

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:**

**«Удосконалення сепаратора А1-БМС-6 з обґрунтуванням параметрів
повітряної частини»**

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

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Сулима Юрій Вікторович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 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: МАГІСТР

Галузь знань: G «ІНЖЕНЕРІЯ, ВИРОБНИЦТВО ТА БУДІВНИЦТВО»

Освітньо-наукова програма: G11 МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

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

Сулима Юрій Вікторович

1. Тема роботи: «Удосконалення сепаратора А1-БМС-6 з обґрунтуванням параметрів повітряної частини»
2. Керівник роботи: Нестеренко О.В., канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 26.05.2026 року
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: підвищення якості роботи пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6 шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів розподільчого живильника

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Олександр НЕСТЕРЕНКО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	08.05.2026	
2	Графічна частина	12.05.2026	
3	Перевірка роботи на доброчесність	16.05.2026	
4	Захист роботи	26.05.2026	

Дата видачі завдання

«16» лютого 2026 р.

Підпис керівника _____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

Завдання прийнято до виконання

«16» лютого 2026 р.

Підпис здобувача _____ Юрій СУЛИМА

АНОТАЦІЯ

Тема: «Удосконалення сепаратора А1-БМС-6 з обґрунтуванням параметрів повітряної частини»

Ключові слова: сепаратор; повітряний канал; розподільний живильник;

В випускній кваліфікаційній роботі проведено вдосконалення пневмосистеми сепаратора А1-БМС-6 шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів розподільчого живильника.

Виконаний огляд та аналіз пневмосепаруючих каналів сепараторів, визначено їх переваги та недоліки та обґрунтовано напрямки підвищення ефективності їх роботи.

Отримано статистичну математичну модель процесу сепарації в вертикальному каналі та визначені раціональні параметри розподільного живильника, які дозволяють отримати високу ефективність розділення домішок.

ABSTRAKT

Topic: « Improvement of the A1-BMS-6 separator with justification of the air part parameters »

Key words: separator; air duct; distribution feeder;

In the final qualification work, the pneumatic system of the A1-BMS-6 separator was improved by improving the design and substantiation of the parameters of the distribution feeder.

An overview and analysis of the pneumatic separation channels of the separators was performed, their advantages and disadvantages were determined, and the direction of increasing the efficiency of their work was substantiated.

A statistical mathematical model of the separation process in a vertical channel was obtained and rational parameters of the distribution feeder were determined, which allow obtaining high efficiency of impurity separation

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень.....	7
3. Наукова частина	20
4. Практична реалізація результатів досліджень	34
5. Охорона праці	42
6. Загальні висновки.....	44
Список використаної літератури	46
Додатки.....	48

1. ВСТУП

Сучасний розвиток зернопереробної галузі та агропромислового комплексу України характеризується постійним підвищенням вимог до якості підготовки зернової продукції та ефективності технологічних процесів її обробки. Важливим етапом післязбиральної обробки зерна є очищення від сторонніх домішок, яке забезпечує отримання високоякісного продовольчого, посівного та фуражного матеріалу [1]. Якість очищення зерна безпосередньо впливає на технологічні характеристики продукції, тривалість її зберігання, схожість насіннєвого матеріалу та економічні показники виробництва загалом.

Одним із найбільш поширених способів очищення зернових сумішей є пневмосепарація, що ґрунтується на використанні відмінностей аеродинамічних властивостей компонентів зернового матеріалу. Ефективність такого процесу визначається стабільністю повітряного потоку, рівномірністю подачі матеріалу в робочу зону та характером взаємодії зернової маси з повітряним середовищем [2, 3]. Водночас під час роботи існуючих пневмосепараційних систем спостерігається недоліки, пов'язані із нерівномірним розподілом зернового потоку по ширині каналу, локальним збільшенням концентрації матеріалу, що призводить до погіршення умов виділення легких домішок, зменшення ефекту очищення та зниження загальної ефективності процесу сепарації [1-3].

У зв'язку з цим важливим науково-технічним завданням є підвищення ефективності роботи пневмосепараційних систем шляхом удосконалення конструктивних елементів, що забезпечують формування та розподіл потоку зернового матеріалу.

Метою магістерської роботи є підвищення якості роботи пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6 шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів розподільчого живильника, що забезпечує більш рівномірне введення зернового матеріалу в робочу зону, покращення умов аеродинамічної взаємодії частинок із повітряним потоком та підвищення ефективності процесу очищення.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Аналіз конструкцій пневмосистем сепараторів

У сучасних конструкціях зерноочисних машин для реалізації процесу очищення зернового матеріалу найбільш поширеним є комбіноване використання механічного та аеродинамічного способів розділення компонентів суміші [1, 4].

Типовим для більшості зерноочисних машин є використання одного або двох пневмосепараційних каналів. У конструкціях з подвійною аспірацією перший повітряний канал розташовується перед решітним блоком і використовується для попереднього видалення легких домішок, а другий - після решітного очищення для остаточного доочищення зернового матеріалу. Таке конструктивне рішення дозволяє знизити навантаження на решітну систему та підвищити якість сепарації.

Серед сучасних зерноочисних агрегатів найбільш поширеними є машини, в яких пневмосепарація виконується перед решітною обробкою матеріалу. Однак існують конструкції, де повітряні канали розміщуються після проходження зернової суміші через решітний стан. Окрему групу становлять машини, у яких реалізовано принцип подвійної пневмосепарації - до і після решітного блока. Таке рішення використовується в конструкціях типу «Petkus» », що дозволяє підвищити ефективність видалення легких домішок і покращити якість очищення зернового матеріалу [5].

Зерноочисний сепаратор «Petkus» K560 (рис. 2.1) належить до високопродуктивних машин, які призначені для попереднього, первинного та вторинного очищення зернових, технічних та насінневих культур [5].

Особливістю машини є використання багатоступеневої системи очищення, що забезпечує більш повне видалення домішок різного типу.

До переваг сепаратора «Petkus» 560 належать висока продуктивність, можливість роботи з широким спектром культур, достатньо висока ефективність очищення та надійність конструкції. Багатоступенева система

сепарації забезпечує отримання зерна з високими якісними показниками та знижує втрати основної культури.

Недоліками машини є значна складність конструкції, підвищена металоємність та високі енергетичні витрати.

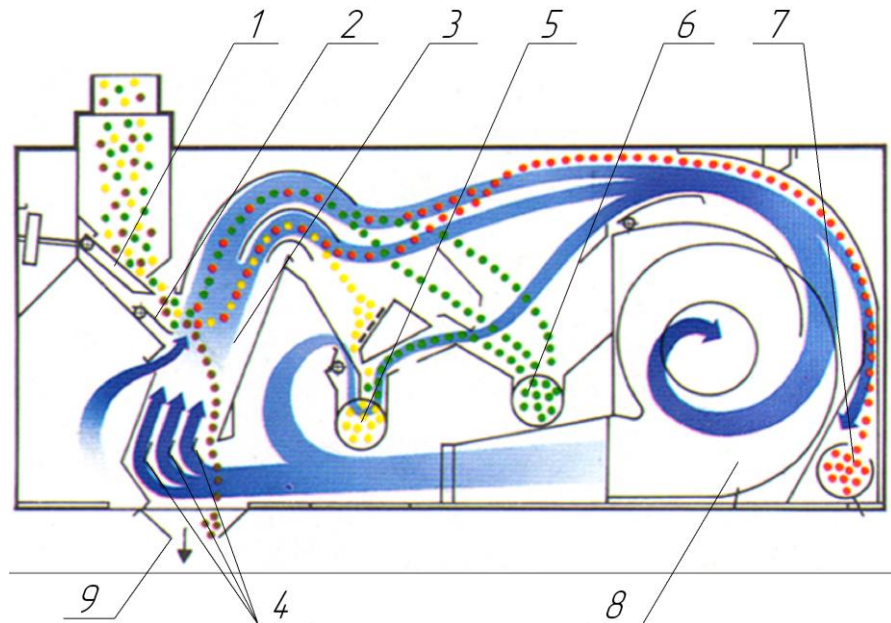


Рис. 2.1. Схема пневмосепарації Petkus» К 560 [5]

1 – важіль подачі зерна; 2 – клапан відбивний ; 3 – пневмокамера;
4 –напрямні пластини повітряного потоку; 5 – приймач неповноцінних зерен;
6 – відділи фуражної фракції; 7 – приймач дрібноого зерна;
8 – джерело повітряного потоку; 9 – приймач очищеного матеріалу.

Крім того, при збільшенні подачі зернового матеріалу виникає нерівномірність його розподілу в зоні пневмосепарації, що призводить до локального перевантаження окремих ділянок повітряного каналу та погіршення умов розділення.

Сепаратор СПО-80 (рис. 2.2) належить до високопродуктивних зерноочисних машин універсального призначення та використовується для попереднього, первинного і товарного очищення зернових, зернобобових, технічних та олійних культур [6]. Конструкція машини включає завантажувальний пристрій, аспіраційну систему, пневмосепараційний канал, решітний блок, вентилятор, систему очищення решіт та механізми транспортування і вивантаження матеріалу.

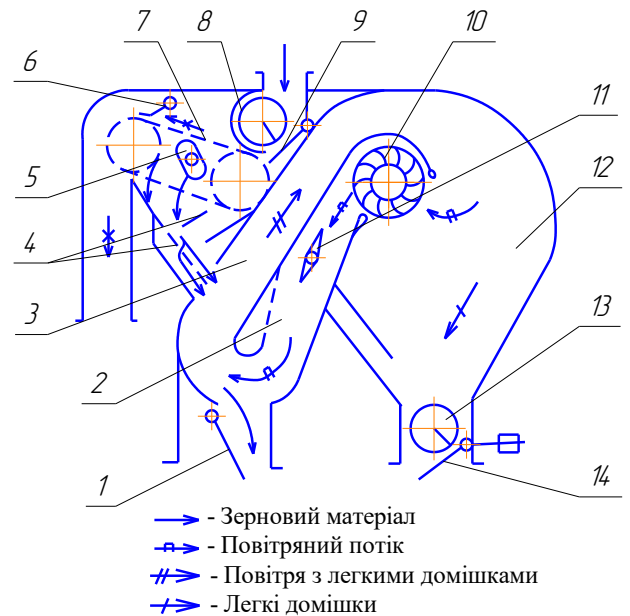


Рис. 2.2. Загальний вигляд (а) та схема сепаратора СПО-80 ХМЗ [6]

1, 14 – підпружинені клапанні пристрої; 2 – нагнітальний повітряний канал; 3 – пневмосепараційний канал; 4 – похилі напрямні площини; 5 – підбивач зернової маси; 6 – притискні елементи для соломистих домішок; 7 – сітчастий транспортер; 8 – шнековий завантажувач; 9 – клапан регулювання; 10 – діаметральний вентилятор; 11 – дросельна заслінка; 12 – осаджувальна камера; 13 – шнек легких часток.

До основних переваг сепаратора СПО-80 належать висока продуктивність, універсальність застосування та достатньо ефективно очищення зернового матеріалу. Крім того, машина характеризується надійністю роботи та зручністю технічного обслуговування.

Недоліками конструкції є погіршення рівномірності розподілу повітряного потоку при підвищенні подачі зернового матеріалу, що призводить до збільшення концентрації зернової маси у робочій зоні та зниження ефективності видалення легких домішок. Також якість очищення суттєво залежить від правильного налаштування режимів роботи аспіраційної системи та решітного блока.

Пневмосепаратор МЗП-10 (рис. 2.3) розроблений на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ являє собою комбінований повітряно-решітний агрегат, призначений для очищення зернового матеріалу шляхом поєднання механічного та аеродинамічного способів сепарації [15].

У процесі роботи вихідний матеріал проходить через систему решіт, де здійснюється відокремлення дрібних і крупних домішок за їх геометричними параметрами. Одночасно в повітряному потоці відбувається видалення легких домішок та інших включень, які відрізняються від основної культури аеродинамічними характеристиками.

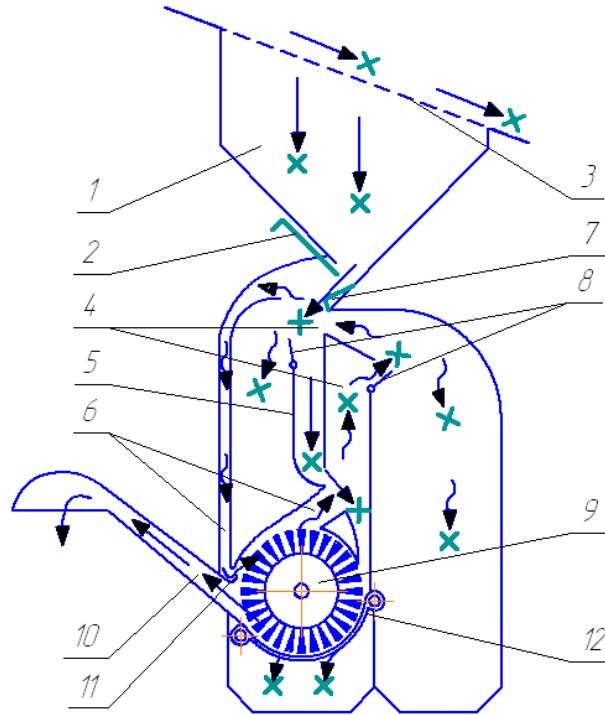


Рис. 2.3. Технологічна схема інерційного сепаратора ЦНТУ [15]

1 – приймальний бункер для завантаження зернової суміші; 2 – заслінка регулювання подачі матеріалу; 3 – колосове решето; 4 – похилий та вертикальний пневмосепараційні канали; 5 – напрямний елемент зернового потоку; 6 – повітропровід; 7 – багатоструменевий розподільник; 8 – регулювальні заслінки; 9 – джерело повітря; 10 – механізм вивантаження очищеного матеріалу; 11 – ежекційний отвір; 12 – решітна поверхня.

Формування повітряного потоку в конструкції машини забезпечується щітковим лопатевим ротором. Крім створення циркуляції повітряного середовища в пневмосистемі, цей елемент виконує також додаткові функції, пов'язані з розподілом зернової маси, її переміщенням та вивантаженням очищеного продукту.

Для забезпечення більш рівномірного введення зернової суміші в робочу зону пневмосепарації конструкцією передбачено живильний лоток, який здійснює горизонтальну подачу матеріалу. Використання такого конструктивного рішення сприяє збільшенню ширини потоку зернового матеріалу та покращує умови його взаємодії з повітряним середовищем.

Сепаратор прямооточного інерційного типу ППС використовується під час виконання операцій попереднього та первинного очищення зернових, круп'яних і технічних культур у виробничих умовах.

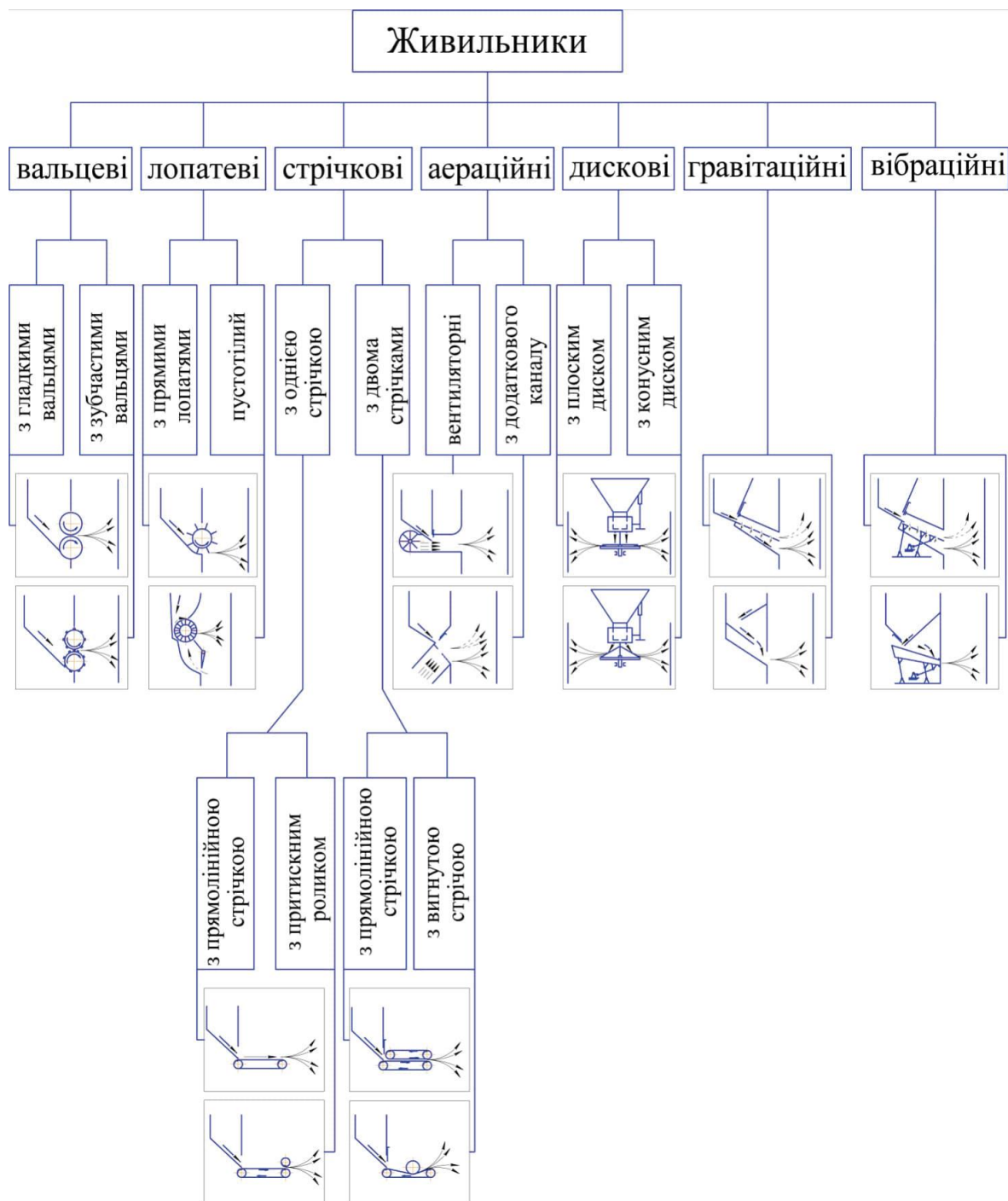
Незважаючи на раціональну послідовність технологічних операцій та використання двоступеневої схеми очищення матеріалу із застосуванням замкнутого повітряного контуру у вертикальному та похилому пневматичних каналах, конструкція має певні недоліки.

Одним із недоліків одним з недоліків цього сепаратора є незначна висота вертикального пневмосепараційного каналу, що зменшує час на сепарацію та збільшує концентрацію зернової суміші. У результаті погіршуються умови аеродинамічного розділення компонентів зернової суміші та знижується загальна ефективність процесу очищення.

Проведений аналіз конструкцій сучасних зерноочисних сепараторів показав, що більшість машин реалізують комбінований принцип очищення зернового матеріалу, який поєднує пневматичне та решітне розділення. Незважаючи на конструктивні відмінності, досліджені машини мають спільний недолік, пов'язаний зі зниженням ефективності аеродинамічного розділення при підвищенні продуктивності. Це обумовлено нерівномірністю розподілу зернового потоку, збільшенням концентрації матеріалу в робочій зоні та погіршенням структури повітряного потоку в пневмосепараційних каналах. Встановлено, що одним із перспективних шляхів підвищення ефективності роботи пневмосепараційних систем є вдосконалення конструкції пристроїв введення і розподілу зернового матеріалу, які забезпечують рівномірне формування потоку та покращують умови взаємодії зернових частинок із повітряним середовищем.

2.2 Живильні пристрої в пневмосепараційних системах

Ефективність функціонування пневмосепараційних систем значною мірою визначається не лише конструктивними параметрами повітряного каналу та режимами руху повітряного потоку, але й умовами введення зернового матеріалу в робочу зону сепарації. Одним із ключових елементів, що забезпечують стабільність процесу аеродинамічного розділення, є застосування живильників, класифікація яких приведена на рис. 2.4. [3]



2.4. Класифікація живильників пневмосепараторів [3]

Його конструкція безпосередньо впливає на характер розподілу зернового потоку, концентрацію частинок у робочій зоні та інтенсивність взаємодії зернової маси з повітряним середовищем.

У процесі пневмосепарації якість очищення значною мірою залежить від рівномірності розподілу матеріалу по ширині та глибині пневмосепараційного каналу. Нерівномірна подача зернової маси призводить до утворення зон локального ущільнення потоку, що супроводжується зміною структури повітряного середовища та погіршенням умов аеродинамічної взаємодії частинок.

За таких умов зростає ймовірність взаємного контакту між зернами, збільшується опір проходженню повітряного потоку, а також виникають додаткові турбулентні збурення, які негативно впливають на ефективність виділення домішок.

Використання живильних пристроїв у конструкціях пневмосепараційних систем дозволяє створити більш сприятливі умови для введення матеріалу в робочу зону [2, 3]. Основною функцією таких пристроїв є формування тонкошарового та рівномірного потоку зернової суміші, що забезпечує покращення умов контакту окремих частинок із повітряним середовищем. При цьому створюються передумови для підвищення чіткості розділення компонентів суміші за аеродинамічними властивостями, а також зменшується вплив взаємного зіткнення частинок на процес сепарації.

До живильних пристроїв пневмосепараційних каналів висувається ряд конструктивних і технологічних вимог. Передусім їх конструкція повинна забезпечувати рівномірний розподіл зернового матеріалу в межах усього робочого перерізу пневмосепараційного каналу. Важливим фактором є також вибір швидкісного режиму роботи живильника, оскільки швидкість переміщення матеріалу безпосередньо впливає на характер руху зернових частинок і траєкторію їх входження в повітряний потік.

Крім цього, конструкція живильного пристрою повинна забезпечувати мінімальний рівень механічного впливу на зерновий матеріал. Надмірна

інтенсивність контакту між зерном та робочими елементами може спричиняти травмування зернин, що є особливо небажаним під час очищення насіннєвого матеріалу. Також важливими вимогами є забезпечення стабільності технологічного процесу та мінімізація енергетичних витрат на привід допоміжних механізмів.

У сучасних зерноочисних машинах використовуються різні конструктивні схеми живильних пристроїв. Найбільш поширеними є гравітаційні живильники, які отримали широке застосування завдяки простоті конструкції, високій надійності та невеликим експлуатаційним витратам [3].

Принцип їх роботи полягає у використанні сили тяжіння для подачі зернового матеріалу в робочу зону пневмосепаратора. До таких пристроїв належать похилі лотки, регульовані клапанні системи та решітні живильники.

У зерноочисній машині «Petkus» К-560 для введення матеріалу в пневмосепараційний канал використовується живильний пристрій клапанного типу (рис. 2.5) [5].

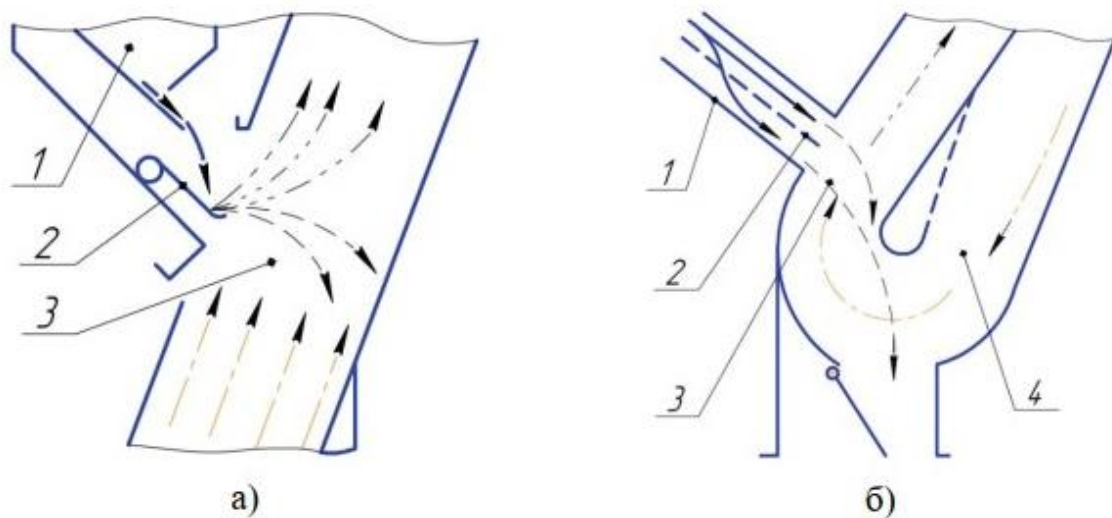


Рис. 2.5. Гравітаційні живильні пристрої: а – Petkus К-560; б – СПО-50 [5].

1 – бункер сепаратора; 2 – живильник; 3 – пневмосепаруючий канал;

4 – повітряний канал

Під час роботи зернова суміш переміщується під дією власної ваги та взаємодіє з регульованою поверхнею клапана. Внаслідок відбиття частинок від його поверхні створюються різні швидкості та траєкторії руху зерна, що

сприяє частковому розрихленню потоку та зменшенню його щільності перед входом у повітряний канал. Це забезпечує більш інтенсивну взаємодію частинок із повітряним потоком.

Іншим прикладом є застосування решітних живильних систем, що використовуються в окремих конструкціях зерноочисних машин. Такі пристрої дозволяють частково попередньо розподілити зернову суміш ще до введення її в пневмосепараційний канал, що сприяє зменшенню концентрації матеріалу в робочій зоні.

Проведений аналіз конструктивних рішень показує, що ефективність роботи пневмосепараційних систем значною мірою залежить від способу введення зернового матеріалу та умов його розподілу у робочій зоні. Формування рівномірного потоку матеріалу дозволяє зменшити ймовірність зіткнення зернових частинок між собою, знизити аеродинамічний опір шару та покращити структуру поля швидкостей повітряного потоку.

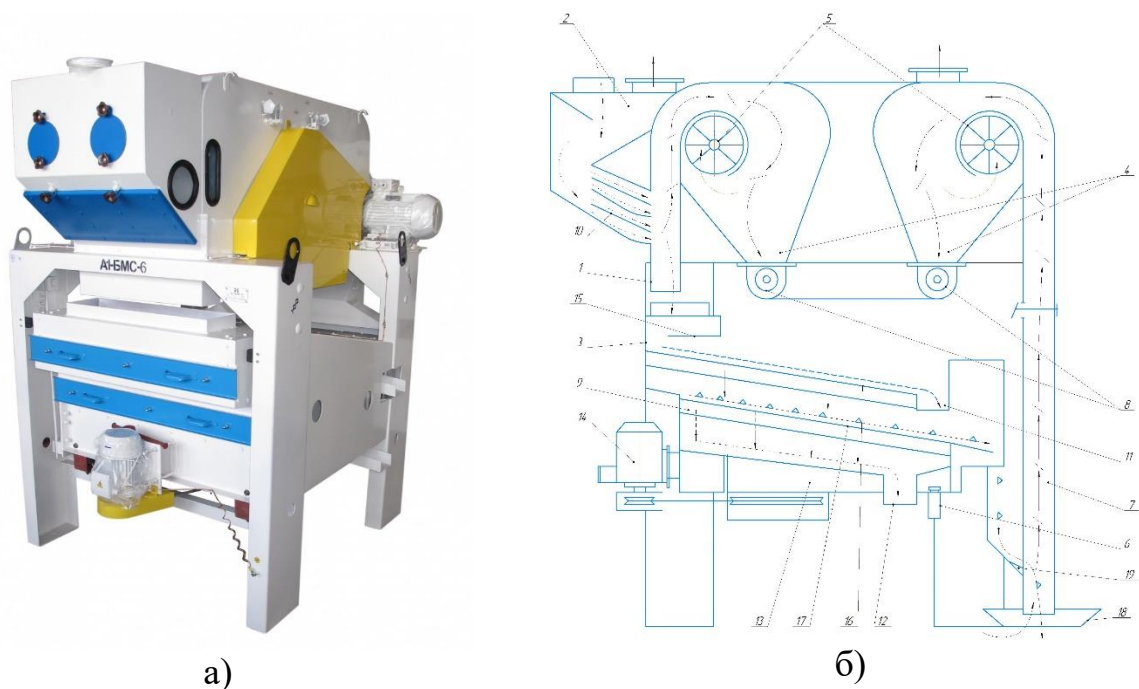
Враховуючи результати проведеного аналізу та поставлену мету дослідження, перспективним напрямом удосконалення сепаратора А1-БМС-6 є розробка та обґрунтування параметрів розподільчого живильника, який забезпечить більш рівномірне введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал. Реалізація такого технічного рішення дозволить знизити концентрацію матеріалу в зоні сепарації, покращити умови взаємодії зернових частинок з повітряним потоком та підвищити ефективність процесу очищення в цілому.

2.2.1. Опис об'єкту вдосконалення та обґрунтування напрямку досліджень.

Зерноочисний сепаратор А1-БМС-6 (рис. 2.6) [8] призначений для очищення та сортування зернових, зернобобових, технічних і олійних культур так і для продовольчого призначення.

Машина забезпечує очищення зернового матеріалу після збирання врожаю або після попередньої обробки при рівні засміченості до 15 % та вологості зерна до 20 %. Завдяки універсальності конструкції сепаратор широко

використовується в технологічних лініях зерноочисних комплексів та підприємств агропромислового виробництва.



2.6. Загальний вигляд (а) та запропонована схема (б) сепаратора А1-БМС-6 [8]

Решітний стан машини встановлюється на рамі, яка за допомогою чотирьох тросових підвісок кріпиться до станини. На верхній частині рами розташована решітна система, яка складається з трьох послідовно встановлених рядів решіт: приймального, сортувального та підсівного. Конструкція передбачає можливість демонтажу решітних рам через передню частину машини, що значно спрощує виконання технічного обслуговування та заміну робочих елементів.

Решітні поверхні є змінними та підбираються залежно від фізико-механічних властивостей зернового матеріалу, що підлягає очищенню. Вони встановлюються з нахилом близько 3° відносно горизонтальної площини. Для запобігання забиванню отворів і підтримання стабільної ефективності очищення використовується система самоочищення із гумовими кульками.

Під час роботи решітний стан виконує одночасно коливальні та поступальні рухи в горизонтальній площині.

Параметри руху регулюються шляхом зміни маси змінних вантажів та налаштування частоти обертання приводу за допомогою шківів електродвигуна.

На рамі машини також змонтовані осаджувальні камери разом із живильними пристроями та вентиляторами. Пневмосепараційний канал конструктивно з'єднується з рамою і камерою повторного очищення. Для підвищення якості очищення та забезпечення захисту технологічного обладнання в нижній частині каналу повторної пневмосепарації встановлено магнітний пристрій, призначений для вилучення металоманітних включень із зернового потоку.

Приймальна камера оснащена автоматичною системою підтримання стабільного рівня зернового матеріалу незалежно від зміни його подачі до машини. До складу цього механізму входять верхній і нижній клапани, які взаємозв'язані між собою тяговим елементом. При накопиченні зерна в приймальній камері створюється тиск на верхній клапан, унаслідок чого він змінює своє положення. Одночасно відкривається нижній клапан, через який зерновий матеріал рівномірним потоком подається по всій ширині першого пневмосепараційного каналу.

Підтримання постійного рівня зерна в приймальній камері сприяє створенню стабільних умов роботи повітряної системи та запобігає проходженню повітряних потоків в обхід робочої зони сепарації. Це дозволяє підвищити ефективність взаємодії зернового матеріалу з повітряним потоком і покращити якість видалення легких домішок.

Після проходження першого етапу пневматичного очищення зерновий матеріал надходить на приймальне решето, де відбувається відокремлення крупних домішок, які переміщуються сходом та видаляються з машини через спеціальний вивантажувальний лоток. Далі зернова маса переміщується до сортувального решета, де здійснюється виділення частинок, розміри яких перевищують параметри основного зерна.

Після цього матеріал надходить на підсівне решето, призначене для відокремлення дрібних домішок, пошкодженого та битого зерна, насіння бур'янів і мінеральних включень.

Виділені домішки накопичуються на піддоні решітного стану та через систему вивантаження транспортуються за межі машини. Очищений зерновий матеріал після проходження решітної системи надходить до каналу повторного очищення. Під впливом повітря відбувається остаточне виділення легких домішок, які осідають у в осаджувальній камері. Надалі вони видаляються шнековим транспортером і через систему лотків об'єднуються з домішками, отриманими після першого ступеня очищення, після чого виводяться із сепаратора.

Конструкція машини передбачає використання двоступеневої системи пневматичного очищення у поєднанні з решітною сепарацією. Залежно від технологічного призначення машина може функціонувати у двох режимах: режимі попереднього очищення або режимі первинної очистки зернового матеріалу.

Аналіз конструктивних особливостей сепаратора А1-БМС-6 та результатів його експлуатаційних випробувань свідчить про наявність певних технологічних недоліків, що обмежують ефективність роботи машини. Однією з основних проблем є недостатньо висока ефективність аеродинамічного розділення компонентів зернової суміші, що пов'язано з нерівномірним розподілом матеріалу в зоні пневмосепарації. При підвищенні продуктивності спостерігається збільшення концентрації зернового потоку в окремих ділянках каналу, що спричиняє зміну структури повітряного потоку та погіршує умови виділення легких домішок.

Враховуючи виявлені недоліки та аналіз результатів досліджень пневмосепарації нами запропоновано удосконалення сепаратора А1-БМС-6 є модернізація системи введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал шляхом удосконалення конструкції розподільчого живильника (рис. 2.7).

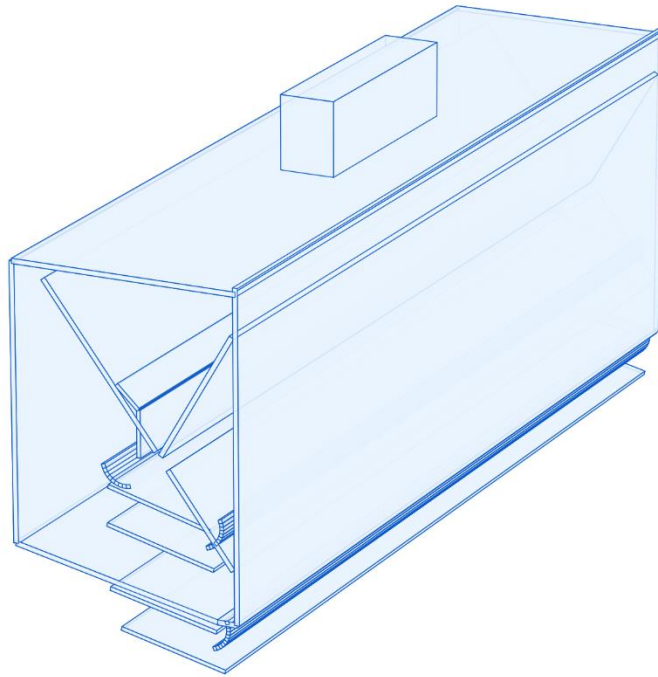


Рис. 2.7. 3-D модель приймального бункера сепаратора А1-БМС-6 з запропонованим розподільним живильником.

Реалізація такого технічного рішення дозволить забезпечити більш рівномірний розподіл зернового потоку по ширині робочої зони, зменшити перевантаження окремих ділянок каналу та покращити умови взаємодії частинок із повітряним потоком. Це створить передумови для підвищення якості очищення зерна та збільшення ефективності роботи пневмосепарації.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Загальна характеристика наукової частини роботи

Мета роботи: підвищення якості роботи пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6 шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів розподільчого живильника для інтенсифікації процесу розділення зернового матеріалу.

Задачі досліджень:

- обґрунтувати принципову схему пневмосепаруючого каналу з розподільчим живильником, яка забезпечить рівномірне заповнення робочої зони зерновим матеріалом;
- визначити раціональні параметри розподільчого живильника та дослідити їх вплив на якісні показники сепарації.

Предмет досліджень – параметри розподільчого живильника пневмосепаруючого каналу сепаратора А1-БМС-6.

Об'єкт дослідження - процес розділення зернового матеріалу в пневмосепаруючому каналі з розподільчим живильником.

Наукова новизна:

- Експериментальним шляхом отримано статистичну математичну модель процесу розділення зерна в пневмо сепаруючому каналі з розподільчим живильником;
- вперше обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри розподільного живильника пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6, який забезпечує введення зернового матеріалу по висоті та покращує умови його взаємодії з повітряним потоком;
- одержали подальшого розвитку теоретичні положення щодо формування рівномірного розподілу зернового матеріалу у пневмосепараційних системах шляхом застосування розподільного живильника, що забезпечує зменшення локального навантаження в зоні сепарації та покращення структури поля швидкостей повітряного потоку;

3.2. Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів напрямних лотків розподільчого живильника.

Для забезпечення стабільного введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал необхідно обґрунтувати геометричні параметри напрямних елементів розподільчого живильника. Основними параметрами прямолінійної ділянки лотка є кут нахилу до горизонту β та довжина напрямної поверхні S_l (рис. 3.1). Саме ці величини визначають швидкість переміщення зернової частки перед її входженням у робочу зону пневмоканалу [14].

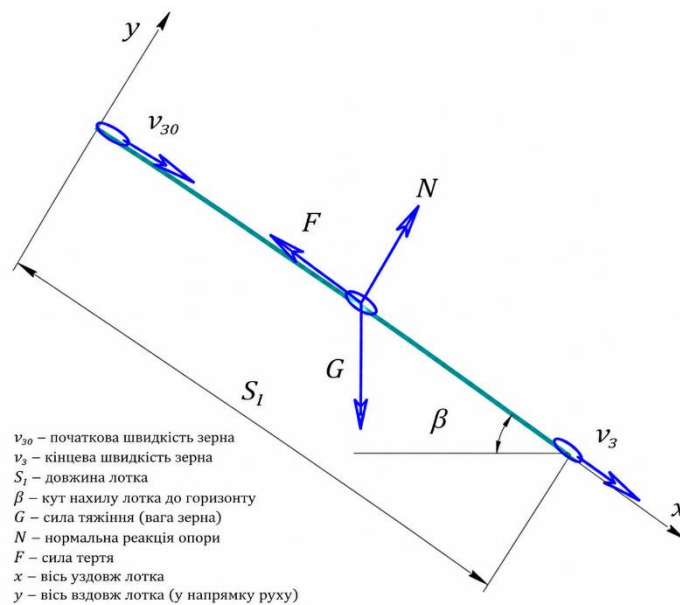


Рис. 3.1. Теоретичний аналіз руху зернової частки по похилій поверхні лотка

Умовою самостійного переміщення зерна по похилій поверхні є перевищення кута нахилу лотка над кутом тертя зернового матеріалу по поверхні живильника [14]:

$$\beta \geq \varphi_{\text{тер}}$$

$$m_z \cdot dv_z/dt = m_z g \cdot \sin \beta - f_z m_z g \cdot \cos \beta \quad (3.1)$$

$$S_l = (v_z^2 - v_{\pi}^2) / (2g(\sin \beta - f_z \cos \beta)) \quad (3.2)$$

$$V_z = \sqrt{(2g S_l (\sin \beta - f_z \cos \beta) + v_{\pi}^2)} \quad (3.3)$$

де v_z - швидкість руху зернової частки на прямолінійній ділянці лотка, м/с;

f_z - коефіцієнт тертя зерна по поверхні лотка;

m_z - маса зернової частки.

За результатами теоретичного аналізу отримано залежності руху зернової частки по напрямній поверхні лотка (рис. 3.2).

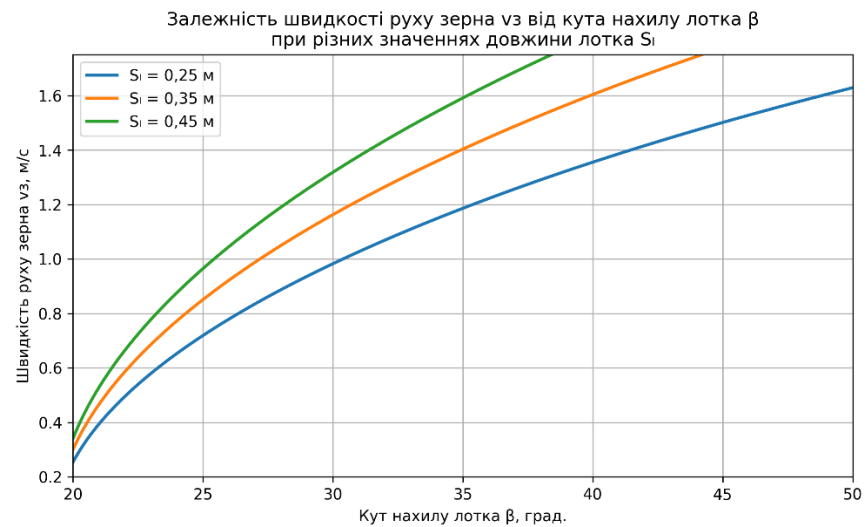


Рис. 3.2. Теоретична залежність швидкості введення зерна від його геометричних параметрів, довжини лотка S_l та кута його нахилу β .

Отримана залежність показує, що збільшення кута нахилу β та довжини лотка S_l сприяє підвищенню швидкості введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал.

3.3. Програма та методика досліджень

Для обґрунтування конструктивних та режимних параметрів удосконаленої повітряної частини сепаратора А1-БМС-6 була сформована програма експериментальних досліджень, спрямована на встановлення закономірностей впливу параметрів розподільчого живильника на якісні показники процесу пневмосепарації.

Основною метою проведення експериментів було визначення умов, за яких забезпечується найбільш рівномірне заповнення робочої зони пневмосепараційного каналу зерновим матеріалом та підвищується ефективність аеродинамічного розділення компонентів суміші.

Програма досліджень передбачала виконання таких етапів:

- визначення параметрів зернового потоку на вході в пневмосепараційний канал;

- дослідження впливу конструктивних параметрів розподільчого живильника на характер введення зернового матеріалу;
- встановлення залежності питомого навантаження від конструктивних параметрів системи подачі зерна;
- дослідження впливу основних режимів роботи вдосконаленої пневмосистеми на якісні показники очищення.

3.3. Визначення параметрів введення зернового матеріалу

Відомо, що ефективність процесу аеродинамічного розділення значною мірою залежить від способу подачі зернового матеріалу до робочої зони пневмосепараційного каналу. Дослідження показують, що одним із найбільш ефективних способів введення є горизонтально орієнтований рух зернового потоку, який створює сприятливі умови для взаємодії частинок з повітряним потоком [2, 3].

У зв'язку з цим конструкцією удосконаленого розподільчого живильника передбачалось формування спрямованого зернового потоку шляхом використання системи напрямних лотків, що забезпечують рівномірний розподіл матеріалу по висоті пневмосепараційного каналу [14].

Визначення швидкості введення зернового матеріалу здійснювали шляхом реєстрації координат переміщення зернових частинок у робочій зоні каналу (рис. 3.3.) [16]. Під час проведення дослідів вплив опору повітряного середовища не враховувався, оскільки при невеликих швидкостях руху його дія є незначною.

Експериментальні дослідження проводили за таких умов:

- рух повітряного потоку в пневмосепараційному каналі був відсутній;
- у зоні спостереження встановлювалася координатна сітка;
- кожен дослід виконувався у п'ятикратній повторності.

Оскільки при переміщенні зернової маси траєкторії окремих частинок можуть відрізнятися, швидкість введення визначали як середнє значення для групи зернових частинок.

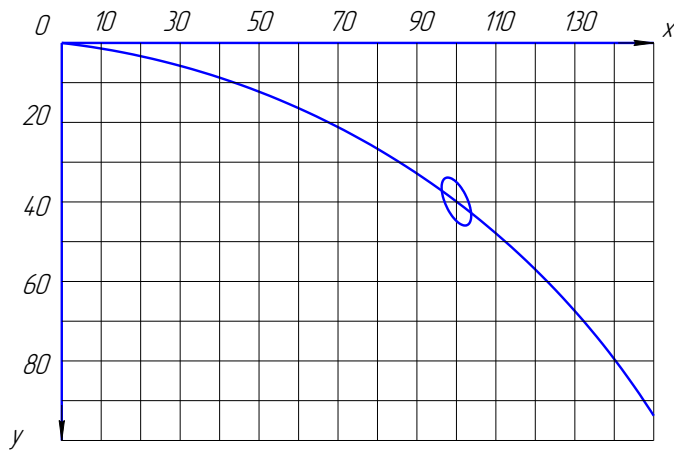


Рис. 3.3. Координатна сітка для дослідження швидкості вводу зерна.

Для цього визначали координати верхньої та нижньої меж потоку з подальшим розрахунком їх середнього значення [16].

Регулювання початкової швидкості введення зернового матеріалу здійснювалося зміною положення дозувальної заслінки відносно напрямних поверхонь живильника. Зміна висоти розташування завантажувального бункера дозволяла змінювати параметри руху зернового потоку та отримувати необхідні значення швидкості введення.

3.4. Дослідження питомого навантаження розподільчого живильника

Одним із важливих параметрів, що впливає на процес пневмосепарації, є величина питомого навантаження зернового потоку. Метою даного етапу досліджень було встановлення конструктивних параметрів розподільчого живильника, які забезпечують раціональний розподіл матеріалу по ширині та висоті пневмосепараційного каналу.

Під час експерименту змінювали геометричні характеристики напрямних елементів живильника, зокрема:

- кут нахилу напрямних поверхонь;
- довжину напрямного лотка;
- кількість парних напрямних елементів.

Питоме навантаження визначали шляхом вимірювання маси зернового матеріалу, що проходила через одиницю ширини каналу за певний інтервал часу.

Для визначення загального питомого навантаження використовували залежність:

$$q_p = \frac{\kappa \cdot M_z}{B_k \cdot t},$$

де κ – кількість напрямних лотків.

M_z – маса зернового матеріалу, кг;

B_k – ширина пневмосепараційного каналу, м;

t – час проходження матеріалу, с;

k – кількість напрямних елементів живильника.

Під час дослідів завантаження бункера здійснювали зерновим матеріалом масою 10 кг із подальшим вимірюванням часу його проходження через систему подачі.

3.5. Дослідження режимів роботи удосконаленої пневмосистеми

Для оцінювання ефективності запропонованого конструктивного рішення була розроблена експериментальна установка, що забезпечувала можливість змінювати конструктивні параметри розподільчого живильника та режими роботи пневмосистеми в широкому діапазоні (рис. 3.4).



Рис. 3.4 Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження пневмоканалу з розподільчим пристроєм.

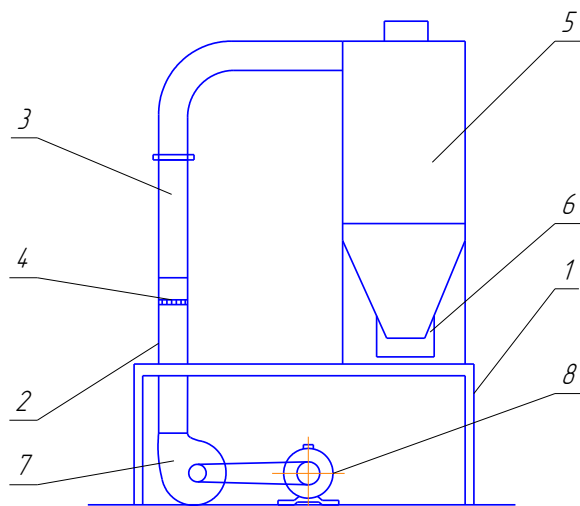
До складу експериментальної установки входили:

- завантажувальний бункер;
- розподільчий живильник;
- пневмосепараційний канал;
- вентилятор;
- осадова камера;
- система регулювання режимів роботи.

Принцип роботи установки полягав у тому, що зерновий матеріал через систему дозування надходив до розподільчого живильника, який формував рівномірний потік та направляв його в робочу зону пневмосепараційного каналу. Під впливом повітряного потоку здійснювався процес розділення зернової суміші на очищене зерно та легкі домішки.

Як об'єкт дослідження використовували зерно пшениці сорту «Подільська» з вологістю 15 % та рівнем засміченості 13 %.

Оцінювання ефективності процесу очищення проводили за показниками повноти розділення та вмісту повноцінного зерна у виділеній фракції відходів за допомогою парусного класифікатора (рис. 3.5).



а)



б)

Рис. 3.5. Функціональна схема та загальний вигляд експериментального парусного класифікатора

1 – стіл; 2 – аеродинамічна труба; 3 – пневмоканал; 4 – навіска зерна; 5 – осаджувальний пристрій; 6 – приймальник легкої фракції; 7 – джерело повітряного потоку.

Якість розділення зернового матеріалу оцінювали повнотою розділення E

$$E = (M_{\text{вид}} - M_{\text{заг}} / M_{\text{заг}}) 100\%$$

та кількістю повноцінного зерна у відходах:

$$J = (M_{\text{зер}} / M_{\text{вид}}) 100\%$$

де $M_{\text{вид}}$ – маса виділених повітряним потоком легких домішок, кг;

$M_{\text{заг}}$ – маса легкого компоненту в вихідному зерновому матеріалі, кг;

$M_{\text{зер}}$ – кількість повноцінного зерна в виділеній повітряним потоком легкій фракції, кг;

Результати експериментальних досліджень дозволять встановити раціональні конструктивні параметри розподільчого живильника та режими роботи вдосконаленого пневмосепараційного каналу, що забезпечують підвищення якості очищення зернового матеріалу та покращення технологічних показників роботи сепаратора А1-БМС-6.

3.4. Результати експериментального дослідження при обґрунтуванні параметрів пневмосепаруючого каналу з розподільним живильником

Для визначення раціональних параметрів удосконаленого пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6 проведено серію багатofакторних експериментальних досліджень.

Метою досліджень було встановлення характеру впливу конструктивних і режимних параметрів розподільного живильника на якісні показники процесу очищення зернового матеріалу.

Під час планування експериментів були вибрані фактори, які найбільшою мірою визначають ефективність процесу аеродинамічного розділення матеріалу. До них віднесено: питома навантаження на один напрямний лоток q_p , кг/дм год, кількість лотків розподільного живильника k , а також кут нахилу лотка β .

Діапазони зміни параметрів були встановлені з урахуванням конструктивних особливостей розробленої системи введення матеріалу та результатів попередніх теоретичних досліджень.

Таблиця 3.1

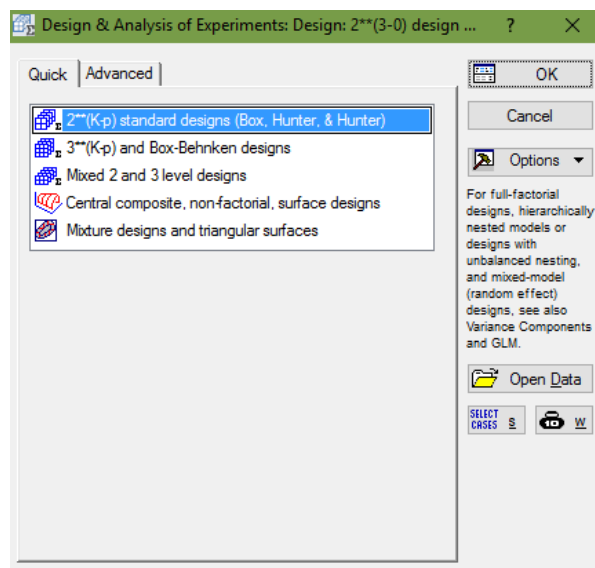
Рівні варіювань факторів при планування серії дослідів для визначення ефективності роботи пневмо сепаруючого каналу з розподільним живильником

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Назва	Позначення	Нижній (-)	Верхній (+)	
1	Питоме навантаження на лоток, q_p , кг/дм год	x_1	350	450	50
2	Кількість лотків, k , м	x_2	2	4	1
3	Кут нахилу лотка, β°	x_3	35	45	5

Планування експерименту та статистична обробка результатів виконувались із застосуванням програмного середовища STATISTICA [18].

Використання програмного комплексу дозволило автоматизувати процедуру побудови матриці експерименту, сформувані послідовність проведення дослідів та визначити статистично значущі коефіцієнти математичної моделі.

Для підвищення достовірності результатів кожен дослід проводився з триразовим повторенням, а подальший аналіз здійснювався за середніми значеннями отриманих показників.



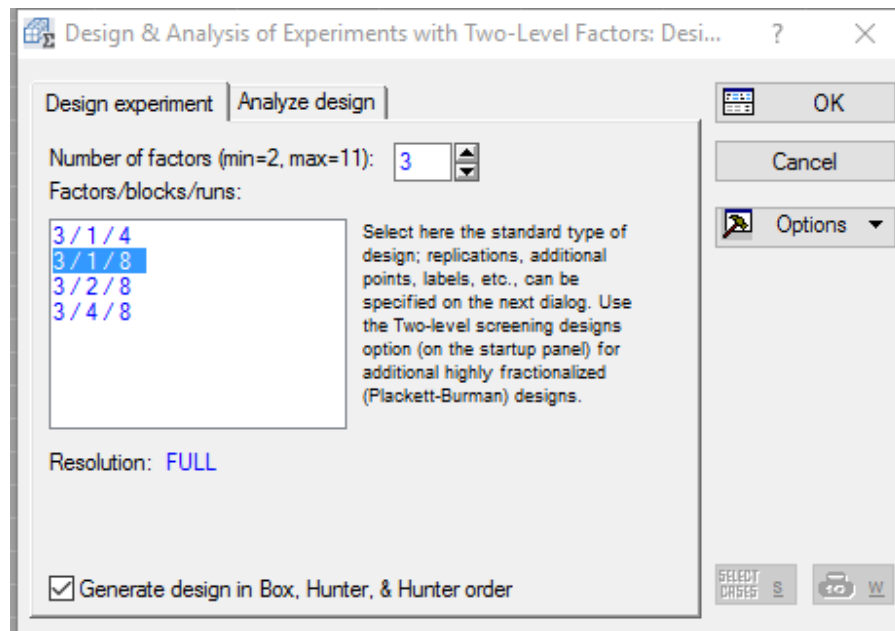


Рис. 3.6. Покрокові скріншоти з програми STATISTICA при дослідженні процесу сепарації

Результати проведених досліджень показали, що ефективність очищення зернового матеріалу змінювалася в межах від 74 до 86 %. Найменші значення були отримані при мінімальній кількості напрямних лотків та підвищеному питомому навантаженні.

За таких умов спостерігалось збільшення концентрації матеріалу в зоні введення, що супроводжувалося локальним ущільненням зернового потоку та погіршенням умов його взаємодії з повітряним середовищем. Унаслідок цього знижувалась імовірність виділення легких домішок.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано математичну модель процесу:

$$Y = 80,12 - 1,37x_1 + 3,62x_2 + 1,12x_3 + 0,125x_1x_2 - 0,375x_1x_3 - 0,375x_2x_3$$

де:

x_1 - питоме навантаження на лоток;

x_2 - кількість лотків;

x_3 - кут нахилу лотка.

Табл. 3.2.

Результати експериментальних досліджень по визначенню впливу основних параметрів розподільного живильника на якісні показники процесу сепарації.

	1- q_p ,	2- k , м	β°	E , %
1	350	2	35	76
2	450	2	35	74
3	350	4	35	84
4	450	4	35	82
5	350	2	45	80
6	450	2	45	76
7	350	4	45	86
8	450	4	45	83

Отримане рівняння описує взаємозв'язок між основними параметрами системи введення зерна та показниками ефективності сепарації. Аналіз коефіцієнтів моделі показав, що найбільший вплив на критерій оптимізації має кількість напрямних лотків. Величина відповідного коефіцієнта істотно перевищує значення інших параметрів, що свідчить про визначальну роль рівномірності розподілу зернового потоку по висоті пневмосепараційного каналу.

Додатковий аналіз діаграми Парето (рис. 3.8) підтвердив, що кількість лотків є найбільш вагомим фактором, який впливає на ефективність процесу очищення.

Effect Estimates; Var.: E , %; R-sqr=,99906; Adj:,99341 (Spreadsheet111) 2**(3-0) design; MS Residual=,125 DV: E , %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Intercept	80,12500	0,125000	641,0000	0,000993	78,53672	81,71328	80,12500	0,125000	78,53672	81,71328
(1) q_p , КГ/ДМ ГОД	-2,75000	0,250000	-11,0000	0,057716	-5,92655	0,42655	-1,37500	0,125000	-2,96328	0,21328
(2) k , ШТ	7,25000	0,250000	29,0000	0,021944	4,07345	10,42655	3,62500	0,125000	2,03672	5,21328
(3) β , град	2,25000	0,250000	9,0000	0,070447	-0,92655	5,42655	1,12500	0,125000	-0,46328	2,71328
1 by 2	0,25000	0,250000	1,0000	0,500000	-2,92655	3,42655	0,12500	0,125000	-1,46328	1,71328
1 by 3	-0,75000	0,250000	-3,0000	0,204833	-3,92655	2,42655	-0,37500	0,125000	-1,96328	1,21328
2 by 3	-0,75000	0,250000	-3,0000	0,204833	-3,92655	2,42655	-0,37500	0,125000	-1,96328	1,21328

Рис. 3.7. Коефіцієнти впливу математичної моделі

При збільшенні кількості лотків для введення матеріалу спостерігається зниження локального навантаження на окремі ділянки робочої зони, що сприяє покращенню структури повітряного потоку та інтенсифікації процесу виділення легких домішок.

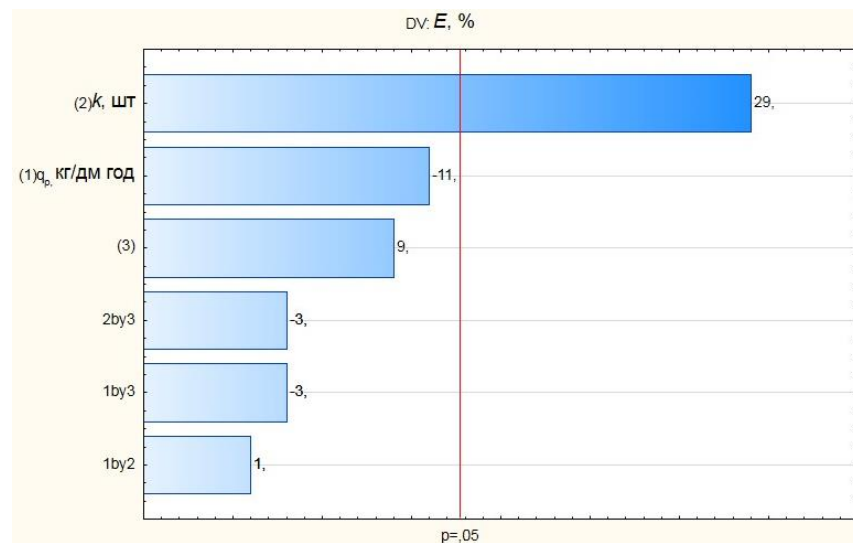


Рис. 3.8. Парето-карта для визначення межі статистичного значення коефіцієнту математичного чекання для ефективності розділення зернового матеріалу $YI(E)$;

Отримані результати досліджень статистичного математичного моделювання для пневмосепаційного процесу з роздільним живильником наведені на рисунках 3.9...3.11.

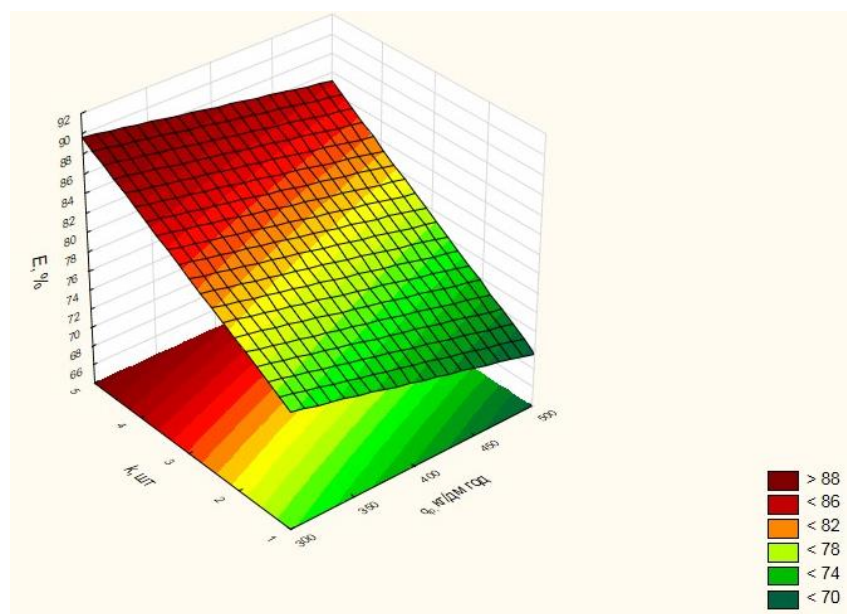


Рис. 3.9. Критерій оптимізації попарної взаємодії факторів $Y = f(x_1 x_2)$ впливу кількості лотків, k , та питомого навантаження, (q_p) на ефективність виділення легких домішок (Y)

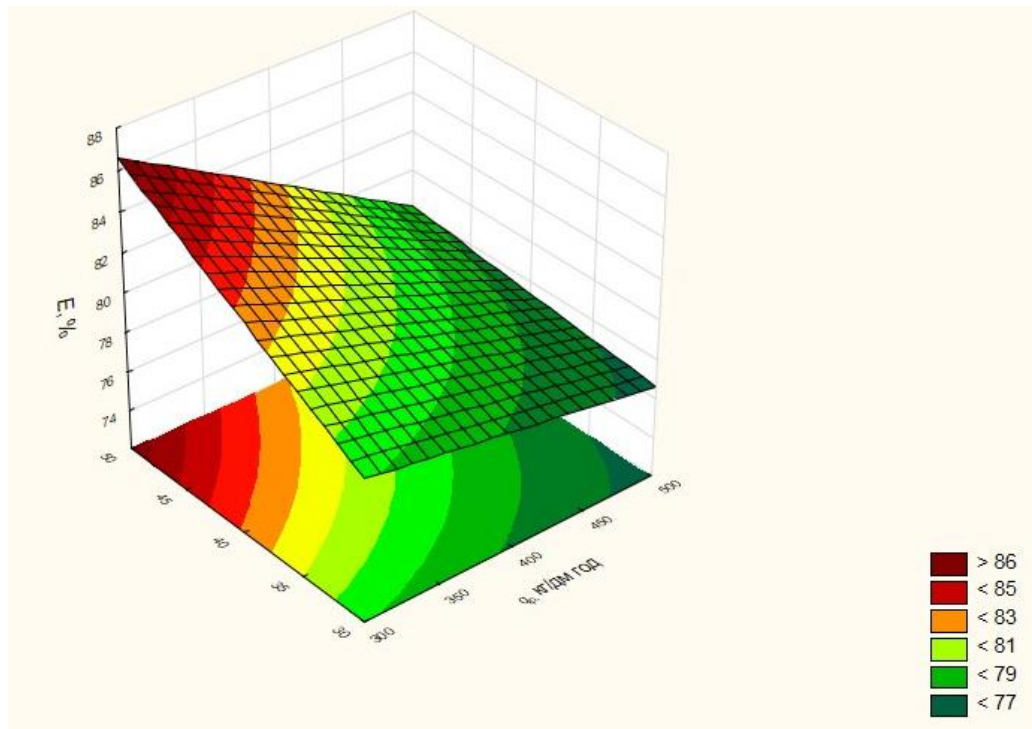


Рис. 3.10. Критерій оптимізації попарної взаємодії факторів $Y = f(x_1 x_3)$, впливу та питомого навантаження, (q_p), та кута нахилу лотків, (β) на ефективність виділення легких домішок (Y)

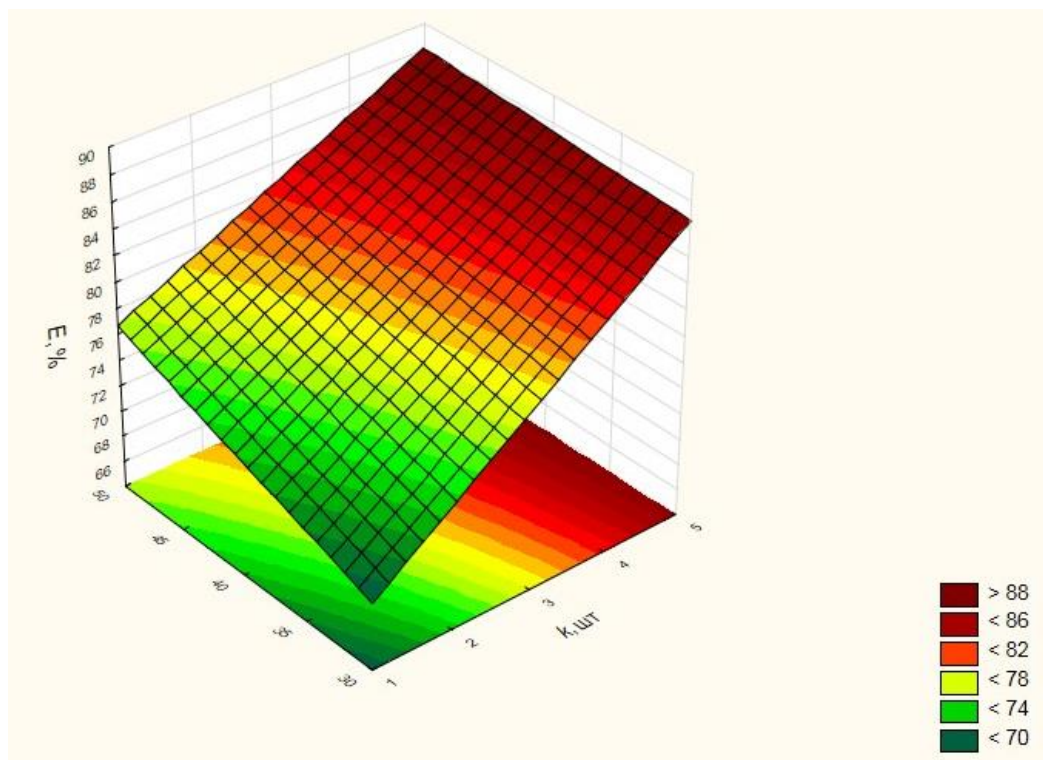


Рис. 3.11. Критерій оптимізації попарної взаємодії факторів $Y = f(x_2 x_3)$, впливу кута нахилу лотків, (β) та кількості лотків (k) на ефективність виділення легких домішок (Y)

Аналіз поверхонь відгуку дозволив встановити закономірності попарного впливу факторів на процес сепарації. Зокрема, збільшення питомого навантаження викликає поступове зниження ефективності очищення через збільшення концентрації зернового матеріалу в робочому просторі. Одночасно зростання кількості лотків сприяє підвищенню якості сепарації завдяки більш рівномірному розподілу матеріалу по висоті каналу.

Проведений аналіз результатів показав, що раціональною кількістю напрямних лотків для розподільного живильника 3 рівні введення зернового матеріалу. Подальше збільшення їх кількості не забезпечує суттєвого підвищення ефективності очищення, але призводить до ускладнення конструкції та збільшення металоємності вузла. Також встановлено, що оптимальна величина питомого навантаження перебуває в межах $q_p = 400 \dots 450$ кг/дм год а кут нахилу лотків доцільно приймати близьким до 35° . За таких умов забезпечується помірна швидкість введення зернового матеріалу, збільшується час його перебування в зоні дії повітряного потоку та покращуються умови аеродинамічного розділення.

Таким чином, результати проведених досліджень підтвердили доцільність удосконалення пневмосепараційного каналу сепаратора А1-БМС-6 шляхом використання розподільного живильника з трирівневою системою введення зернового матеріалу, що забезпечує підвищення ефективності очищення та покращення технологічних показників роботи машини в цілому.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Практична реалізація результатів теоретичних та експериментальних досліджень спрямована на обґрунтування основних параметрів удосконаленої повітряної частини зерноочисного сепаратора А1-БМС-6.

Запропоноване технічне рішення полягає у встановленні в приймальному бункері розподільного живильника, який поділяє загальний потік зернового матеріалу на декілька рівномірних потоків та вводить їх у пневмосепараційний канал на різних рівнях по висоті. Такий спосіб подачі забезпечує зменшення локальної концентрації матеріалу, вирівнювання навантаження на повітряний потік і створення сприятливіших умов для виділення легких домішок.

Вихідними даними для технологічних розрахунків прийнято:

оброблюваний матеріал – озима пшениця сорту «Подільська»;

вологість зерна – 15 %; початкова засміченість – 13 %;

насипна густина зернової маси – 730...780 кг/м³.

Для подальших розрахунків прийнято середнє значення насипної густини $\rho_n = 755$ кг/м³. Продуктивність модернізованого сепаратора становить $Q = 7,5$ т/год, що перевищує продуктивність базового варіанта завдяки рівномірнішому завантаженню пневмосепараційного каналу. Необхідною умовою прийнято забезпечення ефективності очищення не менше 60 %.

4.1. Розрахунок технологічної продуктивності модернізованого сепаратора

Продуктивність сепаратора є одним з основних показників, що визначає доцільність впровадження удосконаленої конструкції. У серійній машині А1-БМС-6 збільшення подачі матеріалу часто супроводжується погіршенням умов аеродинамічного розділення, оскільки зернова маса надходить у робочу зону нерівномірним шаром. Запропонований розподільний живильник зменшує цю нерівномірність, що дозволяє підвищити подачу до 7,5 т/год без зниження необхідної якості очищення [12].

$$Q = 7,5 \text{ т/год} = 7500 \text{ кг/год} \quad (4.1)$$

Об'ємна витрата зернового матеріалу визначається відношенням масової продуктивності до насипної густини матеріалу:

$$V_3 = Q / \rho_n \quad (4.2)$$

Підставляючи прийняті значення, отримаємо:

$$V_3 = 7500 / 755 = 9,93 \text{ м}^3/\text{год}, \text{ або } 0,00276 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Саме за цією величиною надалі оцінюються місткість бункера, питоме навантаження на лотки та необхідні параметри повітряного потоку.

Для забезпечення стабільного технологічного процесу приймальний бункер повинен виконувати не функцію тривалого зберігання матеріалу, а функцію вирівнювання його подачі. Тому його місткість доцільно визначати за короткочасним запасом матеріалу, достатнім для компенсації коливань подачі з транспортуючого обладнання.

4.2. Визначення місткості та основних параметрів приймального бункера

Місткість приймального бункера встановлюється з умови забезпечення безперервної подачі зернового матеріалу до розподільного живильника протягом заданого проміжку часу. Для зерноочисних машин потокового типу достатнім є запас на 15...25 с роботи, оскільки матеріал надходить до машини безперервно від норії, транспортера або іншого завантажувального пристрою. У розрахунку прийнято час стабілізаційного запасу $\tau = 20 \text{ с}$.

$$V_6 = V_3 \cdot \tau \quad (4.3)$$

За формулою (4.3) одержуємо: $V_6 = 0,00276 \cdot 20 = 0,055 \text{ м}^3$. З урахуванням резерву на нерівномірність надходження матеріалу та неповне використання геометричного об'єму бункера приймаємо коефіцієнт запасу $K_3 = 1,20$ [4].

$$V_{6.\text{пр}} = K_3 \cdot V_6 \quad (4.4)$$

Тоді розрахункова місткість приймального бункера становить $V_{6.\text{пр}} = 1,20 \cdot 0,055 = 0,066 \text{ м}^3$.

З конструктивної точки зору таке значення є прийнятним для приймальної камери сепаратора А1-БМС-6, оскільки бункер працює у режимі постійного потоку, а не як накопичувальна ємність.

При проектуванні модернізованого вузла доцільно приймати місткість бункера в межах 0,06...0,08 м³, що забезпечує необхідний короткочасний запас матеріалу та не створює надмірного навантаження на корпус машини.

Ширина приймального бункера приймається відповідно до ширини пневмосепараційного каналу та лотків розподільного живильника. Для розглянутої конструкції вона становить $B = 900$ мм. Такий розмір дозволяє подавати зерновий матеріал по всій ширині робочої зони, зменшуючи нерівномірність локального завантаження.

Глибина бункера приймається з урахуванням компоновання машини та можливості встановлення напрямних лотків. Згідно з конструктивним виконанням модернізованого вузла доцільно приймати глибину 180...200 мм, що забезпечує розміщення внутрішніх напрямних елементів без зміни загального компоновання сепаратора.

4.3. Розрахунок кількості лотків та питомого навантаження

За результатами статистичного моделювання та аналізу поверхонь відгуку встановлено, що найбільш раціональною для розподільного живильника є трирівнева схема введення матеріалу. Застосування трьох лотків дає можливість розділити загальний потік зернової маси на окремі частини, зменшити товщину шару на кожному рівні та підвищити рівномірність взаємодії зерна з повітряним потоком. Подальше збільшення кількості лотків ускладнює конструкцію, підвищує металоємність вузла і не забезпечує пропорційного зростання ефективності очищення. $k = 3$ шт.

Питоме навантаження на один лоток визначається за масовою продуктивністю машини, кількістю лотків та їх робочою шириною. Оскільки ширина лотка становить 900 мм, тобто 9 дм, фактичне питоме навантаження на кожен лоток визначаємо за залежністю:

$$q_p = Q / (k \cdot B) \quad (4.6)$$

де Q – продуктивність модернізованого сепаратора, кг/год;

k – кількість лотків;

B – ширина лотка, дм.

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$q_p = 7500 / (3 \cdot 9) = 277,8 \text{ кг/(дм} \cdot \text{год)}.$$

Отримана величина характеризує середнє навантаження, яке припадає на кожен лоток при продуктивності 7,5 т/год.

Це значення є нижчим за граничний раціональний діапазон 400...450 кг/(дм·год), визначений під час експериментальних досліджень. Отже, запропонована трирівнева система введення має технологічний резерв за пропускнуою здатністю і здатна працювати з продуктивністю 7,5 т/год без перевантаження окремих рівнів живильника.

Для оцінки резерву пропускнуї здатності визначимо потенційну продуктивність трирівневого живильника при питомому навантаженні 400...450 кг/(дм·год):

$$Q_p = q_p \cdot k \cdot B.$$

За нижньою межею одержуємо

$$Q_p = 400 \cdot 3 \cdot 9 = 10,8 \text{ т/год},$$

а за верхньою межею

$$Q_p = 450 \cdot 3 \cdot 9 = 12,15 \text{ т/год}.$$

Таким чином, фактична продуктивність 7,5 т/год не перевищує розрахункових можливостей вузла, що забезпечує стабільність процесу введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал.

4.4. Обґрунтування кута нахилу та роботи напрямних лотків

Кут нахилу лотків визначає швидкість введення зернового матеріалу в зону дії повітряного потоку. За результатами уточнення конструктивного рішення для модернізованого живильника приймаємо кут нахилу лотків $\beta = 40^\circ$.

Прийняте значення кута перевищує кут тертя зерна пшениці по сталевій поверхні, тому забезпечує самопливний рух матеріалу без застосування додаткового приводу. При цьому швидкість переміщення залишається

достатньою для стабільного введення зерна в канал, але не є надмірною для процесу пневмосепарації.

Перший і третій лотки доцільно виконувати з дугоподібною кінцівкою. Така форма сприяє зміні напрямку руху зернового потоку і забезпечує введення частини матеріалу перпендикулярно до напрямку повітряного потоку. Унаслідок цього підвищується інтенсивність взаємодії часток з повітряним середовищем і створюються кращі умови для відокремлення легких домішок. Другий лоток виконується прямолінійним, що спрощує конструкцію та забезпечує середній рівень подачі матеріалу.

Відстань між дугоподібним днищем першого лотка та наступним прямолінійним лотком приймається 30 мм. Між другим прямолінійним і третім дугоподібним лотком доцільно залишати проміжок 50 мм. Таке компонування забезпечує нерівномірне по висоті, але кероване розосередження зернового потоку, завдяки чому зменшується ймовірність накладання окремих потоків один на один у робочій зоні каналу.

4.5. Визначення параметрів пневмосепараційного каналу

Для модернізованого сепаратора ширину каналу приймаємо рівною ширині розподільного живильника:

$$B_{\text{к}} = 0,90 \text{ м} \quad (4.8)$$

Глибину каналу приймаємо з урахуванням габаритів серійної машини, можливості встановлення розподільного живильника та необхідної витрати повітря. Для розрахунку приймаємо:

$$a_{\text{к}} = 0,20 \text{ м} \quad (4.9)$$

Площа живого перерізу каналу визначається як добуток ширини на глибину:

$$F_{\text{к}} = B_{\text{к}} \cdot a_{\text{к}} \quad (4.10)$$

Після підстановки значень маємо: $F_{\text{к}} = 0,90 \cdot 0,20 = 0,180 \text{ м}^2$. Для очищення зерна пшениці від легких домішок швидкість повітряного потоку повинна бути меншою за швидкість витання повноцінного зерна, але

достатньою для винесення пилу, полови, щуплого та легкого насіння бур'янів. Для розрахунку приймаємо середню швидкість повітря в каналі $V_{\text{п}} = 7,5 \text{ м/с}$.

Додатковою перевагою розподільного живильника є те, що зернова маса вводиться не суцільним ущільненим шаром, а окремими потоками, тому повітряний потік має менший опір у зоні подачі матеріалу.

4.6. Розрахунок витрати повітря в пневмосепараційному каналі

Витрата повітря в пневмосепараційному каналі визначається за площею живого перерізу та середньою швидкістю повітряного потоку [4]:

$$L_{\text{п}} = F_{\text{к}} \cdot v_{\text{п}} \quad (4.12)$$

Підставляючи розрахункові значення, одержуємо:

$$L_{\text{п}} = 0,180 \cdot 7,5 = 1,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

У перерахунку на годинну витрату:

$$L_{\text{п.год}} = L_{\text{п}} \cdot 3600 \quad (4.13)$$

$$L_{\text{п.год}} = 1,35 \cdot 3600 = 4860 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, для забезпечення стабільної роботи модернізованого пневмосепараційного каналу необхідна витрата повітря становить орієнтовно 4800...5000 $\text{м}^3/\text{год}$. Це значення узгоджується з підвищеною продуктивністю сепаратора та враховує необхідність підтримання швидкості потоку в робочій зоні після встановлення розподільного живильника.

4.7. Оцінка ефективності очищення зернового матеріалу

Необхідною умовою роботи модернізованого сепаратора є забезпечення ефективності очищення не нижче 60 %. Для оцінювання технологічного результату визначимо масу домішок у вихідному матеріалі та кількість домішок, що повинна бути виділена повітряною системою при прийнятій ефективності [19].

$$M_{\text{д}} = Q \cdot C_{\text{д}} / 100 \quad (4.14)$$

де $C_{\text{д}}$ – початкова засміченість зернового матеріалу, %.

При $C_{\text{д}} = 13 \%$ маса домішок у потоці становить

$$M_{\text{д}} = 7500 \cdot 13 / 100 = 975,0 \text{ кг/год}.$$

$$M_{\text{вид}} = \eta \cdot M_{\text{д}} \quad (4.15)$$

За умови $\eta = 0,60$ кількість виділених домішок становитиме

$$M_{\text{вид}} = 0,60 \cdot 975,0 = 585,0 \text{ кг/год.}$$

Невилучена частина домішок дорівнюватиме 390 кг/год. Відповідно орієнтовна засміченість після пневматичного очищення становитиме близько 5,64 %.

Отримані розрахункові значення підтверджують, що встановлення розподільного живильника не лише забезпечує підвищення продуктивності до 7,5 т/год, але й створює умови для підтримання необхідної ефективності очищення.

Основний позитивний ефект досягається за рахунок зниження товщини зернового шару на кожному рівні подачі, кращого проникнення повітряного потоку між частками та збільшення імовірності винесення легких домішок до осадової камери.

4.8. Практичні рекомендації щодо впровадження удосконалення

Практичне впровадження запропонованого розподільного живильника доцільно здійснювати без радикальної зміни загальної конструкції сепаратора А1-БМС-6. Модернізація повинна передбачати встановлення у приймальному бункері трьох напрямних лотків, які розподіляють зерновий матеріал по висоті пневмосепараційного каналу. Перший і третій лотки рекомендується виконувати з дугоподібними кінцівками, що забезпечують більш спрямоване введення зерна у повітряний потік. Другий лоток доцільно залишати прямолінійним для спрощення конструкції та формування середнього рівня подачі.

Після встановлення модернізованого вузла необхідно провести регулювання повітряної системи. Швидкість повітряного потоку в робочій зоні пневмосепараційного каналу слід підтримувати на рівні 7,0...7,5 м/с.

У виробничих умовах роботу удосконаленого сепаратора необхідно контролювати за трьома основними показниками: якістю очищеного зерна, кількістю повноцінного зерна у відходах та рівномірністю подачі матеріалу по

ширині каналу. Якщо у відходах з'являється значна кількість повноцінного зерна, потрібно зменшити швидкість повітряного потоку або відкоригувати положення повітряних заслінок. Якщо в очищеному зерні залишається підвищена кількість легких домішок, необхідно збільшити швидкість повітря або перевірити рівномірність завантаження лотків.

Запропоноване удосконалення може бути використане не лише на сепараторі А1-БМС-6, але й на інших зерноочисних машинах, які мають вертикальні або близькі за компонованням пневмосепараційні канали. Особливо доцільним є застосування такого рішення в машинах, де при збільшенні продуктивності спостерігається нерівномірне завантаження повітряного каналу та зниження ефективності виділення легких домішок.

Таким чином, практична реалізація результатів досліджень полягає у впровадженні трилоткового розподільного живильника, який забезпечує стабільне та рівномірне введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал. Розрахунки підтверджують можливість підвищення продуктивності сепаратора до 7,5 т/год при збереженні ефективності очищення не нижче 60 %.

Запропонована конструкція є технологічно простою, не потребує складного приводу та може бути адаптована до серійних машин з аналогічною повітряною системою.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час експлуатації зерноочисних машин на підприємствах агропромислового комплексу особливого значення набуває забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу [20].

Робота сепаратора А1-БМС-6 пов'язана з використанням механічних, електричних та пневматичних систем, функціонування яких супроводжується виникненням небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їхній вплив може призводити до погіршення умов праці, зниження працездатності операторів та виникнення виробничого травматизму. Тому під час проектування, модернізації та експлуатації обладнання необхідно передбачати комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи.

Одним із найбільш поширених шкідливих факторів під час роботи сепаратора А1-БМС-6 є підвищене виділення пилу. У процесі переміщення зернового матеріалу, його очищення та аеродинамічного розділення в повітря робочої зони потрапляють пилові частинки органічного та мінерального походження. Тривалий вплив пилу на організм людини може викликати подразнення слизових оболонок, алергічні реакції та професійні захворювання органів дихання. Крім того, пилоповітряні суміші за певних умов можуть утворювати вибухонебезпечне середовище.

Для зменшення запиленості виробничого приміщення необхідно застосовувати герметизацію технологічного обладнання, місцеві системи аспірації та вентиляції. У місцях інтенсивного виділення пилу доцільно встановлювати додаткові витяжні пристрої. Працівники повинні бути забезпечені індивідуальними засобами захисту органів дихання, зокрема респіраторами відповідного класу захисту [20].

Іншим важливим шкідливим фактором є підвищений рівень шуму та вібрацій, які виникають під час роботи вентиляторів, решітного стану, приводних механізмів і рухомих вузлів машини. Тривалий вплив шуму негативно впливає на фізіологічний стан людини, сприяє розвитку втоми,

погіршенню концентрації уваги та може викликати порушення функцій слухового апарату.

Для зниження рівня шуму необхідно використовувати амортизаційні елементи, вібропоглинаючі матеріали та еластичні з'єднання між окремими вузлами обладнання. Доцільним є встановлення шумоізоляційних кожухів на вентилятори та інші джерела інтенсивного шуму. У випадках перевищення допустимих значень працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту слуху.

Під час експлуатації сепаратора існує небезпека механічного травмування персоналу рухомими елементами машини, зокрема приводними механізмами, шківками, ремінними передачами та коливальними вузлами решітного стану. Контакт із відкритими рухомими деталями може стати причиною травм різного ступеня тяжкості.

З метою усунення небезпеки механічного травмування всі рухомі елементи машини повинні обладнуватися захисними кожухами та огороженнями. Конструкція обладнання повинна виключати можливість випадкового доступу персоналу до небезпечних зон під час роботи. Проведення регулювальних або ремонтних робіт допускається лише після повного відключення машини від джерела живлення [20].

Важливим фактором ризику є також можливість ураження електричним струмом, оскільки сепаратор обладнаний електричними приводами та системами керування. Пошкодження ізоляції, порушення правил експлуатації або несправність електрообладнання можуть створювати небезпечні ситуації.

Для забезпечення електробезпеки необхідно передбачити захисне заземлення металевих частин обладнання, використання автоматичних вимикачів та захисних пристроїв аварійного відключення. Електричне обладнання повинно проходити періодичні перевірки технічного стану.

Таким чином, забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації сепаратора А1-БМС-6 повинно здійснюватися шляхом комплексного застосування організаційних, конструктивних та санітарно-гігієнічних заходів.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз конструкцій сучасних зерноочисних сепараторів та пневмосепараційних каналів, який показав, що ефективність процесу очищення значною мірою визначається умовами введення зернового матеріалу в робочу зону повітряного каналу. Встановлено, що традиційні конструкції мають недоліки, пов'язані з нерівномірним розподілом матеріалу, локальним перевантаженням окремих ділянок пневмосепараційного каналу та недостатньою інтенсивністю аеродинамічного розділення.

2. На основі теоретичних досліджень обґрунтовано конструктивну схему удосконаленого розподільного живильника для сепаратора А1-БМС-6, що забезпечує багаторівневе введення зернового матеріалу в робочу зону пневмосепараційного каналу. Отримано аналітичні залежності, які описують вплив довжини лотка S_l та кута його нахилу β на швидкість переміщення зернового матеріалу. Встановлено, що збільшення кута нахилу та довжини прямої поверхні сприяє підвищенню швидкості руху зерна.

3. За результатами математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних визначено раціональні параметри розподільного живильника: кількість напрямних лотків становить 3 шт., кут нахилу лотків $\beta=40^\circ$ що забезпечує формування рівномірного тонкошарового потоку зернового матеріалу та покращує умови його взаємодії з повітряним потоком.

4. Експериментальними дослідженнями встановлено, що збільшення кількості рівнів введення зернового матеріалу сприяє зменшенню локального питомого навантаження в пневмосепараційному каналі, знижує ймовірність зіткнення зернових частинок та покращує структуру поля швидкостей повітряного потоку.

5. Виконано технологічні розрахунки удосконаленого сепаратора А1-БМС-6 для очищення зерна озимої пшениці сорту «Подільська» з вологістю 15 %, засміченістю 13 % та насипною густиною 730–780 кг/м³. Встановлено

основні конструктивно-технологічні параметри приймального бункера, розподільного живильника та повітряної системи машини.

6. Встановлено, що застосування удосконаленого розподільного живильника дозволяє підвищити продуктивність сепаратора А1-БМС-6 від 6 до 7,5 т/год, що відповідає збільшенню продуктивності приблизно на 25 %, при забезпеченні ефективності очищення зернового матеріалу не нижче 60 %.

7. Практична реалізація запропонованого технічного рішення дозволяє покращити умови роботи пневмосепараційного каналу шляхом більш рівномірного розподілу зернового матеріалу по висоті робочої зони, підвищити інтенсивність процесу аеродинамічного розділення та знизити втрати повноцінного зерна.

8. Запропоноване удосконалення може бути використане не лише в конструкції сепаратора А1-БМС-6, а й в інших зерноочисних машинах, обладнаних аналогічними пневмосепараційними системами, що створює перспективи для підвищення їх технологічної ефективності без суттєвого ускладнення конструкції.

Список використаної літератури

1. Котов Б.І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасіннесочисної техніки / Б.І. Котов, М.І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110–111.
2. Васильковський О.М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 286–288.
3. Нестеренко О.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / О.В Нестеренко, О.М Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25. Ч.1. – С.49-53.
4. Комаристов В.Ю. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
5. [Home - PETKUS Technologie GmbH](#)
6. <https://smart.mehzavod.com.ua/ru/catalog/separatory-zernoochistitel/spo-80/>
7. [Carter Day International, Inc. - Leading Equipment Manufacturers for Agricultural and Plastics Industries | Grain Processing, milling, hulling, scalping, debearding, size reduction and more.](#)
8. <https://smart.mehzavod.com.ua/ru/catalog/separatory-zernoochistitel/a1-bms-6/>
9. <https://olis.com.ua/oborudovanie/separatory-pso/>
10. [Bühler Group | Innovations for a better world](#)
11. Clarke B. Cleaning seeds by fluidiration / J. agr. engg. Res; 1985, Vol 31, №3, p.231-242.
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. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С. 53-59.
14. Дослідження режимних характеристик гравітаційної напрямної кривої живильного пристрою. Нестеренко О.В., Васильковський О.М, Петренко Д.І., Артеменко Д.Ю. / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – випуск 50 – Кропивницький: ЦНТУ, 2020 р. – 20-27 с.
15. 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.
16. Сабірзянов, Т. Г. До методики визначення швидкості введення зерна в пневмосепараційний канал / Т. Г. Сабірзянов, М. І. Васильковський, О. В. Нестеренко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград: КНТУ, 2008. - Вип. 21. - С. 263-266.
17. П'ятницька-Позднякова І.С. Основи наукових досліджень у вищій школі: Навч. посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2003. 116 с.
18. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін. 2016. 204 с.
19. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
20. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці в галузі сільського господарства: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2009. – 365 с.

ДОДАТКИ