

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Удосконалення конструкції зерноочисної машини МЗП-10 з обґрунтуванням параметрів осадкового пристрою»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

_____ Савченко Олексій

Володимирович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Станіслав КАТЕРИНИЧ

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: АГРОТЕХНІЧНИЙ

Кафедра: СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти: МАГІСТР

Галузь знань: 13 МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітньо-професійна програма: 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 року

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

Савченко Олексій Володимирович

1. Тема роботи: «Удосконалення конструкції зерноочисної машини МЗП-10 з обґрунтуванням параметрів осадового пристрою»
2. Керівник роботи: Нестеренко О.В., канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 22.05.2025 року
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: підвищення ефективності роботи зерноочисної машини МЗП-10 шляхом вдосконалення конструкції та обґрунтування параметрів осадової камери

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
	Олександр НЕСТЕРЕНКО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	07.05.2025	
2	Графічна частина	10.05.2025	
3	Перевірка роботи на доброчесність	17.05.2023	
4	Захист роботи	27.05.2023	

Дата видачі завдання

«10» лютого 2025 р.

Підпис керівника _____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

Завдання прийнято до виконання

«10» лютого 2025 р.

Підпис здобувача _____ Олексій САВЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Тема: «Удосконалення конструкції зерноочисної машини МЗП-10 з обґрунтуванням параметрів осадового пристрою»

Ключові слова: зерноочисна машина; осадова камера; жалюзійна пластина;

В дипломній роботі проведено вдосконалення пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10 шляхом модернізації конструкції осадового пристрою.

Виконаний огляд зерноочисних машин, означено їх переваги та недоліки та визначено основний напрямок підвищення ефективності їх роботи.

Експериментально обґрунтовані основні параметри осадового пристрою та жалюзійної пластини, які дозволяють отримати високу ефективність виділення легкої та пилоподібної фракції.

На основі експериментальних досліджень розроблене складальне креслення вузла та деталей осадового пристрою пневмосистеми.

ABSTRAKT

Topic: «Improving the design of the MZPI-10 grain cleaning machine with rationalization of the sedimentation device parameters»

Key words: grain cleaning machine; sediment chamber; louver plate;

In the diploma work, the pneumatic system of the grain cleaning machine MZPI-10 was improved by modernizing the design of the sediment device.

The work reviewed grain cleaning machines of similar purpose, identified their advantages and disadvantages, and determined the main direction for increasing the efficiency of pneumatic systems.

The main parameters of the sediment device and the louver plate were experimentally substantiated, which allow for high efficiency of separation of light and dusty francium.

Based on experimental studies, an assembly drawing of the unit and parts of the sediment device of the pneumatic system was developed.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Наукова частина	6
3. Інженерна частина.....	31
4. Охорона праці.....	43
5. Економічна частина	45
6. Висновки	46
Список використаних джерел.....	47
Додатки.....	49

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

1. ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України особливої актуальності набувають питання підвищення ефективності функціонування сільськогосподарських підприємств. Однією з важливих складових цього процесу є забезпечення високої якості післязбиральної обробки зернових культур, зокрема очищення зерна, що безпосередньо впливає на його збереження, транспортування, подальше використання або реалізацію [1].

Серед різноманітного обладнання, що застосовується на підприємствах аграрного сектору, значне місце займають зерноочисні машини. Їх головним завданням є відокремлення домішок різного типу та фракцій від основної маси зерна. Очищення повинно відбуватися з максимально можливою продуктивністю при мінімальних витратах енергії та з дотриманням технологічних вимог щодо якості.

Машина МЗП-10 є універсальним зерноочисним агрегатом, що поєднує в собі функції попереднього та первинного очищення зернової маси. Проте, як свідчать результати досліджень та практика експлуатації, існуюча конструкція має певні недоліки. Зокрема, одним із проблемних вузлів є осадочний пристрій, ефективність роботи якого безпосередньо впливає на загальну продуктивність машини, якість очищення зерна та енергоефективність [2].

Актуальність удосконалення конструкції зерноочисної машини МЗП-10 зумовлена потребою у зниженні експлуатаційних витрат, підвищенні якості очищення зерна, а також зменшенні енергоємності процесу. Застосування сучасних технічних рішень, оновлення конструктивних параметрів і оптимізація роботи осадочного пристрою дозволяють досягти значного техніко-економічного ефекту.

В дипломній роботі запропонована модернізація зерноочисної машини МЗП-10, що дозволить підвищити показники її технологічної ефективності, збільшити якість пневмосепарації, а також зменшити енергоємність машини.

					УЗМ 00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Саєченко			ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Нестеренко					5	1
<i>Реценз.</i>						ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.1		
<i>Н. Контр.</i>		Мачок						
<i>Затверд.</i>		Васильковський						

До переваг зерноочисної машини ОВС-25 можна віднести наступні [5]:

- Універсальність для різних культур. Завдяки наявності регулювання швидкості повітряного потоку пневмосистема може адаптуватися до зерна з різною аеродинамікою (колосові, кукурудза, сорго, соняшник тощо).
- Простота конструкції. Використання заслінки для регулювання потоку повітря — просте й надійне інженерне рішення, яке легко обслуговувати і ремонтувати.
- Інтеграція з решітною системою. Узгоджена робота повітряного та решітного очищення дозволяє досягати високої якості розділення вороху.
- Повітря після аспірації викидається в навколишнє середовище, що спричиняє запилення і потребує роботу машини переважно на відкритому повітрі або в приміщеннях із вентиляцією.

При цьому є такі недоліки:

- Обмежене регулювання. Регулювання швидкості повітря виконується механічно (заслінкою), що не дозволяє точно підтримувати стабільний повітряний режим у разі змін вологості або щільності вороху.
- Втрати повітряної енергії. Через відсутність рециркуляції пневмосистема є менш енергоефективною в порівнянні з замкненими системами, наприклад, як у машинах МЗП-10;
- Запилення робочої зони. За відсутності аспіраційної фільтрації дрібні частинки можуть потрапляти в повітря робочого середовища, погіршуючи умови праці.
- Нерівномірність очищення при великих об'ємах. При максимальних навантаженнях пневмосистема може не забезпечити рівномірного очищення всієї маси вороху.

Отже, пневмосистема ОВС-25 - це ефективне, просте й надійне рішення для попереднього очищення зерна, яке добре підходить для умов господарств середнього рівня. Однак відсутність рециркуляції та високої точності

										Лист
										10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	УЗМ 00.000 ПЗ					

регулювання знижує її енергоефективність і ускладнює використання в закритих приміщеннях або для культур з вузьким діапазоном фракцій.

Самопересувний очисний комплекс СІК-30 (рис. 2.3.) [6] призначений для виконання попереднього та первинного очищення зерна різних сільськогосподарських культур, зокрема пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшника, гороху тощо. Агрегат ефективно працює безпосередньо у полі чи біля токів, дозволяючи проводити очищення без попереднього транспортування зернової маси до стаціонарних комплексів.



Рис. 2.3. Самопересувний очисний комплекс СІК-30

Конструктивно він включає:

- завантажувальний бункер, який приймає зерно з транспортних засобів або буртів;
- шнекові або стрічкові транспортери для подачі матеріалу до очисних секцій;
- вентиляційну установку з можливістю регулювання інтенсивності повітряного потоку;
- решітно-повітряний сепаратор, що забезпечує виділення легких домішок та калібрування зерна;
- пульт керування, який дозволяє оперативно змінювати параметри роботи агрегату;

2. Регулювання параметрів. Наявність регульованої системи повітряного потоку дозволяє налаштувати машину на обробку зерна різного типу та вологості.
3. Проста експлуатація. Конструкція передбачає зручний доступ до вузлів обслуговування, що полегшує регулювання та ремонтні роботи.

Недоліки СВС-25:

1. Розімкнена повітряна система. Викид запиленого повітря в атмосферу обмежує використання в закритих приміщеннях.
2. Низька точність калібрування. Порівняно зі спеціалізованими калібрувальними машинами, точність сортування фракцій нижча.
3. Шум і вібрації. При роботі машина створює підвищений рівень шуму, що потребує засобів захисту слуху для оператора.

Отже, сепаратор СВС-25 є практичним і продуктивним рішенням для попереднього очищення зерна. Проте відсутність замкненої повітряної системи та потреба в ручному регулюванні створюють обмеження для високоточного калібрування зерна [7].

На основі проведеного аналізу конструкцій та принципів роботи зерноочисних машин можна сформулювати такі узагальнення:

- Підвищення ефективності використання повітряного потоку може бути досягнуто шляхом організації його послідовного або паралельного впливу на зернову масу під час очищення.
- Збільшення питомого навантаження на систему спричиняє зростання кількості дрібнодисперсних частинок і пилу, які залишаються у повітряному потоці та негативно впливають на якість сепарації
- Конструктивна обмеженість габаритів осадкових камер змушує збільшувати швидкість руху повітря в системі, що, у свою чергу, знижує ефективність вилучення легких домішок і пилоподібних часток у відходи.
- Підвищення ефективності відокремлення легких фракцій можливе за рахунок удосконалення процесу доочищення, збільшення об'єму зони пневмосепарації, розширення площі контакту зерна з повітряним

- формує розрідження,
- сприяє очищенню зерна від легких домішок,
- вивантажує оброблений матеріал із машини.

Повітряно-решітний блок конструктивно включає: бункер (1), дозатор (2), розподільник потоку (3), регулювальну заслінку (4), щіточний ротор із лопатками (5), решето (6), аспіраційні канали (7), інерційний вивантажувач (8).

Подача зерна здійснюється шнековими живильниками, які транспортують ворох до ковшового елеватора, де він подається на решітну поверхню. Великі домішки залишаються на решеті й виводяться окремо, тоді як основна маса зерна, просіваючись, надходить до подальших стадій очищення. У процесі просування вона двічі продувається повітрям, що створює ротор.

Лопатки ротора захоплюють зернову масу, прискорюють її, і далі вона рівномірно розподіляється по робочій площині решіт. Дрібні частинки проходять через прорізи сита та збираються у спеціальний бункер. Очищене зерно, набравши швидкість, вивантажується через кожух назовні.

Попри те, що в конструкції машини МЗП-10 реалізовано технологічно обґрунтовану послідовність операцій та передбачено двоступеневу обробку зернової маси із застосуванням замкненої повітряної системи (яка охоплює похилий та вертикальний аспіраційні канали), одним із ключових недоліків є обмежений об'єм осадової камери. Такий конструктивний фактор перешкоджає ефективному осіданню легких домішок і сприяє нагромадженню пилоподібних частинок у циркуляційному повітряному потоці, що в підсумку призводить до зниження загальної ефективності сепарації зернового матеріалу.

2.3. Пропозиції по вдосконаленню осадового пристрою зерноочисної машини МЗП-10.

На підставі детального аналізу конструктивних особливостей інерційного прямоточного сепаратора та результатів випробувань можна зробити висновок, що одним із головних недоліків даного агрегату є недостатня ефективність повітряного розділення зернової маси.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

Це, насамперед, обумовлено обмеженими габаритами машини, які, у свою чергу, спричиняють геометричні обмеження основних функціональних вузлів, зокрема осадової камери.

Оскільки в конструкції сепаратора реалізовано замкнену схему циркуляції повітря, значна кількість легких та дрібнодисперсних домішок не встигає осісти в зоні осадження через високу швидкість повітряного потоку. Унаслідок цього ці частинки не потрапляють у приймальник легких фракцій, а продовжують циркулювати по системі. Така ситуація призводить до перенасичення повітря домішками, що погіршує подальшу ефективність їх видалення під час повторного проходження повітря через зону сепарації. Як результат - знижується якість вилучення легких фракцій, що негативно позначається на загальній технологічній ефективності функціонування сепаратора.

З метою підвищення результативності осадження легких домішок, у роботі запропоновано внести певні зміни до конструкції пневмосистеми. Зокрема, передбачається встановлення жалюзійної пластини у нижній частині осадової камери (рис. 2.7), яка забезпечить більш стабільне осідання дрібнодисперсних фракцій.

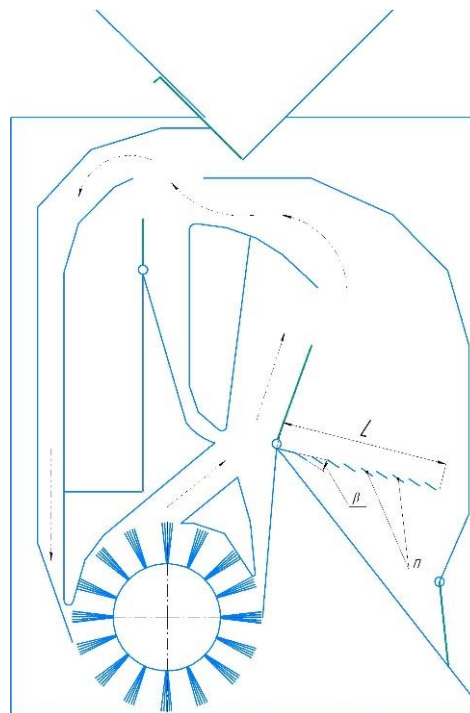


Рис. 2.7 Схема вдосконаленого осадового пристрою пневмосистеми МЗП-10.

Застосування жалюзійних елементів дозволить зменшити повторну циркуляцію пилоподібних частинок, покращити чистоту повітряного потоку і, як наслідок, збільшити ефективність процесу пневмосепарації зерна.

2.4. Загальна характеристика наукової частини роботи

Мета роботи: підвищення ефективності роботи пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10 шляхом обґрунтування основних параметрів осадового пристрою для інтенсифікації виділення легкої та пилоподібної фракції.

Задачі досліджень:

- визначити основні режими пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10;
- обґрунтувати основні параметри жалюзійної пластини осадового пристрою та дослідити їх вплив на якісні показники сепарації.

Предмет досліджень – параметри жалюзійної пластини осадової камери пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10.

Об'єкт дослідження - процес виділення легких домішок в осадовій камері зерноочисної машини МЗП-10 з жалюзійною пластиною.

2.4.1. Програма та методика досліджень пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10.

1. Аналіз аеродинамічної характеристики пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10.

2. Обґрунтувати основні режимні параметри удосконаленої пневмосистеми зерноочисної машини та дослідити їх вплив на якісні показники сепарації.

Для уточнення враховується коефіцієнт Кориоліса (кінетичної енергії):

$$h_i = \left(\frac{1}{(A_i \cdot V_i^3)} \cdot \int A \cdot V_3 dA \right) \quad (2.5)$$

Цей коефіцієнт враховує нерівномірність швидкостей у перерізі. Значення V_0 , V_i - це середні швидкості повітря у відповідних перерізах. Зміни теплоти в потоці залежать від конкретного термодинамічного процесу, що відбувається між перерізами 0-0 та 1-1, 2-2, 3-3. Загалом, для таких умов характерний політропний процес, при якому стан повітря змінюється за співвідношенням:

Зміна стану повітря в каналі описується політропним процесом:

$$p \cdot V^n = const,$$

де n - показник політропи. У разі ізотермічного процесу $n \approx 1$.

У разі відсутності теплового підводу можна припустити, що процес відбувається ізотермічно, при цьому тиск прямо пропорційний густині.

Згідно з експериментальними даними [10, 11], у реальних умовах зміна стану повітря в межах окремої ділянки найбільш наближено відповідає ізотермі з політропним коефіцієнтом $n \approx 1$

При віднесенні потужності потоку до об'ємної витрати через переріз 0-0, формула набуває вигляду:

$$P = \frac{\Delta N}{Q} \quad (2.6)$$

де P - питомі втрати потужності.

Припустимо, що статичний тиск у перерізах 1-1 та 2-2 можна апроксимувати єдиним виразом, тоді:

$$P = \rho \cdot V^2 \cdot h$$

Після підстановки об'ємної витрати отримаємо:

$$Q = b_0 \cdot H \cdot V$$

де b_0 - глибина каналу, H - його висота.

2.5.1. Опис експериментальної установки для дослідження осадового пристрою зерноочисної машини МЗП-10

Для дослідження параметрів осадового пристрою пневмосистеми та їхнього впливу на ефективність роботи зерноочисної машини МЗП-10 була застосована експериментальна установка, зовнішній вигляд якої представлений на рис. 2.9. Конструкція стенду передбачає можливість змінювати основні робочі параметри в заданих межах, що дозволяє імітувати різні режими функціонування машини.

Одну зі стінок пневмосистеми виконано з прозорого оргскла, що забезпечує зручне спостереження за внутрішніми процесами. До основних елементів експериментальної пневмосистеми належать: завантажувальний бункер, дозуючий живильник, повітряні канали для сепарації, щітковий ротор, осадова камера, ежекційний канал, а також приймальні ємності для легких фракцій.



Рис. 2.9. Експериментальна установка для дослідження параметрів осадового пристрою пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10

Зміна питомого навантаження зернової суміші здійснюється шляхом регулювання положення заслінки завантажувального бункера. Швидкість повітряного потоку в каналі керується за рахунок варіювання обертів ротора.

Для аналізу впливу геометричних параметрів похилого лотка та жалюзійної перегородки на процес виділення легких домішок було проведено серію лабораторних випробувань. На кожному етапі досліду у бункер завантажували по 12 кг зернового матеріалу. Питоме навантаження розраховували, визначаючи масу зерна, що проходила через одиницю ширини каналу за фіксований проміжок часу [12]:

$$q_b = \frac{m}{B \cdot t}, \quad (2.17)$$

Перед початком експериментів проводилось тарування заслінки, що дозволяло встановити потоки зерна для різних режимів очищення (первинне, вторинне, попереднє). Випробування проводились у діапазоні питомого навантаження $q_b=1000\dots1200$ кг/дм·год; Швидкість подачі зернової маси в горизонтальний канал встановлювали 0,5м/с, а швидкість повітря на вході в систему варіювали від 7 до 9 м/с шляхом зміни обертів щіткового ротора.

В ході експериментів досліджували вплив геометрії жалюзійної перегородки (довжина $L = 200\text{--}400$ мм, кут нахилу $\alpha = 45\text{--}60^\circ$, кількість жалюзей 4–12, кут їх нахилу $\beta = 15\text{--}45^\circ$) на розподіл швидкостей повітря у ключових ділянках системи. Основним критерієм ефективності вважалась масова частка легких домішок у відходах та втрати кондиційного зерна.

У дослідах як матеріал використовували суміш зерна пшениці та сої з вологістю 14–16% і засміченістю близько 12%. Зерновий ворох містив побіті зерна, лушпиння, уламки та дрібні сторонні включення.

Якість сепарації оцінювали за коефіцієнтом виділення легких домішок:

$$\varepsilon = \frac{G_{\text{вид}}}{G_{\text{заг}}} \quad (2.22)$$

де $G_{\text{вид}}$ – маса виділених легких та дрібнодисперсних часток, кг;

$G_{\text{заг}}$ – початкова маса домішок у дослідному зерновому матеріалі, кг;

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

3.4. Результати експериментальних досліджень при обґрунтуванні параметрів осадового пристрою пневмосистеми зерноочисної машини МЗПІ-10

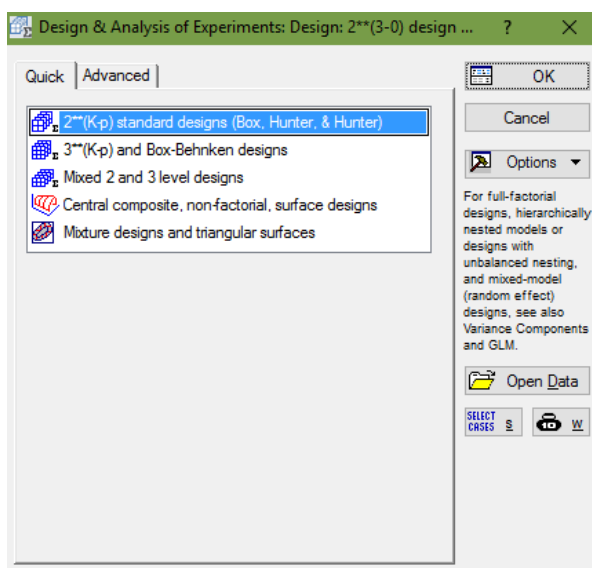
В таблиці 2.2 приведені найбільш впливові фактори на ефективність роботи осадового пристрою пневмосистеми зерноочисної машини МЗПІ-10, їх рівні та інтервали варіювання.

Таблиця 2.1

Рівні варіювання експериментальних факторів для дослідження осадового пристрою пневмосистеми машини МЗПІ-10

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Назва	Позначення	Нижній (-)	Верхній (+)	
1	Кількість жалюзей, n , шт	x_1	4	12	4
2	Довжина жалюзійної пластини, L , м	x_2	0,2	0,4	0,1
3	Кут нахилу жалюзей, β°	x_3	15	45	15

План експерименту був розроблений відповідно до загальноприйнятої методики з використанням прикладного програмного середовища STATISTICA 10 [13]. Формування матриці експериментальних досліджень $n = 2^3 = 8$ передбачало поетапне виконання стандартних команд інтерфейсу, які забезпечують налаштування факторів дослідження та рівнів їх варіювання.



Effect Estimates; Var.: ϵ , %; R-sqr=,99687; Adj:,97806 (Spreadsheet111) 3 factors, 1 Blocks, 8 Runs; MS Residual=,125 DV: ϵ , %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	76,62500	0,125000	613,0000	0,001039	75,03672	78,21328	76,62500	0,125000	75,03672	78,21328
(1) ρ , шт(L)	2,25000	0,250000	9,0000	0,070447	-0,92655	5,42655	1,12500	0,125000	-0,46328	2,71328
(2)L, m(L)	1,75000	0,250000	7,0000	0,090334	-1,42655	4,92655	0,87500	0,125000	-0,71328	2,46328
(3) β , град(L)	-3,25000	0,250000	-13,0000	0,048875	-6,42655	-0,07345	-1,62500	0,125000	-3,21328	-0,03672
1L by 2L	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328
1L by 3L	0,75000	0,250000	3,0000	0,204833	-2,42655	3,92655	0,37500	0,125000	-1,21328	1,96328
2L by 3L	-0,75000	0,250000	-3,0000	0,204833	-3,92655	2,42655	-0,37500	0,125000	-1,96328	1,21328

У результаті обробки експериментальних даних була побудована статистична регресійна модель, яка описує залежність між досліджуваними входними параметрами та критерієм якості роботи - ефектом пневмосепарації в досліджуваному каналі зерноочисної машини. У зручній для подальшого аналізу формі ця модель подана як аналітичне рівняння/

Так, загальний вигляд отриманої статистичної моделі, яка характеризує вплив досліджуваних факторів на ефективність розділення домішок у повітряно-решітному вузлі, має наступну форму:

$$Y = 76,62 + 1,16x_1 + 0,87x_2 - 1,62x_3 - 0,12x_1x_2 + 0,37x_1x_3 - 0,37x_2x_3$$

Верифікація достовірності та якісних характеристик отриманої моделі (відтворюваність, адекватність, статистична значущість коефіцієнтів) проводилась згідно з загальноприйнятою процедурою автоматизованої перевірки у середовищі STATISTICA 10.

Отримане рівняння регресії дало можливість побудувати поверхні відгуку, які візуалізують вплив обраних змінних на цільову функцію оптимізації - показники якості очищення. Відповідні графічні залежності подано нижче.

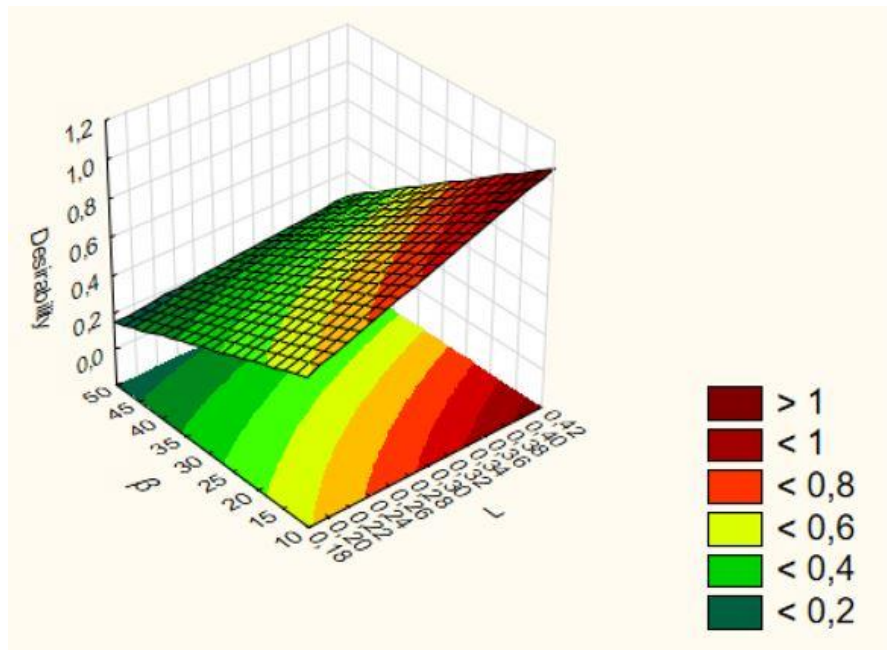


Рис. 2.12. Поверхня відгуку $Y = f(x_2, x_3)$, впливу довжина жалюзійної пластини, (L) та кута нахилу жалюзей (β) на ефективність виділення легких домішок (Y)

Проаналізувавши отримані результати багатofакторного експерименту можна стверджувати, що найбільший вплив серед обраних факторів на ефект виділення домішок та пилоподібних часток має кут нахилу жалюзей та їх кількість. Враховуючи конструкційні параметри осадового пристрою та виходячи із графічних зображень (рис. 2.10...2.12), раціональними значеннями цих факторів є: кут нахилу жалюзей – $\beta = 30^\circ$, довжина пластини – $L = 0,35$ м та кількість жалюзей $n = 7$ шт.

В свою чергу, кількість жалюзей на ступінь має певний вплив на критерій оптимізації, проте в обраному діапазоні значень факторів більш впливовою є попарна взаємодія кількості жалюзей та кута їх нахилу.

Для перевірки роботоздатності модернізованої конструкції сепаратора та обґрунтованих параметрів пневмосистеми переходимо до інженерних розрахунків.

3. ИНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок основних параметрів повітряної системи зерноочисної машини МЗП-10

Зерноочисна машина МЗП-10 призначена для розділення зернової суміші шляхом відокремлення від неї крупних, легких та дрібних домішок. Процес сепарації за аеродинамічними характеристиками здійснюється поетапно у двох повітряних каналах, які конструктивно поєднані в єдину замкнену пневмосистему. Таким чином, циркуляція повітря в межах системи відбувається відповідно до принципів сталості масового потоку, що ґрунтуються на законі неперервності.

Згідно із законом збереження енергії, для будь-якого перерізу повітряної системи можна записати [14]:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q,$$

або

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = \dots = F_n V_n = FV, \quad (3.1)$$

де $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ – об'ємні витрати повітря у відповідних перерізах пневмосистеми зерноочисної машини з замкненим контуром, м³/год.

У рамках цієї моделі вважаємо:

Q – повітряна витрата в зоні, розташованій безпосередньо за щітковим ротором;

Q_1 – витрата у горизонтальному повітряному каналі (друга ступінь очищення);

Q_2 – витрата у повітряному каналі першого очищення.

F_i – площа поперечного перерізу пневмоканалу у відповідній зоні, м²;

V_i – середнє значення швидкості повітря в цьому перерізі, м/с.

Для забезпечення ефективної та стабільної роботи вдосконаленої пневмосистеми, включаючи модернізований осадочний пристрій, необхідно створити умови, за яких швидкість повітря відповідатиме аеродинамічним характеристикам повноцінного зерна.

Зокрема, це стосується середньої швидкості витання, наприклад, зерна пшениці, яка визначає допустимі межі швидкісного режиму в пневмоканалах.

$$V_1 = 0,7 \cdot V_6, \quad (3.2)$$

де V_6 – швидкість витання зерна, м/с, для пшениці приймаємо $V_{6ум} = 12,6$ м/с.

$$V_1 = 0,7 \cdot 12,6 = 8,82 \text{ м/с.}$$

Робочу швидкість повітряного потоку для ефективного виділення часток в горизонтальному пневмо каналі повторної сепарації визначаємо аналогічно:

$$V_2 = 0,9 \cdot V_6 = 0,9 \cdot 12,6 = 11,34 \text{ м/с.}$$

Для забезпечення ефективного осадження легких домішок необхідно, щоб швидкість повітряного потоку в осадовій камері була істотно меншою за відповідну швидкість у пневмосепараційних каналах - принаймні у 2,5–3 рази менше [16].

Беручи це до уваги, приймаємо розрахункове значення швидкості потоку в зоні осадження на рівні:

$$V_3 = 11,34/3 = 3,78 \text{ м/с;}$$

Зважаючи на те, що пневматична система сепаратора функціонує у взаємодії з решітним модулем, з конструктивної точки зору доцільно прийняти, щоб ширина обох пневмосепараційних каналів дорівнювала ширині колосового решета.

Отже, цей параметр слід узгоджувати з габаритами решітної частини - наприклад, $B = 960$ мм. (значення уточнюється за конкретною моделлю).

Для подальшого визначення глибини пневмосепаруючих каналів у рамках інженерного обґрунтування буде застосовано відповідну аналітичну залежність [16]:

$$C = \frac{q_b + 1350 \cdot \varepsilon - 1135}{22,7 - 27 \cdot \varepsilon}, \quad (3.3)$$

де q_b – питоме навантаження зерна пшениці на одиницю ширини пневмоканалу під час процесу очищення, кг/дм·год;

ε – ступінь (повнота) виділення легких домішок із початкового матеріалу, який надходить на очищення.

										Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					УЗМ 00.000 ПЗ	32

- ефективність розділення за допомогою пневмосистеми складає не менше ніж 74%;
- робоча швидкість повітря в першому аспіраційному каналі при обробці зерна – $V_1 = 8,2$ м/с;
- відповідна швидкість у горизонтальному пневмоканалі другого ступеня сепарації – $V_2 = 10,8$ м/с;
- швидкість повітряного потоку в осадовій камері – $V_3 = 3,4$ м/с;
- загальні витрати повітря, що проходить через пневматичну систему сепаратора, визначаються згідно з отриманими параметрами $Q = 8128$ м³/год.

3.2. Розрахунок витрат повітря в осадовій камері пневмосепаратора та обґрунтування параметрів жалюзійної пластини.

Розрахунок витрат повітря при вході в осадову камеру пневмосепаратора:

$$Q = F_1 \cdot V_{\pi}$$

де F_1 – площа поперечного перерізу осадової камери пневмосепаратора

$$F_1 = B_1 \cdot C_1, \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

$$F_1 = 0,96 \cdot 0,28 = 0,268 \text{ м}^2$$

Тоді,

$$Q_1 = 0,268 \cdot 3,4 = 0,911 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначаємо коефіцієнт масової концентрації зернових часток:

$$\mu = \frac{Q_3}{3,6 \cdot Q \cdot \gamma_n}, \quad (3.7)$$

де Q_3 - загальна продуктивність машини МЗП-10, т / год;

γ_n - питома маса повітря, $\gamma_n = 1,24$ кг / м³.

$$\mu = \frac{10}{3,6 \cdot 0,911 \cdot 1,24} = 2,46$$

Динамічний тиск повітря перерізі осадової камери розраховуємо за формулою:

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{дин} = \gamma_{\theta} \cdot \frac{v_{\theta}^2}{2g} \cdot (1 + \mu \cdot \frac{v_{\theta}^2}{v_{\theta}^2}), \quad (3.8)$$

Відношення швидкостей переміщення легких часток до швидкості руху повітря потрібно приймати $v_{\Gamma} \div v_{\theta} = 0,75$ [15].

$$H_{дин} = 1,24 \cdot \frac{8,4^2}{2 \cdot 9,81} \cdot (1 + 2,46 \cdot 0,75^2) = 10,41 \text{ кг / м}^2$$

Розраховуємо тиск необхідний для піднімання легких часток за формулою:

$$H_{під} = (1 + \mu) \cdot \gamma_n \cdot h, \quad (3.10)$$

де h - висота підйому легких часток, 0,7 м.

$$H_{під} = (1 + 0,71) \cdot 1,24 \cdot 0,7 = 1,47, \text{ кг / м}^2$$

Розраховуємо гідравлічний коефіцієнт опору руху повітря в осадовій камері за формулою:

$$\lambda_{\theta} = 0,0124 + \frac{0,0011}{d}, \quad (3.11)$$

$$\gamma_{\theta} = 0,0124 + \frac{0,0011}{0,09} = 0,0246$$

Визначаємо коефіцієнт опору переміщення легких часток за формулою:

$$\lambda_{см} = 1,3 \cdot \lambda_n, \quad (3.12)$$

$$\gamma_{см} = 1,3 \cdot 0,0246 = 0,032$$

Розраховуємо тиск при здоланні тертя легких часток у осадовій камері:

$$H_{тр} = \lambda_{см} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_{\theta}^2}{2g} (1 + \mu) \cdot \gamma_{\theta}, \quad (3.13)$$

$$H_{тр} = 0,032 \cdot \frac{12}{0,09} \cdot \frac{8,4^2}{2 \cdot 9,81} (1 + 0,71) \cdot 1,24 = 28,4 \text{ кг / м}^2$$

Розраховуємо тиск на подолання місцевих опорів при русі легких часток:

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

$$H_M = \sum \varepsilon \cdot \frac{\gamma_n \cdot v_6^2}{2g}, \quad (3.14)$$

Визначаємо коефіцієнт опору інжектора пневмосепаратора [15], при F :

$f = 2$ та при $\alpha = 20^\circ$:

$$\varepsilon_7 = 0,1$$

Визначаємо коефіцієнт опору в місці після ротора:

$$\varepsilon_8 = \varepsilon_7 + \varepsilon_{дон}, \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_8 = 0,1 + 0,26 = 0,36$$

Отже, сума коефіцієнтів усіх місцевих опорів пневмосепаратора МЗП-10:

$$\sum \varepsilon = 2,48$$

Розраховуємо втрати тиску повітря у елементах, які утворюються в місцевих опорах (жалюзійна пластина):

$$H_M = 2,48 \cdot \frac{8,4^2 \cdot 1,24}{2 \cdot 9,81} = 9,06 \text{ кг / м}^2$$

Визначаємо статичний тиск за наступною формулою:

$$H_{ст} = H_{под} + H_{тр} + H_M, \quad (3.16)$$

$$H_{ст} = 1,47 + 28,4 + 9,06 = 38,9 \text{ г / м}^2$$

Визначаємо повний тиск пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10:

$$H_n = H_{дин} + H_{ст}, \quad (3.17)$$

де H_n - повний тиск в пневмосистемі машини МЗП-10, кг / м²;

$H_{дин}$ - динамічний тиск в пневмосистемі МЗП-10, кг / м²;

$H_{ст}$ - статичний напор у пневмосистемі МЗП-10, кг / м².

$$H_{пов} = 12 + 38,9 = 50,9 \text{ кг / м}^2$$

Площа поперечного перерізу однієї щітки, згідно з (рис. 2.9), розраховується як:

$$F_{лн} = a \cdot b,$$

де a – фактична довжина щіток ротора, яка також є загальною його довжиною, тому є рівною ширині пневмосепараційного каналу.

$$a = B = 0,46 \text{ м}$$

b – висота щітки ротору вибираємо конструктивно, із урахуванням умов створення якісного процесу роботи решітної частини сепаратора.

Згідно експериментальним даним [8], та відповідними геометричними підрахунками рис. 3.1, висота щітки ротора $b=0,05$ м.

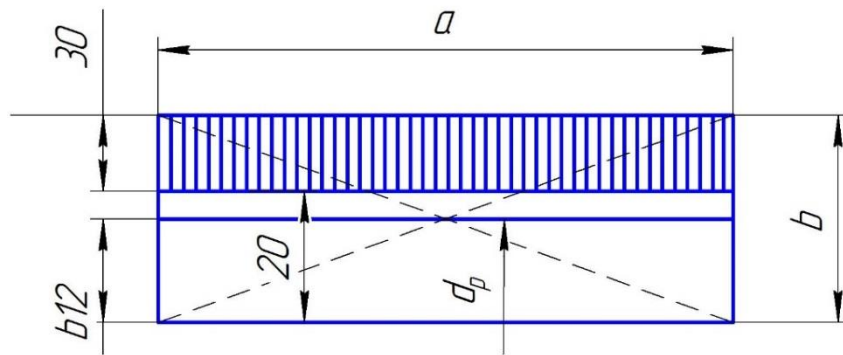


Рис. 3. 1. Геометричні параметри щітки ротора

Тому,

$$F_{лн} = 0,9 \cdot 0,05 = 0,045 \text{ м}^2.$$

З метою досягнення належної якості очищення на решеті та формування необхідного повітряного потоку, доцільно використовувати 24 щітки на барабані [8].

Для визначення швидкісних характеристик потоку, що утворюється щітками, розрахуємо кутову швидкість обертання:

$$\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30} = \frac{3,14 \cdot 1400}{30} = 146,5 \text{ рад/с}$$

Радіус передньої частини щітки становить (рис. 2.9):

$$r_l = \frac{d_l}{2} = \frac{1}{2} \cdot (D_p - b) = \frac{1}{2} \cdot (0,25 - 0,05) = 0,1 \text{ м}$$

Лінійна швидкість:

$$V_l = \omega_p \cdot r_l = 146,5 \cdot 0,1 = 14,65 \text{ м/с}$$

Об'єм витісненого повітря:

$$m_n = 1,2 \cdot 0,045 \cdot 24 \cdot 14,65 = 18,9 \text{ кг.}$$

Щоб забезпечити стабільну роботу пневмосистеми, необхідно також оцінити кінематичний режим[18]:

$$K = \frac{\omega^2 \cdot R_p}{g} = \frac{146,5^2 \cdot 0,125}{9,81} = 273,5$$

Швидкість потоку повітря, що створюється ротором, пов'язана з лінійною швидкістю щіток таким співвідношенням:

$$V_{нов} = \xi \cdot V_l,$$

де ξ – коефіцієнт пропорційності, залежний від конструктивних параметрів ротора. Згідно з джерелом [15], для заданих умов $K=273,5$ та $i = 24$ шт., коефіцієнт пропорційності рівний $\xi = 0,82$ [16].

Таким чином:

$$V_{нов} = 0,82 \cdot 14,65 = 12 \text{ м/с}$$

З урахуванням отриманих значень, можна зробити висновок, що щітковий ротор із діаметром 250 мм та кількістю щіток 24 шт., висотою щітки 50 мм і довжиною 460 мм, за частоти обертання 1400 об/хв, здатен створити повітряний потік зі швидкістю 12 м/с. Такого режиму цілком достатньо для здійснення ефективного повітряного очищення зернової маси в пневмосистемі зерноочисної машини МЗП-10.

3.4. Розрахунок потужності яка необхідна для створення повітряного потоку

Загальна потужність приводу щіткового ротора визначається як сума енерговитрат на створення та підтримання повітряного потоку в пневмосистемі та на переміщення зернової маси по підсівному решету:

$$N = N_1 + N_2,$$

де N_1 – потужність, необхідна для подолання гідродинамічних та механічних опор у повітряному контурі;

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

N_2 – енерговитрати на транспортування та інерційне вивантаження очищеного зерна;

Потужність на створення повітряного потоку і подолання шкідливих опорів в пневмосистемі може бути визначена наступним чином

Потужність N_1 можна подати у вигляді суми двох складових залежних від кутової швидкості ω :

$$N_1 = A \cdot \omega + B \cdot \omega^3.$$

Перший доданок $A \cdot \omega$ відповідає подоланню тертя та механічних опор, а другий $B \cdot \omega^3$, спрямований на створення повітряного потоку.

Розраховуємо коефіцієнт A , що можна виразити наступним чином:

$$A = R \cdot \psi \cdot \rho,$$

де R – сума реакцій у підшипниках ротора (1600 Н);

ρ – радіус цапфи ротора пневмосепаратора, м;

ψ – коефіцієнт тертя на цапфі (разом із радіусом $\psi=1,5 \cdot 10^{-4}$ м).

Опорами ротора у конструкції пневмо системи машини є підшипники кочення. Відповідно, враховуючи це, приймаємо $\rho \cdot \psi = 0,00015$ м.

Сума реакцій складає $R = 1600$ Н. З урахуванням означеного

$$A = 0,00015 \cdot 1600 = 0,24 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо коефіцієнт B , який пов'язаний з характеристиками повітря і параметрами щіткового ротора:

$$B = \frac{\gamma_{II} \cdot F \cdot i \cdot \varepsilon^2 \cdot r_n^3}{2g} = \frac{1,2 \cdot 0,045 \cdot 24 \cdot 0,58^2 \cdot 0,1^3}{2 \cdot 9,81} = 2,7 \cdot 10^{-5}$$

Враховуючи отримані розрахунки, визначаємо першу складову сумарної потужності:

$$N_1 = 0,24 \cdot 146,5 + 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 146,5^3 = 376 \text{ Вт}.$$

Потужність N_2 , що витрачається на пересування зерна по прутковому решету й інерційне вивантаження, визначається експериментально для каналів довжиною 460 мм при питомому навантаженні 1200 кг/дм·год та кінематичному коефіцієнті ротора $K=273,5$ [15, 20].

Отже, якщо пневмо канал має довжину $L = 460$ мм, при питомому навантаженні зернового матеріалу $q = 1200$ кг/дм³·год та кінематичному режимі ротора $K = 273,5$ потужність буде $N_2 = 1260$ Вт.

Загальна потужність для приводу щіткового ротора складає:

$$N = N_1 + N_2 = 376 + 1260 = 1636 \text{ Вт}$$

Вибір електродвигуна для приведення щіткового ротору пневмосистеми МЗП-10 виконуємо за стандартною методикою.

Підбір електродвигуна проводимо за співвідношенням:

$$N_{\text{об}} \geq 1,1 \cdot N_{\text{розр}} = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ кВт}$$

Отримуємо найближчий стандартний типорозмір, двигун АІР90L4.

Потужність двигуна: 1,8 кВт або 2,2 кВт (краще обрати останній як більш доступний варіант)

Параметри вибраного електродвигуна:

- Потужність: 2,2 кВт;
- Частота обертання- 1500 об/хв;
- Напруга: 380 В;
- Струм: $\approx 5,2$ А;
- Ступінь захисту: ІР54 або ІР55;
- Вага: близько 30–35 кг.

В інженерній частині були виконані технологічні розрахунки на основі яких визначені основні параметри пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10, проведено обґрунтування параметрів удосконаленої осадової камери, щіткового ротору та зроблені відповідні енергетичні розрахунки.

Розраховані основні режими роботи замкнутої пневмосистеми зерноочисної машини МЗП-10 та вибрано необхідний електродвигун.

Для забезпечення надійної роботи механізму при розрахунковому навантаженні 1,6 кВт доцільно використовувати електродвигун типу АІР90L4, номінальною потужністю 2,2 кВт, що має конструктивний і потужностний запас.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Обґрунтування заходів для створення належних санітарно-гігієнічних умов при роботі з зерноочисною машиною МЗП-10.

У процесі роботи зерноочисної машини МЗП-10 можуть виникати низка небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що становлять потенційну загрозу для оператора. Вони поділяються на [20]:

1. Фізичні виробничі фактори:

- обертіві та рухомі елементи (шнеки, завантажувальний транспортер, системи приводу і самопересування);
- відкриті рухомі частини, які не мають захисних кожухів;
- підвищена концентрація пилу в зоні очищення зернової маси;
- несприятливі мікрокліматичні умови (підвищена температура та вологість повітря);
- надмірний рівень шуму і вібрацій;
- електричні ризики, пов'язані з робочою напругою 220/380 В;
- недостатній рівень природного освітлення;
- наявність нагрітих поверхонь, які можуть спричинити термічні ураження.

2. Хімічні фактори:

- контакт із токсичними речовинами під час обслуговування та ремонту обладнання, які можуть проникати через шкіру.

3. Пожежна безпека:

- ймовірність займання при несправності електросистем або перегріві електроприводів.

4.2. Заходи для створення належних санітарно-гігієнічних умов

Для мінімізації запылення у зоні очищення передбачено замкнену систему повітряної сепарації. Працівники, що обслуговують сепаруючий модуль, мають використовувати засоби індивідуального захисту: респіратори У-2К або ватно-марлеві пов'язки [21].

У разі розміщення машини в закритих приміщеннях обов'язковою є наявність системи вентиляції.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб знизити рівень шуму та вібрацій, реалізовано такі технічні рішення:

- використання амортизуючих прокладок і мастильних матеріалів на основних вузлах;
- позначення зон із шумом понад 80 дБ відповідними знаками безпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.4.026-76.

Для забезпечення безпеки обслуговування машина оснащена написами: «Обслуговування та ремонт – лише при вимкненому живленні», «Відкрито», «Закрито».

Крім того, на кришках електродвигунів нанесено жовті стрілки, що вказують напрямок обертання валів.

4.3. Заходи щодо забезпечення безпечних умов експлуатації

З метою зниження ризиків травмування:

- приводи та вузли пересування захищені кожухами, які забарвлено у контрастні кольори (жовтий або з сигнальними смугами під кутом 45°);
- перед увімкненням основних агрегатів подається звуковий сигнал через сигнальну сирену СС-143 (220 В, 50 Гц);
- електрообладнання обладнане температурним захистом типу УВТЗ-5.

Шафа управління виготовлена з пиловологозахищеного матеріалу, має захисне заземлення, замок на дверцятах, схему електроз'єднань і знак напруги згідно з ГОСТ 12.2.026-76.

Для запобігання забрудненню мастильних вузлів більшість підшипників закритого типу. У відкритих вузлах використовуються гумові ущільнення з фланцями.

Також у конструкції передбачено:

- запобіжну муфту, що розташована на валу приводу завантажувального модуля і спрацьовує при заклинюванні механізмів;
- важіль управління швидкістю руху, винесений у безпечну зону;
- противідкатні упори, що утримують машину у стаціонарному стані.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

Список використаної літератури

1. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г., Тенденції розвитку конструкції машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. – Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 33. Кіровоград: КДТУ, 2003 – с. 53-59.
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. Проспект фірми «Petkus». Машины предварительной и интенсивной очистки К-527, К-526, К-560.
4. <https://aeromecad.com.ua/ru/goods/separator-zernoochistitelny-sad-5-podgotovka-posevnogo-materiala-4556042/>
5. <https://bim-agritech.com/ru/ovs-25m-ochistitel-vorooha-samoperedvizhnoy-modernizirovannyu>
6. <https://ismgrain.com.ua/ru/goods/vozdushniy-separator-ism-40-4560761/>
7. 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.
8. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Леценко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.
9. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроения 1983.
10. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика / И.П. Гинзбург. – М.: Вища школа, 1966. – 406 с.
11. Гукасов Н.А. Механіка рідини і газу: Навчальний посібник для студентів. / Н.А. Гукасов. – М.: УМК ВО, 1992. – 378 с.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

12. 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.
13. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Кіровоград : Мачулін, 2016. - 204 с.
14. Фізика : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. - Харків : Вид-во «Ранок», 2017. - 272 с.
15. Кожуховский И.Е. Зерноочисні машини. М.: Машинобудування, 1965. 220 с.
16. Комаристов В.Ю. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
17. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / [уклад. : О. М. Васильковський, Д. І. Петренко, К. В. Васильковська, С. М. Лещенко, С. М. Мороз] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 38 с.
18. 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.
19. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
20. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.
21. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.
22. Єрмаков О.Ю., Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.

					УЗМ 00.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

