами. Конструктивно агрегат об'єднує вентилятор високого тиску та продуктивний відцентровий сепаратор, що забезпечує інтенсивне розділення повітряного потоку і пилових частинок. Завдяки цьому досягається високий рівень очищення повітря – понад 98%, що робить його особливо ефективним у процесах очищення та переробки зерна.

Монтаж циклофена відносно простий і не потребує значних виробничих площ, що є його додатковою перевагою. Основне його призначення полягає у зменшенні негативного впливу сушильного обладнання на навколишнє середовище. При цьому теплогенераційні елементи та теплообмінники зазвичай розміщуються поза межами сушильної шахти, що мінімізує ризик потрапляння в атмосферу продуктів згоряння та потенційно шкідливих речовин.

Обладнання розраховане на роботу в широкому діапазоні витрати повітря – приблизно від 24 000 до 42 000 м³/год, що дозволяє використовувати його в різних технологічних режимах.

Важливою перевагою конструкції є вбудована система шумопоглинання, яка підвищує комфорт експлуатації. Крім того, апарат має ефективну теплоізоляцію: внутрішні поверхні камери захищені шаром мінеральної вати, що дозволяє утримувати тепло всередині системи. Це сприяє зниженню витрат палива приблизно на 10–15%, залежно від температурних умов довкілля, режиму сушіння та вологості матеріалу.

Висока ефективність роботи циклофену досягається за рахунок великих енерговитрат, що є основним недоліком. Крім того, така пилоочисна установка має великі габарити, складнішу конструкцію і найвищу масу серед описаних вище пристроїв.

Підвищення ефективності зниження запиленості повітря в зернопереробних процесах значною мірою досягається впровадженням зерноочисних машин із замкненою аспіраційною системою [4-16].

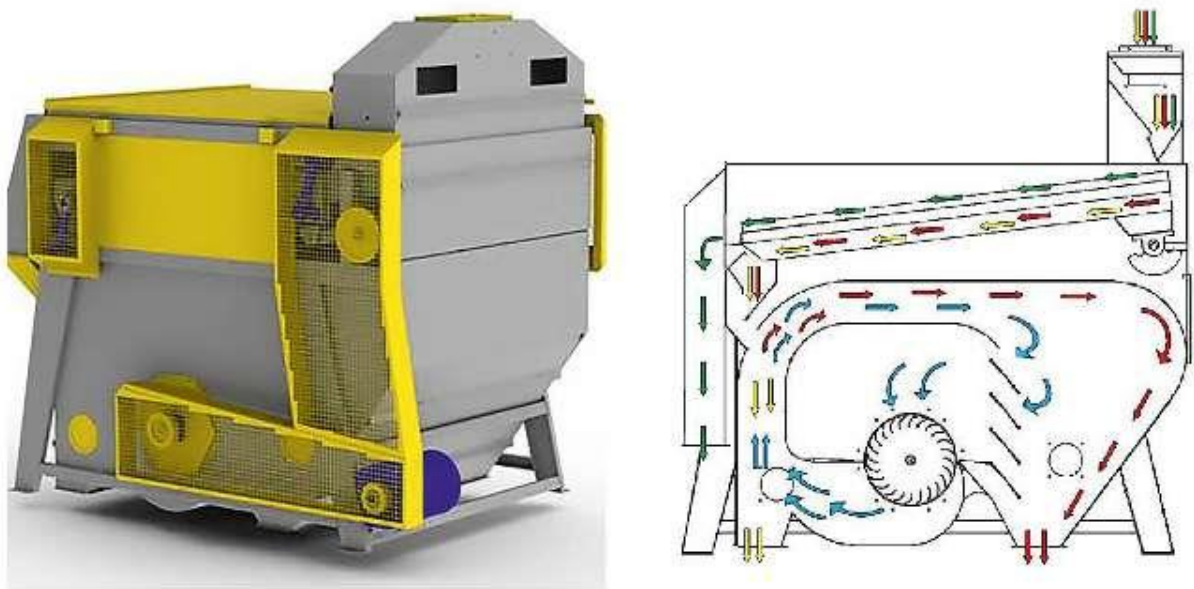


Рис. Зерноочисна машина із замкненою аспіраційною системою

Такий підхід передбачає не просто видалення пилу з робочої зони, а організацію безперервного циркуляційного повітряного контуру, в якому

запилене повітря не викидається безпосередньо в атмосферу, а проходить етапи очищення і повертається в технологічний процес.

Основною перевагою замкненої аспірації є різке зниження викидів пилу в навколишнє середовище. Це особливо важливо для зерноочисних підприємств, де інтенсивне утворення дрібнодисперсних частинок створює ризики для екології та санітарно-гігієнічних умов праці. Завдяки повторному використанню очищеного повітря зменшується загальне пилове навантаження на фільтри, підвищується стабільність їх роботи та знижується частота обслуговування.

Додатковим ефектом є енергетична ефективність. Оскільки система працює в рециркуляційному режимі, зменшуються втрати теплого повітря, що особливо актуально для комплексів із сушіння та очищення зерна. Це дозволяє знизити витрати енергії на підігрів і вентиляцію, одночасно підтримуючи стабільні параметри повітряного потоку.

Недоліками такої схеми є специфічність у компонуванні повітряної і решітної частин, що призводить до значного збільшення габаритів і маси зерноочисного обладнання.

Використання сітчастих фільтрів не знайшло застосовуються як основний елемент очищення повітря в зерноочисних машинах через їхні обмеження за ефективністю та експлуатаційними властивостями.

Зерновий пил має переважно дрібнодисперсний характер (частинки часто менші 10–20 мкм), а сітчасті матеріали здатні ефективно затримувати лише відносно крупні частинки. Вони швидко забиваються при роботі в умовах високої запиленості, характерної для зерноочисних процесів і погано піддаються ефективній регенерації – їх складно очистити без демонтажу або значного зниження ефективності. Це призводить до зростання аеродинамічного опору, падіння продуктивності та необхідності частого очищення або заміни.

Отже, сітчасті фільтри не відповідають вимогам зерноочисного виробництва щодо тонкого очищення, стабільності роботи та самоочищення.

Висновки

На основі аналізу існуючих технічних рішень у сфері очищення зерна та аспірації повітря можна зробити висновок, що використання циклонів у складі зерноочисних машин є доцільним і технічно обґрунтованим.

Циклони забезпечують ефективне видалення основної маси пилу за рахунок інерційного та відцентрового розділення, характеризуються простою конструкцією, високою надійністю та здатністю працювати в умовах значних пилових навантажень без складного обслуговування.

Циклони добре інтегруються в технологічні лінії як перший ступінь очищення повітря, знижуючи навантаження на більш тонкі фільтраційні системи та підвищуючи загальну ефективність аспірації.

Таким чином, застосування циклонів у зерноочисних машинах є раціональним рішенням, що поєднує технологічну ефективність, економічність та стабільність роботи обладнання.

Мета і задачі досліджень

Метою досліджень є підвищення ефективності очищення відпрацьованого у аспірації зерноочисної машини повітря від пилу.

Для досягнення мети, необхідно вирішити наступні **задачі**:

- провести теоретичний аналіз осадження пилу у циклоні;
- обґрунтувати параметри пилоосаджувального пристрою циклонної дії;
- розробити креслення оригінального циклону для машини ОВС-25.

Об'єктом досліджень є процес осадження часток у циклоні.

Предмет досліджень – конструктивні параметри циклону.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

Обґрунтування параметрів циклону

Для обґрунтування параметрів циклону згідно з [17], прийнемо наступні вихідні дані (табл. 3.1)

Таблиця 3.1

Вихідні дані для проведення теоретичного аналізу

Параметр	Значення
Витрата повітря Q , м ³ /год	10 000 (2,778 м ³ /с)
Щільність зернового пилу ρ_{Π} кг/м ³	1200-1500
Медіанний діаметр частинок d , мкм	30
Динамічна в'язкість повітря μ , Па·с	$1,81 \cdot 10^{-5}$
Щільність повітря ρ_a , кг/м ³	1,2

Для проведення аналізу використаємо фізична модель – метод «зважених криволінійних траєкторій» (рис. 3.1).

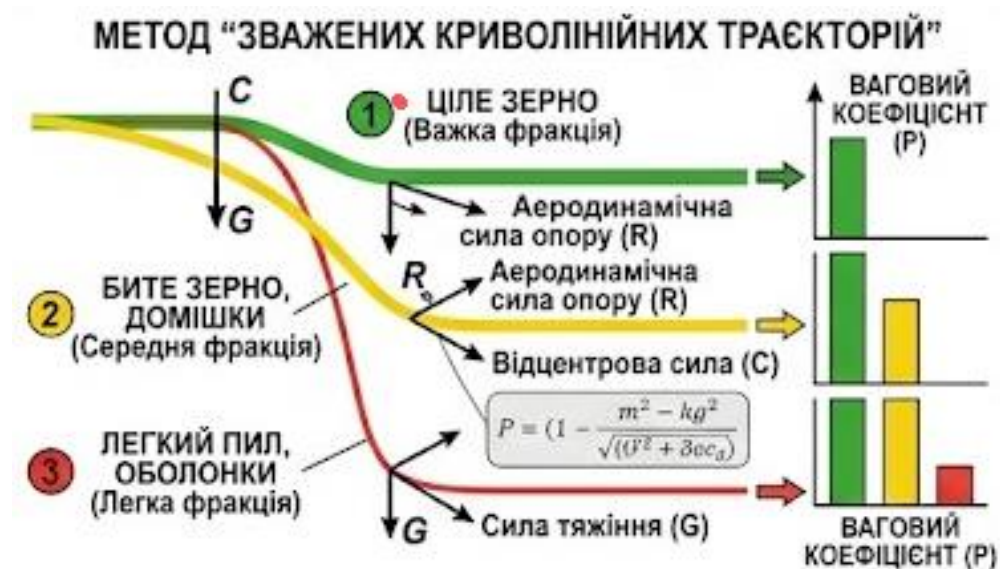


Рис. 3.1. Фізична модель дослідження процесу відокремлення пилу.

Оригінальний підхід полягає в тому, що розподіл частинок по вхідному перерізу задається площинно-зваженою функцією, а не лінійною, як у

класичних методах. Це дає точніший облік реального поля відцентрових сил і геометрії входу.

Основні припущення: режим Стокса ($Re_p < 1$), тангенціальна швидкість частинки дорівнює швидкості повітря в циклоні.

Для виведення розглянемо рух ізольованої сферичної частинки у вихровому потоці циклону (рис.3.2).

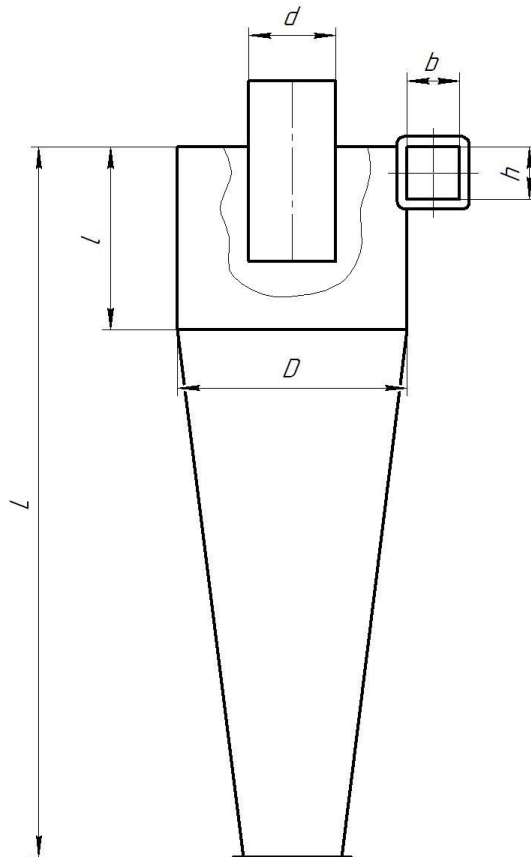


Рис. 3.2. Схема до обґрунтування параметрів циклону

Згідно з другим законом Ньютона, рух частинки в радіальному напрямку визначається балансом сил.

Відцентрова сила (F_c):

$$F_c = m \cdot \frac{V_t^2}{r},$$

де m – маса частки, кг,

V_t - тангенціальна швидкість частки (пилу), м/с;

r - радіус обертання (половина діаметра корпусу циклона), м.

Оскільки маса частинки

$$m = \rho_{\Pi} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{6},$$

де d – медіанний діаметр часток пилу,

ρ_{Π} – щільність часток зернового пилу, кг/м³

то відцентрова сила становитиме

$$F_c = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_t^2}{6 \cdot r}$$

Сила опору Стокса (F_d) для малих значень числа Рейнольдса ($Re_p < 1$):

$$F_d = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot (V_r - V_g),$$

де V_r – радіальна швидкість руху частинки до стінки (корпусу циклону), м/с,

V_g – радіальна швидкість повітря біля стінки (корпусу циклону), м/с.

Оскільки радіальна швидкість повітря біля стінки (корпусу циклону)

$$V_g \approx 0,$$

то рівняння з визначення сили опору Стокса матиме вигляд

$$F_d = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot V_r.$$

Частка пилу досягає сталої швидкості переміщення до стінки циклону, при досягненні рівноваги:

$$F_c = F_d.$$

Таким чином, рівняння рівноваги матиме вигляд:

$$\frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_t^2}{6 \cdot r} = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot V_r$$

Скоротивши складові рівняння, отримуємо кінцевий вираз для визначення радіальної швидкості:

$$V_r = \frac{d^2 \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_t^2}{18 \cdot \mu \cdot r}.$$

Визначимо критичний діаметр вловлювання (d_{50}) –розмір частки, яка встигає пройти відстань від входу до стінки циклона за час перебування в апараті.

Оскільки час перебування

$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot N_e}{V_t},$$

де N_e – ефективна кількість обертів газу в циклоні (зазвичай 3-5).

Умова вловлювання часток пилу має вигляд

$$b = V_r \cdot t,$$

де b – ширина входу, м.

Підставляючи значення V_r , отримуємо:

$$b = \frac{d^2 \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_t^2}{18 \cdot \mu \cdot r} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot N_e}{V_t}.$$

Скоротивши складові отримаємо

$$b = \frac{d^2 \cdot \rho_{\Pi} \cdot V_t \cdot \pi \cdot N_e}{9 \cdot \mu}.$$

Тепер визначимо діаметр вловлюваних часток. Оскільки

$$d = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot b \cdot}{\tau_{50} \cdot \pi \cdot N_e \cdot V_{in} \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_g)}}$$

де τ_{50} – коефіцієнт переходу до моделі 50% імовірності вилучення часток за Лап্পлем ($\tau_{50} = 2$),

V_{in} – швидкість повітряно-пилового потоку на вході до циклону, м/с,

ρ_a – щільність повітря ($\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$).

З урахуванням коефіцієнту Лаппля, рівняння матиме вигляд

$$d = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot b \cdot}{2 \cdot \pi \cdot N_e \cdot V_{in} \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_a)}}.$$

Обґрунтування гідравлічного опору.

Енергетичні витрати на очищення повітря визначаються втратою тиску в циклоні. Втрата тиску (ΔP) обчислюється за формулою:

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot \rho_a \cdot V_{in}^2}{2 \cdot g}$$

де ξ – коефіцієнт опору, що для ОВС-25 залежить від чистоти внутрішніх поверхонь та геометрії вихлопної труби

Коефіцієнт місцевого опору циклона ξ для машин типу ОВС-25 (де використовуються циклони серії ЦОЛ або аналогічні) не є константою. Його значення зазвичай знаходиться в межах $\xi = 4\text{--}6$, але він змінюється залежно від конструкції і технічного стану циклона [17]. На нього впливають

- геометрія вихлопної труби. Вихлопна труба – це зона, де вихор змінює напрямок на 180° . Це створює найбільший гідравлічний опір.
- співвідношення діаметрів (d/D). Чим вужча вихлопна труба відносно корпусу, тим вища швидкість виходу повітря і тим більший коефіцієнт ξ . Для машини ОВС-25 оптимальним вважається $d = (0,5\text{--}0,6) \cdot D$;
- глибина занурення. Якщо труба опущена занадто низько (нижче нижнього зрізу вхідного патрубка), виникає турбулентне зіткнення вхідного і вихідного потоків, що збільшує значення ξ на 15-20%;
- чистота внутрішніх поверхонь. У наукових розрахунках це описується через еквівалентну шорсткість стінок. Новий, гладкий циклон має мінімальне тертя. Повітряний вихор ковзає по стінці з мінімальними втратами енергії. Налипання зернового пилу та бруду, особливо при підвищеній вологості, утворює на стінках шорсткий і нерівномірний шар, що суттєво збільшує турбулентність. Коефіцієнт опору ξ у цьому випадку може зрости з 5,0 до 7,5;
- корозія та механічні пошкодження. Іржа або вм'ятини на корпусі діють негативно, «турбулізуючи» потік.

Оскільки швидкість у рівнянні стоїть у квадраті, то навіть невелике зростання коефіцієнту ξ призводить до значного падіння продуктивності аспірації.

Практичне значення для ОВС-25. При значенні коефіцієнту $\xi = 5$ (гладкі внутрішні поверхні), аспірація працює на повну потужність, витягуючи пил та легкі домішки. При збільшенні ξ до 7, потік повітря падає, легкі домішки залишаються в зерні, а навантаження на електродвигун вентилятора зростає.

Аналіз отриманих залежностей будемо здійснювати на основі відомої моделі Лаппля [17]:

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{50}}{d}\right)^2},$$

де d_{50} – головний параметр, який визначає зсув кривої на графіку – розмір частки пилу, що вловлюється циклоном з ймовірністю 50%.

На основі даної моделі з урахуванням розрахованого виразу для d побудуємо залежність впливу вхідної швидкості повітряно-пилової суміші на ефективність η вловлювання часток пилу різного діаметру (рис. 3.3).

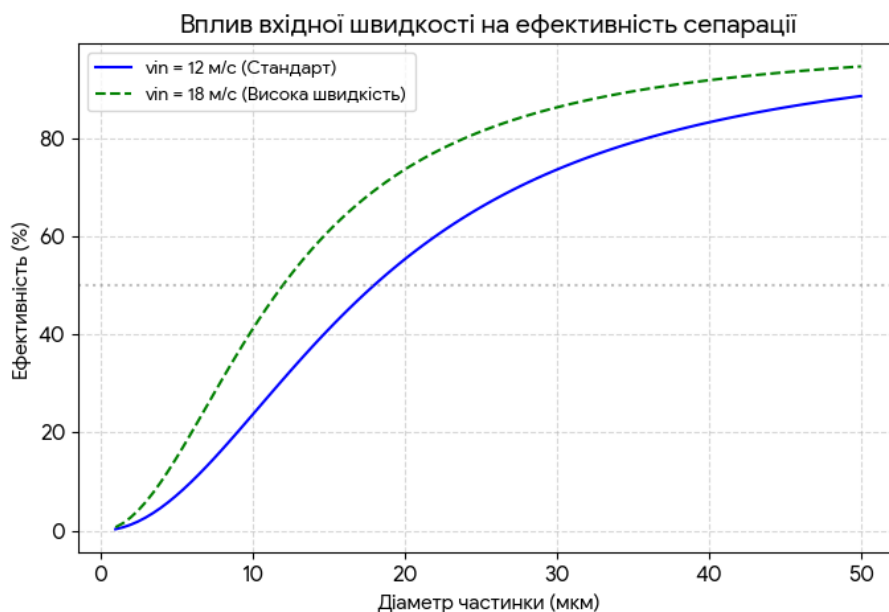


Рис. 3.3. Графік залежності ефективності видалення часток пилу різного діаметру при різних швидкостях введення до циклону.

Висновки.

Отриманий графік має форму S-подібної кривої. Ця геометрія ілюструє закони, що діють всередині циклона ОВС-25:

- ліва частина графіка ($d < 5$ мкм): лінія лежить майже на нулі. Це відбувається тому, що відцентрова сила занадто мала, оскільки маса

частки пилу такого розміру мізерна. Сила аеродинамічного опору повністю переважає, і пил ($d < 5$ мкм) виноситься повітрям назовні.

- центральна частина ($d_{50} = 15$ мкм): точка стрімкого зростання. Сили починають зрівнюватися, і шанс вловлювання суттєво збільшується.
- права частина графіка ($d > 30$ мкм): крива асимптотично наближається до 100% і стає пологою. Маса великих часток (крупний пил, шматочки соломи, пісок тощо) настільки значна, що відцентрова сила миттєво відкидає їх до стінок корпусу, і вони гарантовано виділяються.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Опис об'єкта модернізації

Зерноочисна машина ОВС-25 має класичну повітряно-решітну схему роботи (рис. 4.1). Зерновий ворох надходить до машини за допомогою скребкового завантажувального транспортера, оснащеного живильниками, які забезпечують зведення зернової маси з бурту шириною до 4,5 м. Матеріал подається до живильного вузла, який розподіляє зерновий потік рівномірно по всій ширині машини (близько 1000 мм).

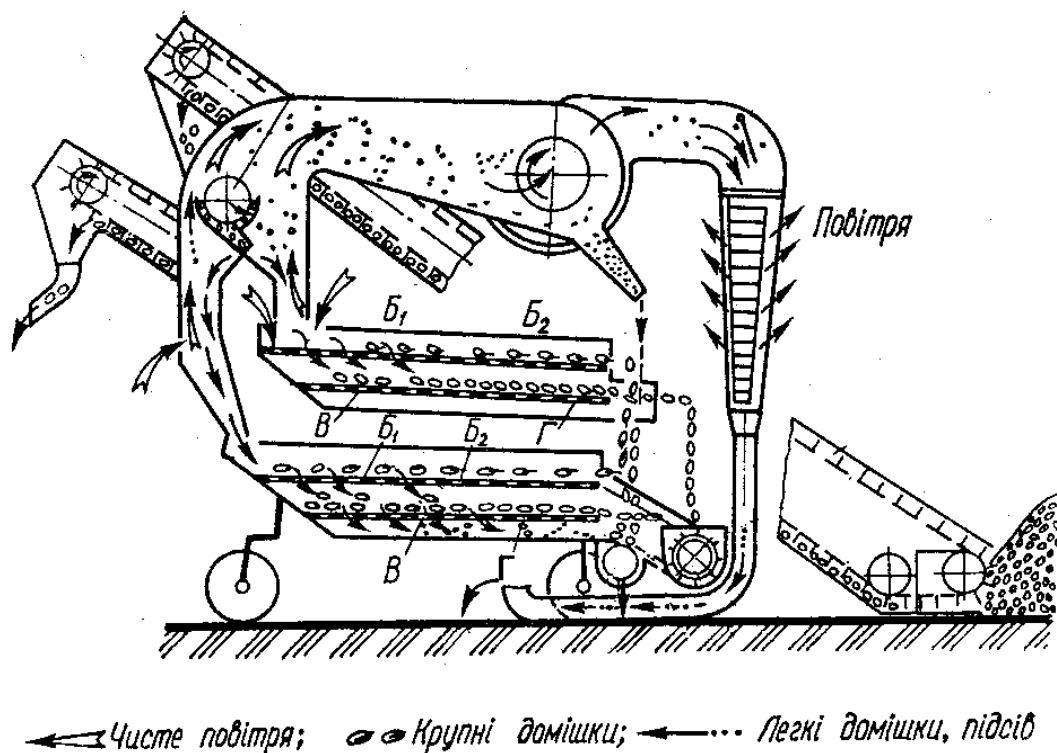


Рис. 4.1. Технологічна схема зерноочисної машини ОВС-25

Далі зернова маса потрапляє у вертикальні аспіраційні канали. Повітряний потік, створений відцентровим вентилятором, рухається у каналах знизу вгору назустріч зерну, яке падає вниз під дією власної ваги. У цих каналах виділяються частки з малою питомою масою або великою парусністю підхоплюються повітряним потоком і виносяться нагору – у трубопровід аспіраційної системи, а звідти осадової камери і далі – до пиловловлювача. Решта матеріалу продовжує рухатися вниз – на решітні стани.

Вентилятор є основним активним елементом всієї пневматичної системи машини. Він формує єдиний повітряний контур, що охоплює обидва аспіраційних канали і пиловловлювач. Номінальна витрата повітря через систему становить близько 10 000 м³/год, що забезпечує необхідні швидкості у каналах для ефективного аеродинамічного сортування.

Запилене повітря після аспіраційних каналів надходить до пиловловлювача, де тверді частки відокремлюються від транспортуючого повітря. Стандартне виконання – жалюзійний інерційний сепаратор: потік різко повертає, тверді частки за інерцією не встигають повторити поворот і осідають на жалюзійних пластинах, потрапляючи до бункера відходів. Очищене повітря або скидається назовні, або повертається до вентилятора (рециркуляційна схема для закритих приміщень).

Швидкість повітряного потоку в каналі оператор регулює залежно від культури та стану вороху. При надто малій швидкості легкі домішки не виносяться і потрапляють на решета, засмічуючи їх. При надто великій – разом з домішками виносяться повноцінне зерно, що є прямою втратою продукту. Для кожної культури існують рекомендовані діапазони швидкості, але точне налаштування завжди потребує пробного пуску й оцінки вихідних фракцій.

Решітні стани здійснюють зворотно-поступальний рух: плоскопаралельні коливання і працюють у протифазі для врівноваження сил інерції. Таке кінематичне рішення одночасно вирішує задачу транспортування зернової маси вздовж решета, що забезпечує просіювання матеріалу крізь отвори.

Два решітні стани ОВС-25 включають по два яруси робочих поверхонь. Верхній ярус – ділильні Б1 і колосові решета Б2 – мають великі отвори, через які проходить зерно основної культури разом із дрібними домішками. Крупні включення: грудки ґрунту, великонасінневе бур'янисте насіння, фрагменти стебел і колосся – переміщуються сходом і відводяться у фракцію крупних відходів. Нижній ярус – підсівні решета В і Габо – мають отвори, відкалібровані під розмір зерна основної культури: кондиційне зерно лишається на його

поверхні і рухається до виходу, дрібні частки і щупле зерно провалюються вниз і відводяться окремо.

Для кожної культури та конкретної партії вороху підбирається відповідний набір решітних полотен. Машина оснащена замінними решетами – штамповані листи з конструкційної сталі товщиною 0,8–1,2 мм з отворами різної форми: круглої, видовженої щілинної або трикутної. Вибір форми отвору визначається морфологією культурного зерна і домішок.

Усі повітряно-решітні робочі органи ОВС-25 отримують рух від одного електродвигуна через розгалужену систему клинопасових передач. Така схема не потребує електронної синхронізації, допускає легкий перерозподіл потужності між вузлами шляхом заміни шківів і добре переносить короточасні перевантаження завдяки пружному проковзуванню пасів. Сумарна встановлена потужність двигуна – 11 кВт.

Ефективна робота ОВС-25 залежить від правильного налаштування чотирьох незалежних параметрів, кожен з яких впливає на свій аспект якості або продуктивності очищення.

Продуктивність подача зерна в машину регулюється автоматично за допомогою пристрою, що вимикає завантажувальний транспортер при надмірному навантаженні. Зменшення подачі підвищує якість очищення (тонший шар на решеті), але знижує продуктивність. Оптимум підбирається залежно від поточної засміченості вороху.

Швидкість повітряного потоку у каналі регулюється заслінкою, розміщеною у осадовій камері і налаштовується індивідуально для кожної культури. Занадто висока швидкість спричиняє виніс повноцінного зерна у відходи; занадто низька – не забезпечує виведення легких домішок.

Єдине налаштування, що потребує зупинки машини – це заміна решіт. Виконується при зміні культури або при незадовільному результаті очищення. Час заміни одного решітного полотна – 20–40 хвилин. Підбір розміру і форми отворів здійснюється за довідковими таблицями або дослідним шляхом.

Як встановлено у розділі 2, система очищення відпрацьованого повітря зерноочисної машини ОВС-25, що складається з жалюзійного пиловловлювача, попри найбільшу простоту є недосконалою і не в змозі забезпечити ефективно видалення пилу, що становить велику проблему для робіт у закритих приміщеннях – ангарах.

Для удосконалення системи очистки відпрацьованого повітря нами запропоновано заміну жалюзійного пиловловлювача оригінальним циклоном, основні режимні параметри якого обґрунтовано нами у розділі 3.

Схему модернізованої аспірації наведено на рис. 4.2.

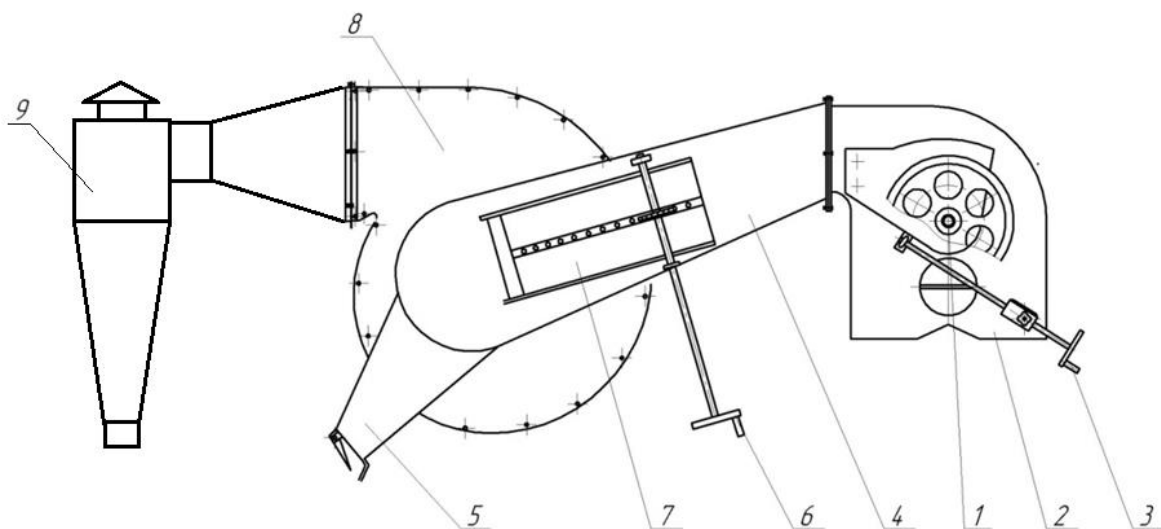


Рис. 4.2. Система модернізованої аспірації очисника вороху ОВС-25:

1- вал шнековий, 2- повітряні канали, 3- регулятор розподілу зернового матеріалу по ширині аспірації, 4- осадова камера, 5- клапан легких домішок, 6- регулятор швидкості повітря, 7- заслінка повітряна, 8- вентилятор, 9- циклон.

Процес роботи модернізованої аспірації аналогічний базовому, за виключенням того, що на завершальному етапі очищення відпрацьованого повітря здійснюється у циклоні з використанням відцентрових сил.

Ефективність уловлювання пилу циклоном становить 70–95%, що на 10-15% вище ніж при роботі жалюзійного пиловловлювача, який застосований у базовій конструкції зерноочисної машини ОВС-25.

Інженерні розрахунки удосконаленої аспірації

Одним з найважливіших параметрів аспірації, що забезпечують якість очищення є параметри повітряних каналів.

Глибина каналів

$$S = \frac{q_B + 1350 \cdot \eta - 1135}{22,7 - 27 \cdot \eta}; \quad (4.1)$$

де q_B – питома подача зерна по ширині, кг/год·дм;

$\eta=0,5 \dots 0,6$ – повнота виділення домішок. Для кращого первинного очищення приймемо збільшену величину $\eta=0,6$.

Питома подача по ширині аспірації:

$$q_B = \frac{Q}{B \cdot z}$$

де $B=9,9$ дм – стандартна ширина аспіраційних каналів, прийнята для узгодження з шириною решітних станів;

$z=2$ – кількість повітряних каналів ОВС-25

З урахуванням складових:

$$q_B = \frac{25000}{9,9 \cdot 2} = 1262,6 \text{ кг/дм} \cdot \text{год.}$$

Глибина повітряних каналів:

$$S = \frac{1262,6 + 1350 \cdot 0,6 - 1135}{22,7 - 27 \cdot 0,6} = 144,2 \text{ мм.}$$

Округлимо глибину повітряних каналів

$$S=140 \text{ мм} = 1,4 \text{ дм.}$$

Прийmemo конструктивну висоту каналів $H=700$ мм як у базової машини.

Витрати повітря в аспірації:

$$V=36 \cdot v \cdot B \cdot S \cdot z$$

де $v=0,7 \dots 0,8 \cdot V_{kr}$ – технологічна швидкість повітря в каналах, м/с;

$V_{kr} = 10,2$ м/с – швидкість витання насіння пшениці,

$Z=2$ – кількість каналів.

Технологічна швидкість повітря:

$$v = 0,75 \cdot 10,2 = 7,65 \text{ м/с}$$

Витрати повітря в аспірації

$$V=36 \cdot 7,65 \cdot 9,9 \cdot 1,4 \cdot 2 = 7634 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Втрати повного тиску в аспіраційній системі:

$$P_k=(0,1+0,00013 \cdot q_F) \cdot v^2 + \delta P,$$

де q_F – питома подача по площі;

ΔP – загальний опір циклону.

Питома подача:

$$q_F = \frac{q_B}{S} = \frac{1262,6}{1,4 \cdot 2} = 451 \text{ кг/дм}^2 \cdot \text{год}$$

Опір циклону:

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot \rho_a \cdot V_{in}^2}{2 \cdot g}$$

де $\xi=5-7$ – коефіцієнт опору циклонів;

$\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря;

$V_{in} = 12-16 \text{ м/с}$ – швидкість введення повітряно-пилової маси в циклон;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

З урахуванням складових

$$\Delta P = \frac{6 \cdot 1,2 \cdot 12^2}{2 \cdot 9,81} = 52,8 \text{ кг/м}^2$$

Таким чином трати повного тиску в аспірації будуть

$$P_{\kappa} = (0,1 + 0,0013 \cdot 451) \cdot 7,65^2 + 71,9 = 92,9 \text{ кг/м}^2.$$

За витратами повітря $7634 \text{ м}^3/\text{год}$ і втратами тиску $92,9 \text{ кг/м}^2$ приймемо вентилятор ВРН [1], з діаметром крильчатки $D=570 \text{ мм}$ і частотою обертання колеса $n=1350 \text{ об/хв}$.

Проектний розрахунок вентилятора будемо здійснювати за класичною методикою [1]. Схему елементів вентилятора зображено на рис. 4.3.

Ширина горловини:

$$B_z = D \cdot 0,7 = 570 \cdot 0,7 = 399 \text{ мм (приймемо 400 мм)}$$

Висота горловини:

$$H_z = D \cdot 0,135 = 570 \cdot 0,135 = 76,95 \text{ мм (приймемо 77 мм)}$$

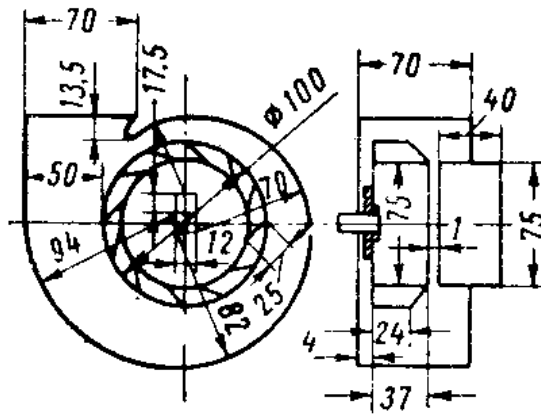


Рис. 4.3. Проектна схема вентилятора ВРН (в % від діаметра колеса).

Ширина кожуха:

$$B_k = D \cdot 0,7 = 570 \cdot 0,7 = 399 \text{ мм (прийmemo 400 мм)}$$

Діаметр основи крильчатки:

$$D_0 = D \cdot 0,75 = 570 \cdot 0,75 = 427,5 \text{ мм (прийmemo 428 мм)}$$

Діаметр вікна:

$$D_e = D \cdot 0,75 = 570 \cdot 0,75 = 427,5 \text{ мм (прийmemo 428 мм)}$$

Довжина вікна:

$$B_e = D \cdot 0,4 = 570 \cdot 0,4 = 228 \text{ мм}$$

Ширина основи крильчатки:

$$B_{ок} = D \cdot 0,24 = 570 \cdot 0,24 = 136,8 \text{ мм (прийmemo 137 мм)}$$

Загальна ширина крильчатки:

$$B_{кр} = D \cdot 0,37 = 570 \cdot 0,37 = 210,9 \text{ мм (прийmemo 211 мм)}$$

Зазор між крильчаткою і кожухом:

$$\Delta_1 = D \cdot 0,04 = 570 \cdot 0,04 = 22,8 \text{ мм (прийmemo 23 мм)}$$

Зазор між лопатками і вікном:

$$\Delta_2 = D \cdot 0,01 = 570 \cdot 0,01 = 5,7 \text{ мм (прийmemo 6 мм)}$$

Розмір сторони квадрата основи побудови спіралі кожуха:

$$B_{\psi} = D \cdot 0,12 = 570 \cdot 0,12 = 68,4 \text{ мм (прийmemo 69 мм)}$$

Довжина лопатки:

$$L = D \cdot 0,25 = 570 \cdot 0,25 = 142,5 \text{ мм (прийmemo 143 мм)}$$

Радіус спіралі:

$$R_1 = D \cdot 0,7 = 570 \cdot 0,7 = 399 \text{ мм (прийmemo 400 мм)}$$

$$R_2 = D \cdot 0,82 = 570 \cdot 0,82 = 467,4 \text{ мм (прийmemo 467 мм)}$$

$$R_3 = D \cdot 0,94 = 570 \cdot 0,94 = 535,8 \text{ мм (прийmemo 536 мм)}$$

Відстань від колеса до кінцевого розміру спіралі:

$$B_c = D \cdot 0,5 = 570 \cdot 0,5 = 285 \text{ мм}$$

Визначення параметрів циклону.

Діаметр корпусу розраховується виходячи з необхідної пропускної здатності (витрати повітря) та оптимальної швидкості на вході:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{k \cdot V_{in}^2}}$$

де Q – максимальна витрата повітря ($Q \approx 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$);

k – коефіцієнт відносної площі входу (для відцентрових осаджувачів легких домішок $k \approx 0,08$);

V_{in}^2 – вхідна швидкість ($V_{in}^2 = 12-16 \text{ м/с}$).

Підставляючи значення параметрів до рівняння, визначимо потрібний діаметр циклону:

$$D = \sqrt{\frac{2,8}{0,08 \cdot 12^2}} = 0,49 \text{ м.}$$

Прийmemo конструктивно діаметр циклону $D=0,5 \text{ м}$.

Розрахунок висоти циклону

Загальна висота циклона (L) визначається як сума висот циліндричної та конічної частин (рис. 3.2):

$$L = l + l_k,$$

де l – висота циліндричної частини корпусу, м;

l_k – висота конічної частини корпусу, м.

Визначення основних геометричних параметрів класичних циклонів здійснюються шляхом розрахунків за рекомендованими в літературних джерелах [1, 5] співвідношеннями.

Висота циліндричної частини корпусу:

$$l = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ м}$$

Висота конічної частини корпусу:

$$l_k = 2,0 \cdot D = 2,0 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ м}$$

Діаметр вихлопної труби:

$$d = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ м}$$

Ширина входу:

$$b = 0,2 \cdot D = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ м}$$

На основі виконаних розрахунків спроектуємо конструкцію циклону.

Кінематичний розрахунок механізму приводу вентилятора

Частота обертання валу вентилятора становить $n_2=1350$ об/хв;

Схему приводу вентилятора наведено на рис. 4.4.

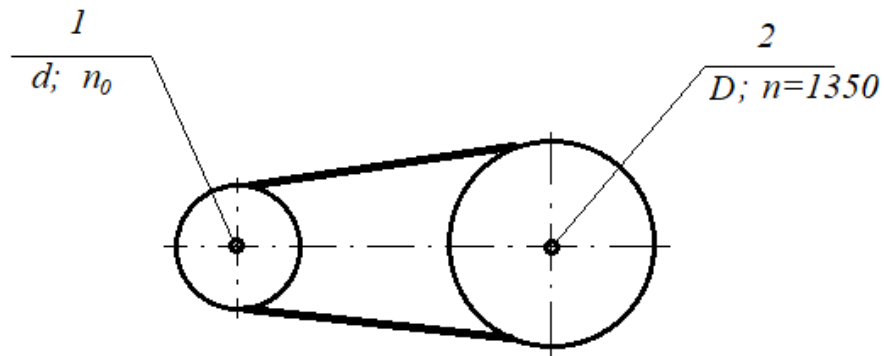


Рис. 4.4. Клинопосова передача від валу електродвигуна 1 до валу приводу вентилятора 2

Для приводу робочих органів приймемо електричний трифазний двигун з синхронною частотою обертання валу 1500 об/хв.

Реальна частота обертання валу становить $n_0 = 1430$ об/хв .

Передавальне відношення передачі крутного моменту на вал вентилятора:

$$i_{1-2} = n_1/n_0 = 1350/1430 = 0,944$$

Розрахунковий діаметр веденого шківа

$$D = d/i = 200/0,944 = 211,9 \text{ мм};$$

де: $d = 200$ мм – діаметр шківа, що встановлено на валу електродвигуна.

Приймаємо $D = 224$ мм – найближчий стандартний діаметр клинопасового шківа.

Реальне передавальне відношення:

$$i_d = d/D = 200/224 = 0,892$$

Реальна частота обертання колеса вентилятора:

$$n = n_0 \cdot i_d = 1430 \cdot 0,892 = 1275 \text{ об/хв}$$

Енергетичний розрахунок вентилятора машини ОВС-25

Потужність на привід вентилятора розраховується за формулою:

$$N = \frac{Q \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}$$

де значення складових параметрів визначено у технологічних розрахунках:

$V = 10000 \text{ м}^3/\text{год}$ – максимальні витрати повітря;

$P = 92,9 \text{ кг/м}^2$ – втрати повного тиску;

$\eta = 0,65$ – об'ємний ККД вентилятора.

З урахуванням отриманих значень, максимально можлива потужність складе:

$$N = \frac{10000 \cdot 92,9}{3600 \cdot 102 \cdot 0,65} = 3,8 \text{ кВт}$$

Розрахунок на міцність приводу вентилятора.

Вихідні дані:

- максимальна потужність на привід вентилятора $N = 3,8 \text{ кВт}$;
- передавальне відношення передачі $i = 0,892$;
- діаметр ведучого шківа $d = 200 \text{ мм}$;
- частота обертання вентилятора $n = 1275 \text{ об/хв.}$
- робота двозмінна.

Схему пасової передачі наведено на рис. 4.4.

Крутний момент на ведучому валі:

$$T = 9550 \cdot N / n_0$$

З урахуванням складових, крутний момент на ведучому валі буде:

$$T = 9550 \cdot 3,8 / 1430 = 25,3 \text{ Н·м}$$

Приймаємо пас з поперечним перерізом «Б» (рис.4.5).

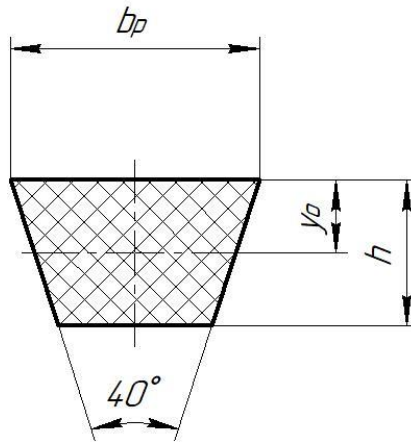


Рис. 4.5. Пас клиновий з поперечним перерізом «Б»

Параметри паса: кут клину – 40° , ширина основи верхньої – $b_p=17$ мм, ширина основи нижньої – $b_o=14$ мм; товщина паса – $h=10,5$ мм, відстань до центральної вісі – $y_o=4,0$ мм, площа поперечного перерізу: $F_1=1,38$ см², маса питома – $g=0,18$ кг/м, швидкість – не більше 25 м/с, попередній натяг – 150-250 Н

Швидкість паса:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_0}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 1430}{60 \cdot 1000} = 15 \text{ м/с}$$

Мінімальна міжосьова відстань:

$$a \geq 0,95 \cdot D = 0,95 \cdot 224 = 212,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $a=800$ мм як у базової машини.

Розрахункова довжина пасу

$$L = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} (d_h + D_h) + \frac{(D - d)^2}{4 \cdot a}$$

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$L = 2 \cdot 800 + \frac{3,14}{2} (200 + 224) + \frac{(224 - 200)^2}{4 \cdot 800} = 2265 \text{ мм}$$

Приймаємо зі стандартного ряду довжин $L = 2240$ мм.

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$a = \frac{2L - \pi(d + D) + \sqrt{(2L - \pi(d + D))^2 - 8(d - D)^2}}{8}$$

Підставимо вихідні дані:

$$a = \frac{2 \cdot 2240 - 3,14 \cdot (200 + 224) + \sqrt{(2 \cdot 2240 - 3,14 \cdot (200 + 224))^2 - 8 \cdot (200 - 224)^2}}{8}$$

$$a = 786,4 \text{ мм}$$

Кут обхвату на меншому шківі

$$d = 180 - 60 \frac{D - d}{a}$$

$$d = 180 - 60 \cdot \frac{224 - 200}{786,4} = 86,8^\circ$$

Вихідна довжина пасу

$$L_0 = 2240 \text{ мм}$$

Відносна довжина пасу:

$$L/L_0 = 2240/2240 = 1,0$$

Допустима потужність на один пас

$$[N] = (N_0 \cdot C_\alpha \cdot C_1 + \Delta N) \cdot C_p$$

де: $C_1 = 1,0$ – коефіцієнт довжини пасу;

$N_0 = 6$ кВт. – вихідна потужність на пас;

$C_\alpha \approx 1,0$ – коефіцієнт обхвату шківа;

$\Delta T = 2,3$ Н м – поправка до крутного моменту;

$C_p = 0,7$ – коефіцієнт режиму роботи.

Поправка до потужності.

$$\Delta N = 0,0001 \Delta T \cdot n_0$$

$$\Delta N = 0,0001 \cdot 2,3 \cdot 1430 = 0,33 \text{ кВт}$$

$$[N] = (6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0,33) \cdot 0,7 = 4,4 \text{ кВт}$$

Розрахункова кількість пасів

$$Z = \frac{N}{[N]}$$

З урахуванням розрахованих складових

$$Z = \frac{3,8}{4,4} = 0,86$$

Приймаємо $Z = 1$ пас.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Загальні положення

До роботи на ОВС-25 допускаються особи, що досягли 18 років, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці, а також мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії. 1.2. Головні небезпечні фактори: Рухомі частини (паси, ланцюги, шнеки). Висока концентрація зернового пилу в зоні викиду повітря. Електрична напруга силових кабелів. Рівень шуму та вібрації від роботи вентилятора аспірації.

Оператор зобов'язаний використовувати ЗІЗ: захисні окуляри, респіратор (типу FFP2/FFP3), рукавички та спецодяг, що щільно прилягає до тіла.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Оглянути цілісність корпусу циклона та надійність кріплення вихлопної труби.

Перевірити надійність заземлення рами машини та електродвигуна вентилятора.

Переконатися у відсутності сторонніх предметів у вхідному патрубку та всередині корпусу циклона через оглядові люки.

Перевірити натяг пасової передачі приводу вентилятора. Слабкий натяг призводить до перегріву пасів та зниження ефективності очищення.

Перевірити герметичність з'єднань повітропроводів. Підсмоктування повітря критично знижує швидкість потоку і збільшує ризик запилення робочої зони.

Вимоги безпеки під час роботи

Запуск машини проводити лише після подачі звукового сигналу.

Суворо забороняється:

- проштовхувати зерно або сміття рукою в завантажувальний шнек чи вхідний патрубок циклона;
- простукувати корпус циклона металевими предметами для скидання пилу під час роботи вентилятора (це створює іскри та ризик вибуху пилоповітряної суміші);

- відкривати люки для чищення конуса циклона до повної зупинки двигуна.

Під час роботи необхідно стежити за рівнем заповнення бункера під циклоном. Переповнення бункера призводить до викиду пилу через вихлопну трубу прямо в атмосферу робочої зони.

При виявленні стороннього шуму, вібрації або запаху горілої ізоляції негайно натиснути кнопку «СТОП».

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Вимкнути живлення машини на головному щиті та від'єднати силовий кабель.

Провести очищення внутрішніх поверхонь циклона. Пам'ятайте: чистота стінок напряму впливає на коефіцієнт опору (ζ) та якість очищення зерна.

Очистити сітки та вихлопну трубу від застряглих частинок соломи та легких домішок.

Видалити накопичений пил та відходи з-під циклона у спеціально відведене місце. Категорично забороняється спалювати зерновий пил поблизу машини.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі забивання циклона: Вимкнути машину, дочекатися повної зупинки вентилятора, і лише після цього розбирати конус або відкривати люк для прочищення.

При виникненні пожежі: Негайно знеструмити установку. Використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Не гасити електрообладнання водою.

При травмуванні: Надати першу допомогу, викликати медичну службу та повідомити керівництво.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих технічних рішень у сфері очищення зерна та аспірації повітря можна зробити висновок, що використання циклонів у складі зерноочисних машин є доцільним і технічно обґрунтованим.

Циклони забезпечують ефективне видалення основної маси пилу за рахунок інерційного та відцентрового розділення, характеризуються простою конструкцією, високою надійністю та здатністю працювати в умовах значних пилових навантажень без складного обслуговування.

Циклони добре інтегруються в технологічні лінії як перший ступінь очищення повітря, знижуючи навантаження на більш тонкі фільтраційні системи та підвищуючи загальну ефективність аспірації.

Таким чином, застосування циклонів у зерноочисних машинах є раціональним рішенням, що поєднує технологічну ефективність, економічність та стабільність роботи обладнання.

Отриманий у науковій частині графік ілюструє закони, що діють всередині циклона ОВС-25. Зокрема виявлено наступні закономірності:

- ліва частина графіка ($d < 5$ мкм): лінія лежить майже на нулі. Це відбувається тому, що відцентрова сила занадто мала, оскільки маса частки пилу такого розміру мізерна. Сила аеродинамічного опору повністю переважає, і пил ($d < 5$ мкм) виноситься повітрям назовні.
- центральна частина ($d_{50} = 15$ мкм): точка стрімкого зростання. Сили починають зрівнюватися, і шанс вловлювання суттєво збільшується.
- права частина графіка ($d > 30$ мкм): крива асимптотично наближається до 100% і стає пологою. Маса великих часток (крупний пил, шматочки соломи, пісок тощо) настільки значна, що відцентрова сила миттєво відкидає їх до стінок корпусу, і вони гарантовано виділяються.

У розділі «Практична реалізація результатів досліджень» нами проведені інженерні розрахунки удосконаленої аспіраційної системи і спроектовано оригінальні вузли – вентилятор і циклон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сисолін П. В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. Кн.3. К.: Фенікс. 2007. 364 с.
2. https://alexfan.com.ua/ru/universalnyy-ciklon-cn-11-250?gclid=CjwKCAjw5NvPBhAoEiwA_2egfjtE3cIdNhj1vIa-MSwFKyEjNH-wtMuv40R3hKwBoPjPvNvjeb0TehoC-xQQAxD_BwE
3. https://systemax.ua/ua/ciklony/pileulavlivajushhie-agregati/cyklofen/?srsltid=AfmBOopmcmwHJXJaxzEucvXZqLnkltKE_lxBb7Y-old24lq533gMzET
4. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1302-suchasni-zernoochysni-mashyny.html>
5. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. За ред. М. П. Ковбаси. Одеса-Київ: Київська книжкова типографія наукової книги, 1995. - 129 с.
6. 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, та ін.; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. - Кам'янець-Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. - 639 с
7. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. - Кіровоград: КНТУ, 2006. - С. 111-114.
8. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника / Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. - Х.: Мачулін, 2016 - 204 с.
9. Антоновський В., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини ОВС-25. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції

«Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 64-65.

10. 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.

11. Васильковський М.І. Теоретичні основи процесів очищення зерна в пневмосепаруючих каналах / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2018. – Вип. 45. – С. 14-21.

12. Васильковський О. М. Результати експериментальних досліджень відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – С. 54–56.

13. Васильковський О.М. Експериментальні дослідження аспірації повітрянорешітного сепаратора зерна / О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, О.О. Тернавський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 35. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – С. 282–285.

14. Васильковський О.М. Енергетичний та економічний аналіз використання зерноочисних машин / Пропозиція №1 01/2017. – 2017. – К.: видавництво. С. 150-152.

15. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В., Петренко Д.І., Якименко С.М. Обґрунтування конструктивної схеми пневморешітного сепаратора зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 104-110.

16. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету.

Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.

17. Вдосконалення технологічного процесу очищення зерна зерноочисними машинами загального призначення / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, [та ін.] // Вісник Л.Д.А.У.: Агроінженерні дослідження. – 1999, №3. – С. 102–107.

18. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. – Мелітополь, 2006. – Вип. 39 – С. 161–165.

19. Кобан Є., Олексієнко Д., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ: АТНУ, 2024. С. 34-36.

20. Нестеренко О. В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна./ О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація . - 2012. - Вип. 25(1). - С. 49-53.

21. Огляд і напрямки вдосконалення пневмосепаруючих робочих органів ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2007. – Вип. 37. – С. 99–104.

22. Петренко Д.І. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. - 2013. - Вип. 43 (2). - С. 230-237.

ДОДАТКИ