

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ _____ ” 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

«Обґрунтування параметрів пневматичного сепаратора зерна»

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

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Крячко Андрій Борисович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, д-р. техн. наук

_____Володимир ЯЦУН

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти II

Галузь знань 13 - Механічна інженерія

Спеціальність Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 р.

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

_____ Крячко Андрій Борисович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Обґрунтування параметрів пневмосепаратора зерна»

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

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

3. Строк подання роботи до захисту 15.05.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Підвищення ефективності пневмосепарації насіння

5. Перелік графічного матеріалу: ілюстративний матеріал: аналіз конструкцій пневмосепараторів, результати теоретичних досліджень роботи аспірації, методика експериментальних досліджень, результати експериментальних досліджень, функціональна схема сепаратора

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Дата видачі завдання

«11» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«11» лютого 2026 р.

Підпис здобувача _____ Андрій КРЯЧКО
(прізвище та ініціали)

Анотація

Крячко Андрій Борисович

Kriachko Andrii

Обґрунтування параметрів пневматичного сепаратора зерна

Substantiation of the Parameters of a Pneumatic Grain Separator

Магістерська робота присвячена створенню оригінального пневмосепаратора на основі використання принципу роботи жалюзійного пиловідокремлювача.

В роботі теоретично та експериментально обґрунтовані основні параметри оригінальної аспірації.

Розроблено функціональну схему пневмосепаратора.

The master's thesis is devoted to the development of an original pneumatic separator based on the operating principle of a louvered dust separator.

The thesis provides theoretical and experimental substantiation of the key parameters of the original aspiration system.

A functional diagram of the pneumatic separator has been developed.

Ключові слова: аспірація, насіння, пневмосепаратор, легкі домішки, очищення

Keywords: aspiration system, seed, pneumatic separator, light impurities, grain cleaning

Крячко, А. Б. Обґрунтування параметрів пневматичного сепаратора зерна: кваліфікаційна робота: спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. О.М. Васильковський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2026. – 50 с.

ЗМІСТ

1. Вступ	6
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	8
3. Наукова частина	19
4. Практична реалізація результатів досліджень	38
5. Охорона праці	42
6. Загальні висновки	45
Список використаної літератури	46
Додатки	50

1. ВСТУП

Соняшник є однією з найважливіших олійних культур, що вирощується в Україні та в усьому світі. Наша країна традиційно входить до числа провідних виробників та експортерів соняшникової олії, тому питання якості насіннєвого матеріалу має значне економічне значення. Якість насіння соняшника після збирання врожаю значною мірою залежить від ефективності післязбиральної обробки, зокрема від процесів очищення та сепарації. Наявність у насіннєвому матеріалі легких домішок призводить до зниження виходу олії, погіршення умов зберігання та зменшення схожості посівного матеріалу. Тому розробка ефективного сепараційного обладнання залишається актуальним завданням для машинобудівних підприємств.

Пневматична сепарація широко застосовується в технологіях очищення зерна та насіння завдяки відносно простій конструкції та можливості розділення матеріалів за аеродинамічними властивостями. Принцип дії таких машин базується на різних аеродинамічних властивостях основного насіння та домішок, що дозволяє ефективно розділяти їх у потоці повітря. Проте існуючі пневмосепаратори не завжди забезпечують бажану продуктивність очищення, яке має специфічні фізико-механічні характеристики – малу натуру та неправильну форму, що ускладнює процес сепарації.

У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та науковому обґрунтуванні параметрів пневмосепаратора, орієнтованого на високопродуктивне очищення насіння соняшника. Запропонований у даній роботі сепаратор створено на основі принципу роботи жалюзійного пиловідокремлювача, що дозволяє більш ефективно видаляти легкі домішки порівняно зі звичайними аспіраційними каналами, оскільки тут можна використати високі – закритичні швидкості повітряного потоку. У роботі проведено як теоретичний аналіз, так і експериментальні дослідження, які в забезпечують обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів розробленої машини.

Актуальність дослідження підтверджується зростаючим попитом на якісний зерновий та насіннєвий матеріал, а також недостатньою кількістю обґрунтованих високопродуктивних інженерних рішень щодо пневматичної сепарації насіння соняшника.

Мета роботи – обґрунтування основних конструктивних та технологічних параметрів оригінального пневмосепаратора для очищення насіння соняшника від легких домішок.

Об’єкт дослідження – процес пневматичної сепарації насіння соняшника.

Предмет дослідження – конструктивні та технологічні параметри пневмосепаратора на основі жалюзійного пиловідокремлювача.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій пневмосепараторів та визначити їх недоліки стосовно очищення насіння соняшника.
2. Розробити функціональну схему оригінального пневмосепаратора на основі принципу роботи жалюзійного пиловідокремлювача.
3. Розробити методику визначення раціональних параметрів пневмосепаратора.
4. Провести експериментальні дослідження для обґрунтування основних параметрів розробленої машини.
5. Проаналізувати результати досліджень та сформулювати практичні рекомендації щодо використання розробленої машини.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Класифікація пневматичних сепараторів

Пневматичні сепаратори класифікуються [1-19] за кількома ознаками.

За напрямком повітряного потоку можуть бути з вертикальним висхідним (аспіраційні колонки А1-БКА, РЗ-БАБ), горизонтальним і похилим потоком (більшість аеродинамічних сепараторів типу САД, ІСМ).

За схемою циркуляції повітря розрізняють з розімкнутим, коли відпрацьоване повітря після очистки викидається в атмосферу і замкненим циклом, коли повітря циркулює всередині машини.

За продуктивністю – малі (до 5 т/год) для фермерських господарств і селекції, середні (5–50 т/год) і великі (50–200 т/год і вище) для елеваторів і експортних терміналів.

За поєднанням з іншими робочими органами – повітряні (аспіратори), ситоповітряні (А1-БІС, А1-БЦС, ОВС-25, МПО-50), вібропневматичні (Cimbria GA, PETKUS G, ВПС).

2.2. Огляд і аналіз конструкцій аспіраторів

Аспіраційна колонка А1-БКА є класичною машиною, розробленою ще за радянських часів, але успішно вироблялася до повномасштабної війни підприємствами ТОВ «Мелінвест», ТОВ «Луганськмлин» [4]. Зустрічаються модернізовані версії машини з частотним регулюванням вентилятора.

Машина А1-БКА (рис. 2.1) – це вертикальний пневмосепаратор з розімкнутим повітряним циклом. Основними вузлами машини є: корпус 11, осаджувальна камера 10, живильний валик 12 з вантажним клапаном 14 для регулювання товщини шару продукту, похилі плоскі поверхні (жалюзі) 5, поворотні клапани 6, магнітна колонка 7 для затримання феромагнітних домішок, герметизуючий клапан виводу відносів 8 і дросельний клапан 9 для регулювання швидкості повітря. Зерно подається у верхню частину колонки, проходить через живильний валик і потрапляє на похилі полиці. Знизу через

щілину поступає повітряний потік, який підхоплює легкі домішки (пил, полови, бити лузгу) і відносить їх в осаджувальну камеру; очищене важче зерно стікає вниз і виводиться через випускний патрубок. Швидкість повітря зазвичай тримається в межах 4–8 м/с залежно від культури.

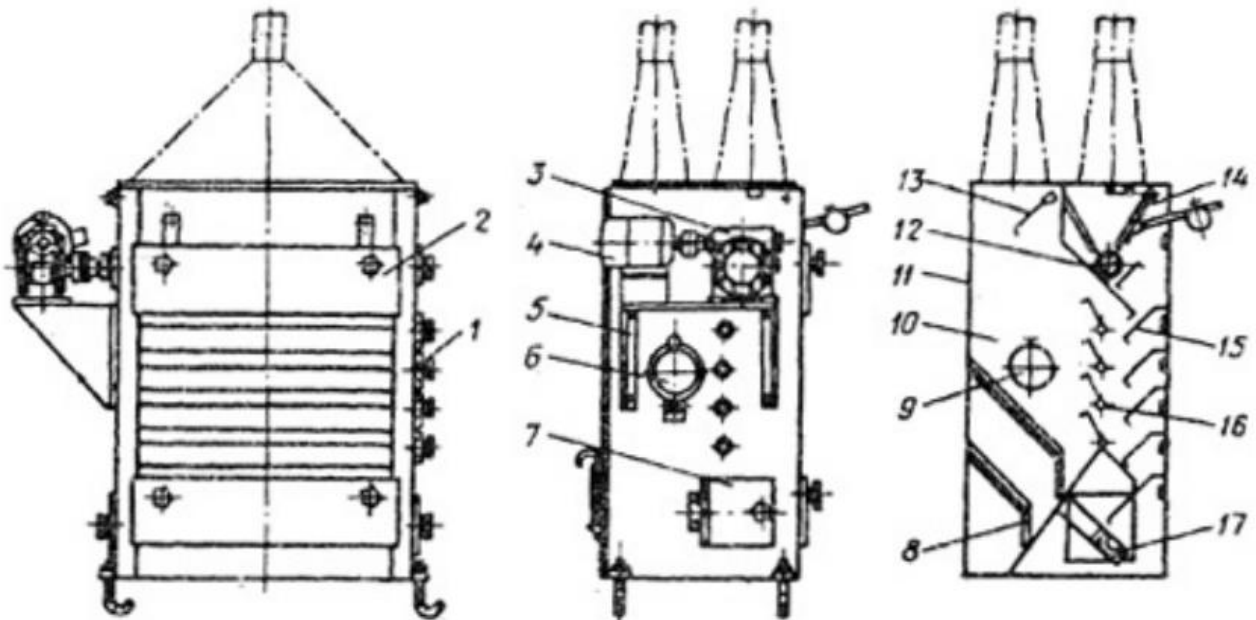


Рис. 2.1. Схема аспіратора А1-БКА

Перевагами аспіратора є простота і надійність конструкції. Вона не має рухомих частин у зоні очищення, що дає змогу отримати низьку енергоємність приводу (до 1,1 кВт), при цьому є можливість вбудування в аспіраційні мережі складніших машин.

До недоліків машини відносять малу продуктивність – 1,5–6 т/год, залежність якості сепарації від рівномірності подачі продукту і розімкнутий цикл очищення, що вимагає застосування циклонів або фільтрів.

Повітряний сепаратор РЗ-БАБ (рис. 2.2) виготовляється у складі модернізованих млинових ліній ВО «Олімп», «Метінвест-Млин» та ін.

Машина РЗ-БАБ [5] використовується переважно в зерноочисних відділеннях млинів і на круп'яних заводах. Він являє собою вертикальний канал прямокутного перерізу із замкнутою циркуляцією повітря і

розташований у складі ситоповітряних сепараторів, наприклад, А1-БІС [6-7] багатьох виробників: «Хорольський механічний завод», .

Основні елементи – приймальний патрубок, плоский живильний валик, розрівнювальна заслінка, пневмосепаруючий канал з рухомою стінкою для регулювання його ширини, осаджувальна камера, відцентровий вентилятор і шлюзовий затвор. Зерно потрапляє в канал тонким рівномірним шаром, висхідний потік повітря виносить легкі домішки в осаджувальну камеру, а звідти – через шлюзовий затвор у відходи.

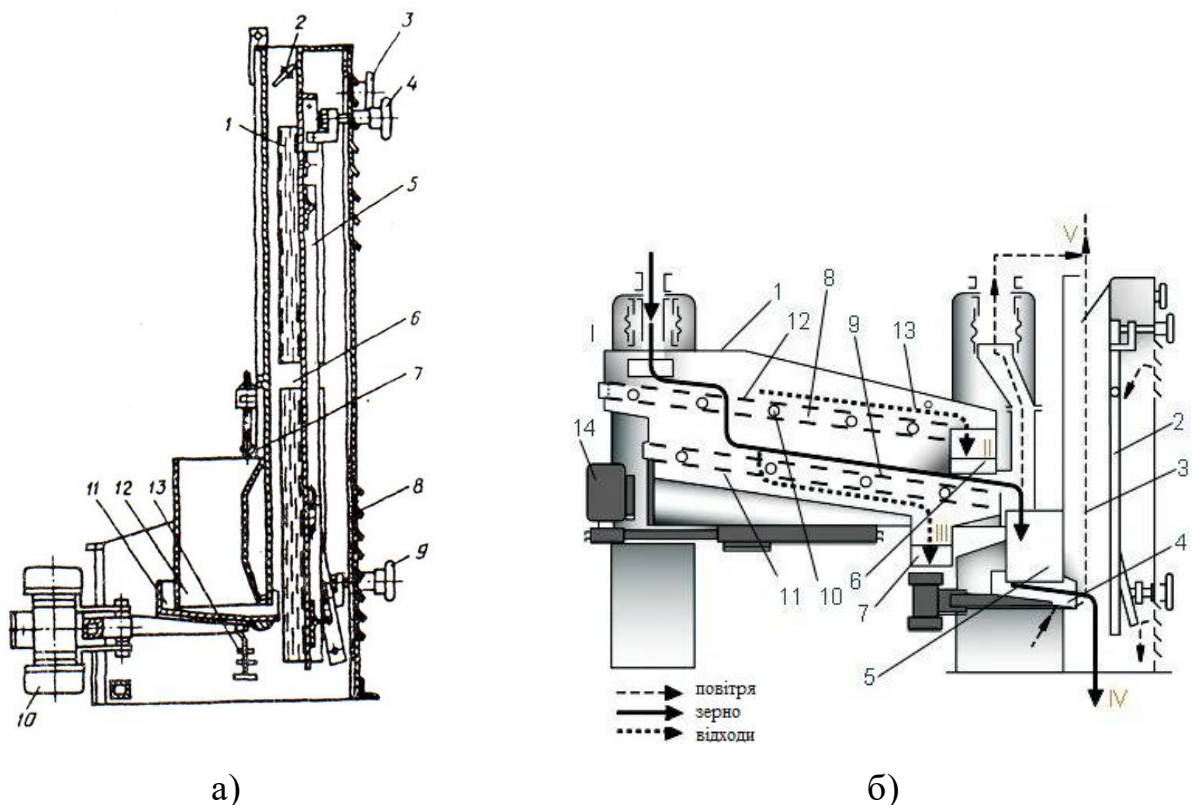


Рис. 2.2. Повітряний сепаратор (аспіратор) РЗ-БАБ:

а- схема аспілятора РЗ-БАБ; б- аспіратор РЗ-БАБ (5) у складі зерноочисної машини А1-БІС

Перевагами машини є висока ефективність відділення легких домішок – до 70–80 % за один прохід, компактність і можливість органічного поєднання з ситовими сепараторами. Крім того, за рахунок замкнутого циклу не вимагає потужної аспіраційної мережі і додаткових очисників відпрацьованого повітря.

Серед недоліків зазначають високу матеріалоемність конструкції, чутливість до коливань вологості зерна, необхідність точного налаштування швидкості повітря і різке падіння якості очищення при перевантаженні живильного валика.

Вібровідцентрові сепаратори А1-БЦС-100 вітчизняної розробки [6, 8], що випускалися і випускається в Україні підприємствами «Хорольський механічний завод», ТОВ «BCS-Service» та ін. Існують модифікації, що відрізняються продуктивністю: А1-БЦС-25, А1-БЦС-50, А1-БЦС-100, а також Р8-УЦС-200.

Робочий орган машин А1-БЦС-100 (рис. 2.3) – ситовий циліндр, який здійснює одночасно обертальний і вібраційний рухи навколо вертикальної осі.

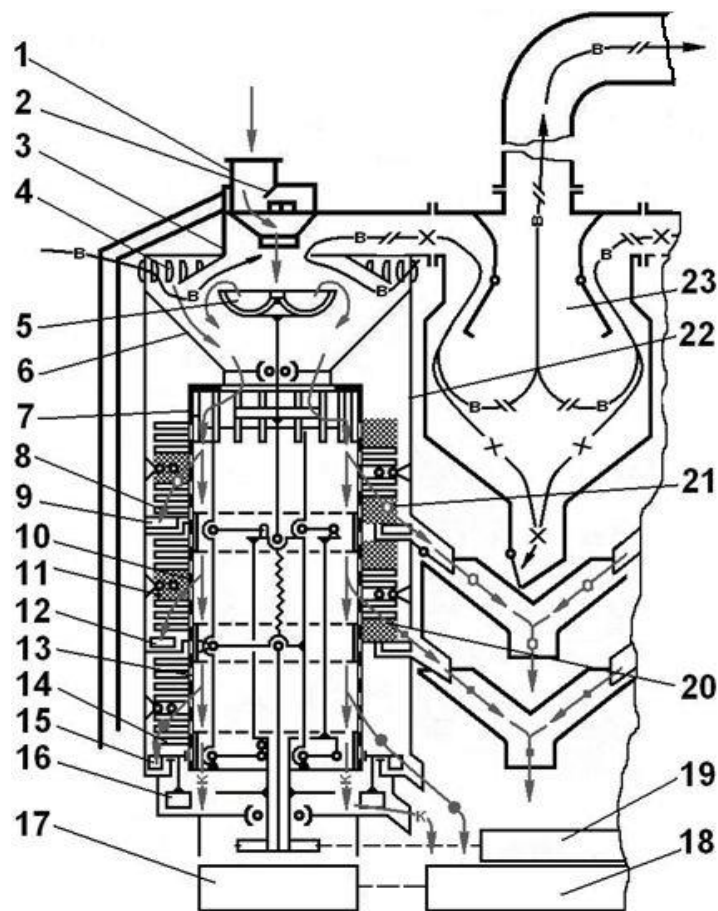


Рис. 2.3. Схема роботи сепаратора А1-БЦС-100

1 – пристрій для відбору випадкових домішок; 2 – клапан; 3 – відбивач; 4 – жалюзі, 5 – розкидач; 6 – барабан, 7, 10, 13 – сита, 8, 11, 14 – дискові очищувачі, 9, 12, 15, 16 – лопатки, 17 – вібратор, 18 – привід вібратора, 19 – привід барабана, 20, 21 – щіткові очищувачі, 22 – кожух, 23 – відстійник

Конструкція включає пристрій для відбору домішок, клапан, відбивач, жалюзі, розкидач, барабан з кількома ярусами решіт, дискові і щіткові очищувачі, лопатки, вібратор, кожух та відстійник. Зерно через розкидач рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні барабана, який обертається з частотою близько 30–35 об/хв; аспіраційне повітря, що надходить ззовні, виносить пил і легкі домішки в осаджувальну камеру.

Перевагами машини є висока продуктивність до 100–200 т/год., компактна вертикальна компоновка, ефективна аспірація завдяки великій площі контакту повітря з зерном і задовільна робота навіть при високих вологостях зерна 16–18 %.

Недоліками конструкції є складність виготовлення і обслуговування барабана з ситами; потреба в дискових і щіткових очищувачах, високі вимоги до балансування, на сьогодні машина вважається морально дещо застарілою порівняно зі скальператорами західних виробників.

Пневмосепаратори серії АСХ (рис. 2.4) представлені машинами АСХ-2,5; АСХ -5; АСХ-10, що випускаються на підприємствах зернопереробних виробництв, зокрема, «Хорольський механічний завод», та інші.

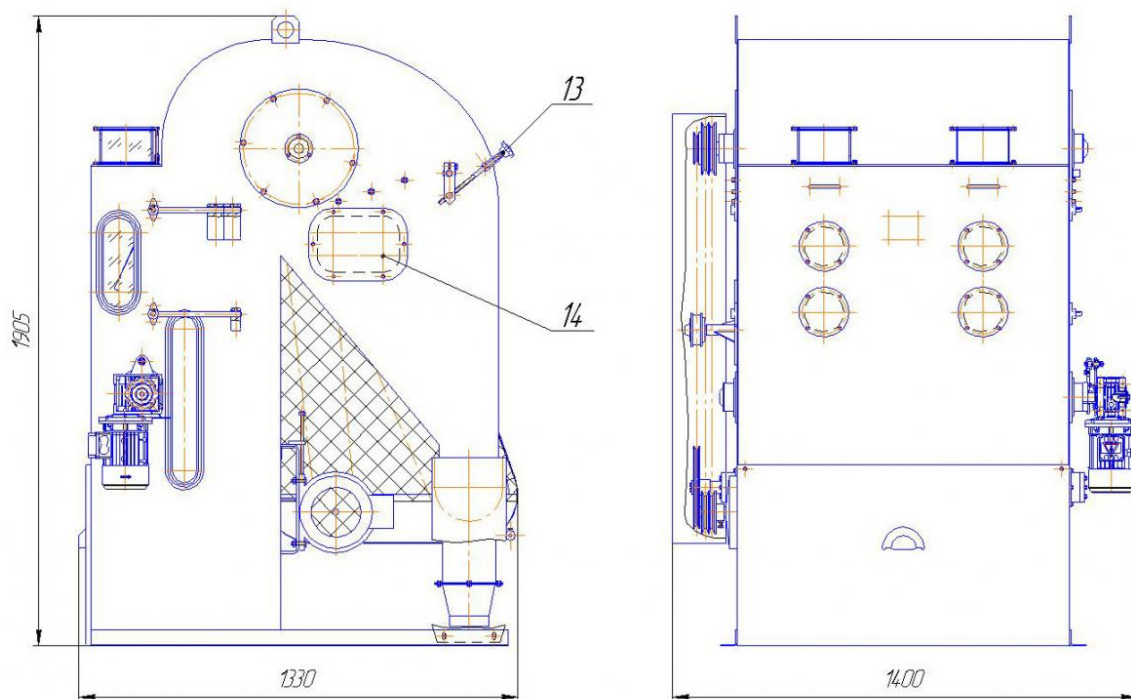


Рис. 2.4. Пневмосепаратор серії АСХ

Сепаратори серії АСХ [6] із замкнутим повітряним циклом та діаметральним вентилятором розроблені для розподілу продуктів лушення круп'яних культур – а саме для відбору лушпиння, його контролю, перевірки якості готової крупи, – а також для звільнення пшеничного зерна від легких за парусністю домішок. Машини цього типу встановлюють у лущильних цехах круп'яних заводів і в зерноочисних відділеннях млинів.

За кліматичним виконанням сепаратори належать до категорії «У» 3-ї категорії розміщення та призначені як для постачання на внутрішній ринок, так і для експорту в країни з помірним кліматом. У зазначених умовах експлуатації обладнання повинне стабільно працювати в робочих режимах при температурах оточуючого середовища від -10 до $+40$ °С, відносній вологості повітря до 80 % (за середньорічної температури $+15$ °С) і атмосферному тиску в межах 650–800 мм рт. ст., тобто 86,6–106,7 кПа.

Перевагами конструкції є компактна вертикальна компоновка, низькі експлуатаційні витрати, простота налаштування швидкості повітря, добра ефективність відділення легких домішок (до 75 %).

Недоліки – відносно невелика максимальна продуктивність (10 т/год для АСХ-10) та падіння ефективності при високих рівнях засміченості соломистими домішками.

Аеродинамічні сепаратори САД («Аеромех») виробництва ТОВ НВФ «Аеромех» (Україна, м. Луганськ – нині перенесено виробничі потужності) [9]. Машини серії САД (САД-3, САД-5, САД-7, САД-10, САД-30, САД-50, САД-100, САД-150) експортуються більш ніж у 40 країн світу. Це одна з найпопулярніших українських розробок останніх двох десятиліть.

Принцип дії сепаратора (рис. 2.5) базується на похилому повітряному потоці, який пронизує тонкий шар зерна, що падає з живильного бункера. Основні вузли: завантажувальний бункер, дозуючий валик з регулюванням потоку, осьовий вентилятор з електродвигуном, повітряна камера з відбивачами, кілька ярусів приймальних лотків (3–5 фракцій) і циклон. Зерно поступає в камеру, де набуває різної траєкторії руху залежно від маси і

парусності кожної насінини: найважче і найповноцінніше зерно (зокрема із середини колоса) випадає в перший лоток, далі – зерно меншої ваги, потім – фуражне і відходи. Дрібні легкі домішки виносяться в циклон і збираються в окремому бункері.

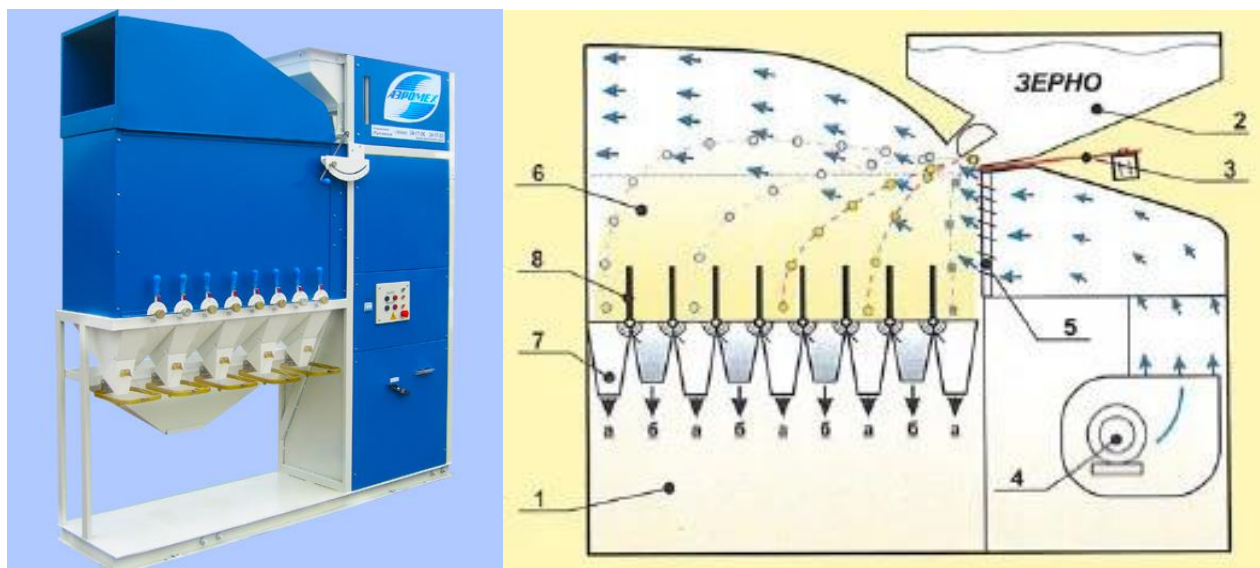


Рис. 2.5. Сепаратори САД:

а- загальний вигляд аспіратора САД-7, б- схема роботи

Перевагами аспіраторів є багатofракційне розділення вороху за один прохід, виділення біологічно цінного насіння середини колоса з найбільшою енергією проростання, відсутність решіт і їх обслуговування, малий рівень травмування зерна, компактність; доступна ціна порівняно з західними аналогами.

Серед недоліків відзначають потребу попереднього очищення від крупних домішок, сильна залежність ефективності розділення від однорідності подачі і вологості зерна. Для сильно засміченого вороху часто потрібен повторний пропуск.

Аеродинамічні сепаратори ІСМ виробництва ХЗЗО, «Агросепмаш» (Україна) та ін. [8, 10] – це серія машин різної продуктивності: ІСМ-3, ІСМ-5, ІСМ-10, ІСМ-15, ІСМ-20, ІСМ-30, ІСМ-50.

Основною особливістю і відмінністю ІСМ від машин типу САД – використання прямотічного осьового вентилятора – імпелера, поміщеного в

кільце з лопатями під певним кутом (рис. 2.6). Це дозволяє максимально зменшити вихровий рух повітря і турбулентність, які зазвичай знижують точність сепарації.

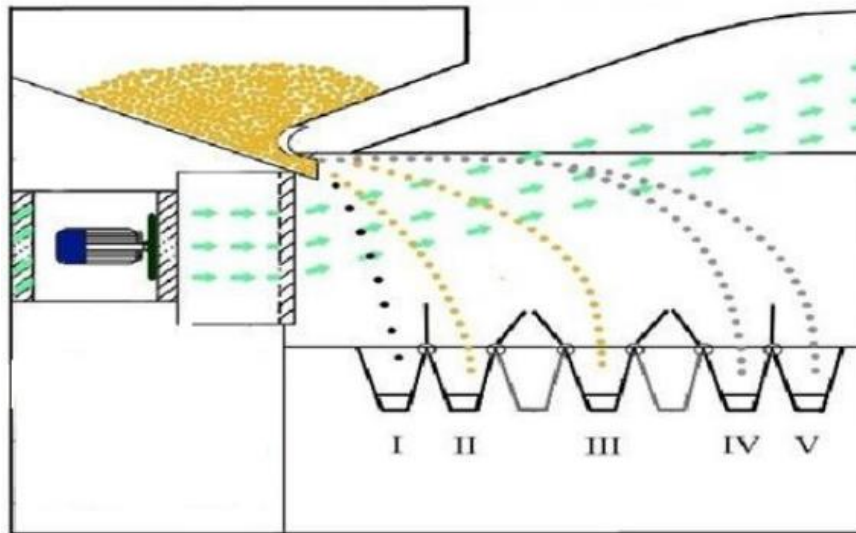


Рис. 2.6. Сепаратор серії ICM

Машина включає завантажувальний бункер з регульованою заслінкою, імелерний вентилятор, аеродинамічну камеру з кількома осаджувальними секціями (4–6 фракцій), приймальні лотки і циклон. Зерно у вигляді тонкої завіси перетинає горизонтальний (або злегка похилий) потік повітря і розподіляється за траєкторіями відповідно до маси кожної насінини; швидкість потоку регулюється частотним перетворювачем.

Перевагами машини відзначають високу точність сепарації за рахунок ламінарного повітряного потоку, відсутність вібрототка, завдяки чому виключається травмування зерна, низьке питоме енергоспоживання і простота технічного обслуговування.

Недоліками конструкції є висока чутливість до рівномірності подачі продукту в зону сепарації, практично не очищає від домішок, близьких за парусністю до основної культури.

Сепаратори SP-68 «Dauet» (Франція) [11, 12] – це вертикальні сепаратори турбінного типу (рис. 2.7), що дозволяють забезпечити тонкошарове розподілення зернового вороху перед здійсненням повітряного очищення.

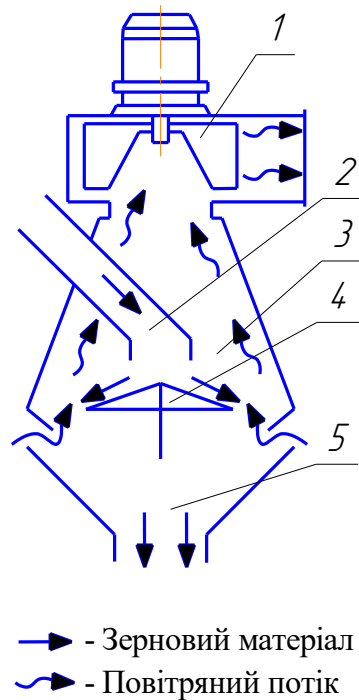


Рис. 2.7. Сепаратор SP-68 «Dauet»

Подача вороху здійснюється на центральну частину конічної турбіни, яка створює умови тонкошарового дозування матеріалу. Повітряний потік підхоплює легкі домішки і виводить з машини.

Переваги аспіратора: простота конструкції і обслуговування, висока ефективність очистки.

Основними недоліками є складність компонування з решітними сепараторами та необхідність очищення відпрацьованого повітря.

Скальператори «Carter Day» [13, 14] оснащені – повітряно-решітною системою очистки зерна (рис. 2.8). При цьому крупна фракція сходить з барабанів скальператора, а повітряне очищення проходить тільки дрібна фракція вороху, серед якої знаходиться зерно та дрібні домішки.

Основу машини складають: завантажувальний бункер 1, живильний валець 2, дросель витрат повітря 3, осадова камера 4, шнек легких домішок 5, повітряний канал 6, приймальник очищеного зерна 7 і крупних домішок 8, ситові барабани 9 і 11 та бітер 10.

Застосування такої схеми дозволяє уникнути потрапляння крупних часток до аспірації, що позитивно впливає на якість очищення

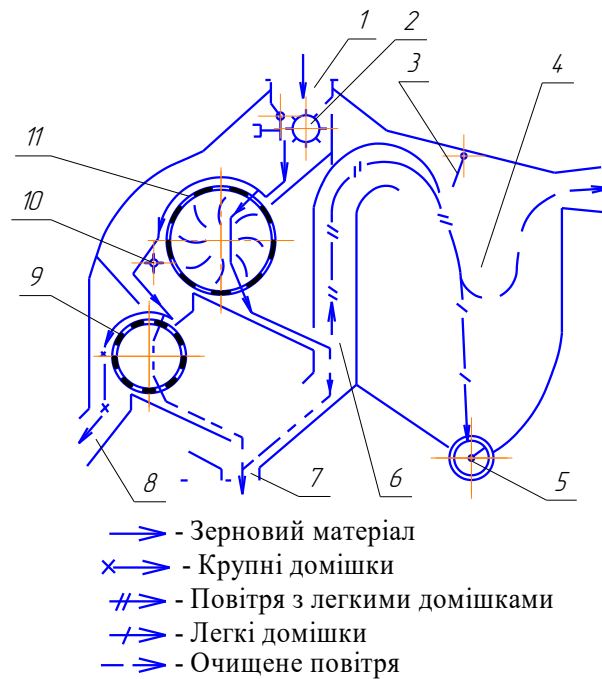


Рис. 2.8. Скальператор «Carter Day»

Перевагами скальператора є порівняно проста пневморешітна конструкція, що забезпечує високу продуктивність очистки.

Серед недоліків відзначають запилення робочої зони, що потребує циклонного очищення від пилу та складність регулювання якості повітряного очищення.

2.3. Висновок. Постановка мети і задач досліджень

1. Сучасні пневмосепаратори зерна являють собою розгалужену групу машин, яку доцільно класифікувати за принципом розділення, типом повітряного циклу (відкритий чи замкнутий) і функціональним призначенням (попереднє, первинне, вторинне очищення).

2. У групі класичних ситоповітряних сепараторів провідне місце посідають машини серій А1-БІС, А1-БЦС, БПС, А1-БКА. Незважаючи на свій вік, вони залишаються основою парку зернообробного обладнання багатьох млинів і елеваторів. Їхні переваги – висока продуктивність, перевірена надійність і ремонтпридатність; недоліки – металомісткість, вібрація і моральна застарілість окремих рішень.

3. Українська школа аеродинамічних безрешітних сепараторів (САД, ІСМ) є самобутнім явищем у світовому машинобудуванні. Її продукція успішно конкурує з імпортними аналогами завдяки оптимальному поєднанню ціни, простоти, ремонтпридатності і добрих результатів сепарації – особливо для відбору насіннєвого матеріалу.

4. Західні гравітаційні столи є високоефективними машинами, однак їхня висока вартість і вимогливість до кваліфікації обмежують застосування переважно великими насіннєвими заводами і селекційними станціями.

5. Аналіз продуктивності і якості роботи відомих сепараторів свідчить про їхній високий потенціал, який ще не у повній мірі розкрито. Тому актуальним завданням сучасної науки і практики є пошук перспективних конструкцій.

На основі викладеного вище сформульовано мету наших досліджень – обґрунтувати основні конструктивні та технологічні параметри оригінального пневмосепаратора для очищення насіння соняшника від легких домішок.

Обґрунтування параметрів оригінального сепаратора будемо проводити шляхом реалізації серії експериментальних досліджень

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Загальна концепція процесу

Принцип роботи жалюзійного пиловідокремлювача ґрунтується на використанні інерційних властивостей частинок, що рухаються у повітряному потоці. Коли запилений потік повітря натрапляє на систему відхилених назад конусоподібних пластин – жалюзі, що звужують переріз каналу, він змінює напрямок руху. Частинки пилу внаслідок більшої інерції не встигають змінити траєкторію разом із потоком повітря і вилітають крізь щілини між пластинами в окрему камеру.

У запропонованому пневмосепараторі (рис. 3.1) цей принцип зберігається, але стосовно до задачі виділення легких домішок із зернової маси соняшнику. Роль «запиленого повітря» відіграє суміш зернового матеріалу з повітряним потоком, а роль «пилу» – легкі домішки (лузга, подрібнене насіння, рослинні рештки), які мають значно менший коефіцієнт аеродинамічного опору та меншу масу порівняно з повноцінним насінням соняшнику.

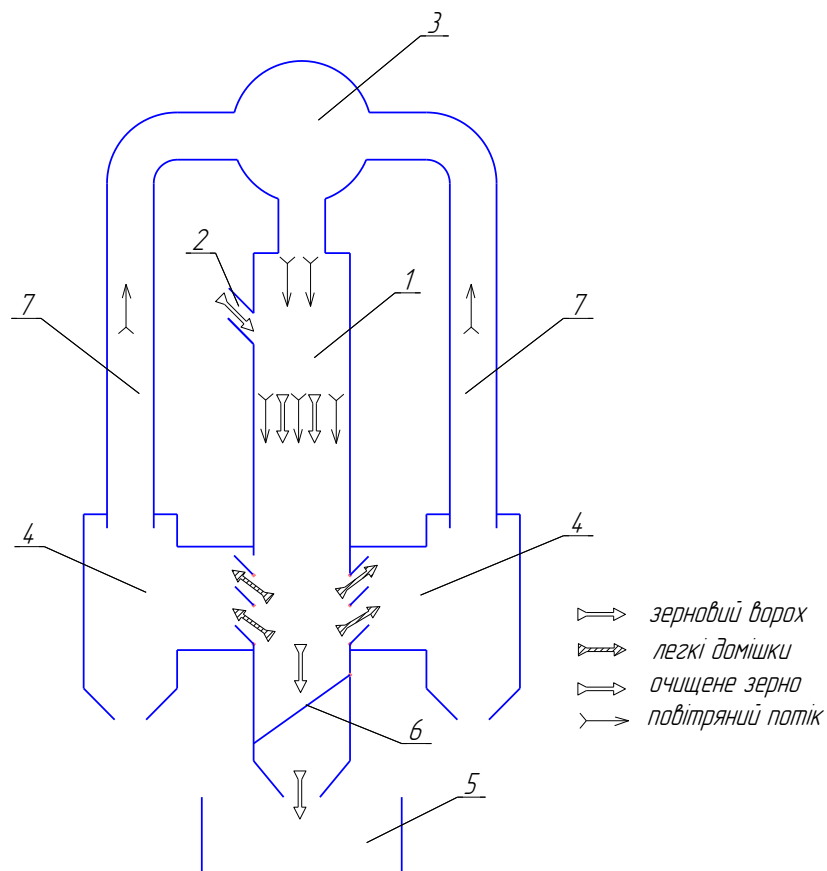


Рис. 3.1. Концептуальна схема жалюзійного пневмосепаратора

Ефективність сепарації визначається різницею аеродинамічних характеристик основного зерна та домішок.

3.2. Програма і методика експериментальних досліджень

План-програма експериментальних досліджень

На етапі експериментальних досліджень заплановано виконання таких завдань:

1. Аналіз фізико-механічних параметрів насіннєвого матеріалу соняшнику, що включає:

- вимірювання вологості вихідного вороху;
- визначення об'ємної маси (натури) насіння соняшнику;
- встановлення фракційного розподілу компонентів вороху.

2. Реалізація повного факторного експерименту з метою оцінки впливу робочих параметрів пневмосепаратора на ефективність очищення вороху та подальшого математичного моделювання технологічного процесу.

Методика вимірювання вологості зернового вороху

Вимірювання вологості вороху здійснювали за допомогою експериментального приладу WILE-55 (рис.3.2)



Рис. 3.2. Прилад для визначення вологості насіння

Прилад дозволяє здійснювати вимірювання вологості олійних культур від 5,0 до 25,0% з точністю до 0,5%.

Методика визначення засміченості легкими домішками.

Оцінку вмісту легких домішок у зерновому вороху проводили шляхом десятиразового сепарування дослідних вибірок масою 10 кг на розробленій експериментальній установці (рис. 3.3). Фракційний склад вороху визначали за допомогою парусного класифікатора (рис. 3.4).

Маси відсіяних фракцій визначали за допомогою лабораторних електронних KERN EMB 500-1 (рис. 3.4). Загальні маси вибірок зважувати на настільних вагах РН-10Ц13М. Підсумкові показники встановлювали як середнє арифметичне проведених замірів.



а)



б)

Рис. 3.3. Експериментальна установка:

- а- загальний вигляд лабораторної експериментальної установки,
б- фото пневматичного жалюзійного каналу



Рис. 3.4. Парусний класифікатор.



Рис. 3.5. Лабораторні ваги гKERN.

Методика визначення натури оброблюваного вороху.

Для визначення натури оброблюваного вороху насіння соняшнику, використовували мірну пурку.

Числове значення натури визначали шляхом визначення середнього арифметичного зважених мас на вагах KERN EMB 500-1.

Методика проведення трифакторного експерименту.

Експерименти було реалізовано на лабораторному стенді (рис. 3.3а) за загальною методикою, описаною у [21]. Дослідження передбачало варіювання трьох факторів, обраних шляхом ранжування. Варіювали: подачу матеріалу, кут нахилу жалюзійних решіток та величину тиску в аспіраційному каналі.

Кожен замір виконували у триразовій повторності за фіксованих режимних налаштувань сепаратора. За результатами дослідів визначали масу фракцій, а отримані дані заносили до таблиці експерименту.

Регулювання подачі зернового вороху забезпечували заслінкою на бункері.

Зміну кута нахилу жалюзі здійснювали за допомогою спеціальних важелів (рис. 3.3б).

Регулювання тиску у пневмосистемі відбувалося через заслінку, встановлену на вихідному патрубку вентилятора. Контроль тиску здійснювали диференційним мікроманометром (рис. 3.6).

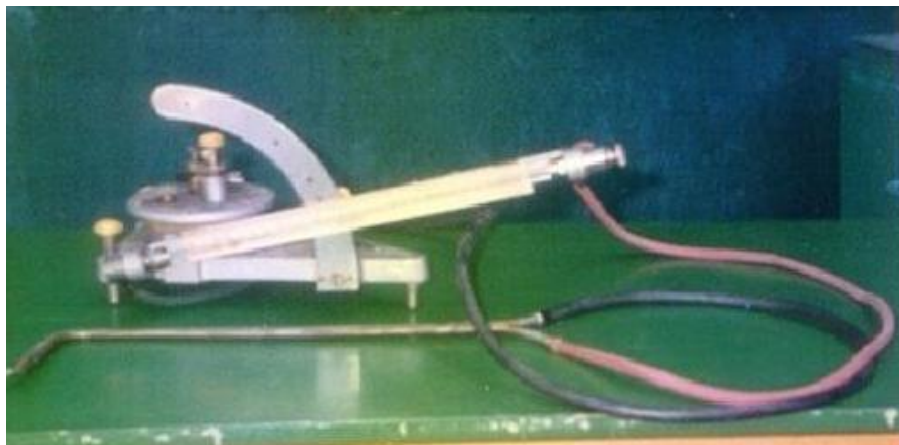


Рис. 3.6. Диференційний мікроманометр.

Процес пневмосепарації можна представити у вигляді «чорної скриньки» Віннера (рис. 3.7).

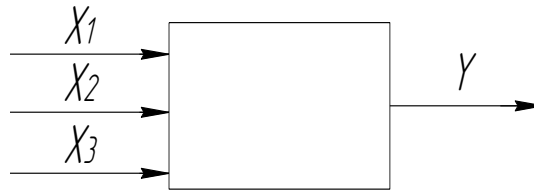


Рис. 3.7. Схема досліджуваного процесу:

Y – критерій оцінки – якість розділення; X_1 – продуктивність (Q); X_2 – кут відхилення жалюзі (α); X_3 – вимірений тиск в системі (P);.

Процедура планування повного факторного експерименту передбачала таку послідовність етапів:

- обґрунтування та вибір структури математичної моделі;
- кодування незалежних змінних факторів;
- формування матриці планування (схеми дослідів), визначення загального обсягу випробувань та черговості їх реалізації.

Шукана математична модель відображається у вигляді полінома, який описує залежність вихідного критерію оптимізації від досліджуваних чинників:

$$y = \epsilon_0 + \sum_{i=1}^n \epsilon_i \cdot x_i + \sum_{i=j}^n \epsilon_{ij} \cdot x_i \cdot x_j,$$

де x_i, x_j – значення діючих факторів у кодованому вигляді;

ϵ_0 - вільний член рівняння регресії;

$\epsilon_{i,j}$ - розраховані значення коефіцієнтів рівняння регресії.

Відповідно до нашого випадку, коли обрано три діючі фактори, вихідне рівняння регресії матиме вид:

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 \cdot x_1 + \epsilon_2 \cdot x_2 + \epsilon_3 \cdot x_3 + \epsilon_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \epsilon_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \epsilon_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

Для формування матриці планування експерименту здійснюють кодування вхідних факторів, що забезпечує перехід від їхніх натуральних значень до безрозмірних величин.

Взаємозв'язок між кодованими та натуральними значеннями факторів визначається виразом:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i},$$

де x_i – кодове значення i -го фактора;

X_i, X_{i0} – натуральне значення фактора на відповідних рівнях;

ΔX_i – інтервал варіювання факторів.

Результати кодування факторів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне	Кодове	Інтервал	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верх.	0	Ниж.	Верх.	0	Ниж.
Продуктивність, т/м ² год.	q_F	x_1	20	80	60	40	+1	0	-1
Кут відхилення жалюзі, °	α	x_2	30	150	120	90	+1	0	-1
Тиск мм. вод. ст.	P	X_3	5	15	10	5	+1	0	-1

Після кодування факторів складаємо план-матрицю експерименту.

Наступним етапом є розробка плану-матриці експерименту на базі кодованих значень.

Для системи з трьох факторів, що досліджуються на двох рівнях, повний набір можливих комбінацій факторів складається з 8 дослідів. Умови проведення експерименту наведено таблиці 3.2 [21].

План-матриця ПФЕ 2³

Номер досліджу	Кодові значення факторів			Можлива взаємодія факторів			
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Проведення обробки результатів дослідів.

Відтворюваність дослідів здійснювали за критерієм Кохрена [21]:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G(0,05; n; f_u),$$

де $G(0,05; n; f_u)$ – табличне значення критерію Кохрена;

$S_{u \max}^2$ – найбільша із дисперсій, що має 5% рівень значущості;

n – число дослідів;

$f_u = m_0 - 1$ – число ступенів вільності;

m_0 – кількість повторностей кожного досліджу.

Дисперсія розсіювання досліджу визначається як

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{m_0} (Y_{ui} - Y_{u.cp})^2,$$

де Y_{ui} – критерій оцінки у відповідній повторюваності.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліджу) визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n S_u^2$$

Значення коефіцієнтів моделі розраховували за формулами [21]:

$$b_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n y_{u.cp} ,$$

$$b_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot y_{u.cp} ,$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_{u.cp} ,$$

де x_{iu} , x_{ju} – кодове значення відповідного фактора.

Перевірку адекватності рівняння регресії проводили за критерієм Фішера.

Умова адекватності:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y),$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ – табличне значення коефіцієнту Фішера [21];

f_{ad} – ступень свободи дисперсії адекватності.

Ступень свободи дисперсії адекватності розраховується за виразом:

$$f_{ad} = n - k - 1,$$

де k – кількість діючих факторів;

f_y – ступень свободи дисперсії відтворення:

$$f_y = n \cdot (m_0 - 1)$$

Дисперсію S_{ad}^2 обчислюється по формулі:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{u=1}^n (Y_u - Y_{u.cp})^2,$$

де Y_u – розрахункове значення відгуку у відповідному досліді.

Значущість коефіцієнтів одержаного поліному проводили за критерієм Стьюдента [21].

Умова значущості відповідного коефіцієнта:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \cdot \frac{S_y}{\sqrt{n}},$$

де b_a – визначені коефіцієнти поліному;

Δb_a – розрахункова довірча границя;

$t(0,05; f_y)$ – коефіцієнт Стьюдента [21].

3.3. Результати експериментальних досліджень

Вологість вороху

Результаті вимірювання вологості зернового матеріалу наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Вологість вороху

Вологість за повторністю W, %					$\overline{W}$	σ^2	Δ , %
1	2	3	4	5	14,04	0,098	2,8
14,2	14,3	14,1	13,5	14,1			

В результаті визначення вологості виявлено, що вологість соняшникового вороху становила 14,04%, при цьому похибка вимірів становить 2,8%.

Засміченість маси

Результаті вимірювання засміченості зернового матеріалу легкими домішками наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Засміченість зернового матеріалу легкими домішками

Засміченість за повторністю $\zeta, \%$					$\bar{\zeta}$	σ^2	$\Delta, \%$
1	2	3	4	5	5,24	0,128	2,4
5,6	5,3	4,7	5,1	5,5			

В результаті визначення засміченості зернового матеріалу легкими домішками встановлено середній вміст легких домішок 5,2%, при цьому похибка вимірів становить 2,4 %.

Об'ємна маса вороху соняшнику

Результаті вимірювання об'ємної маси (натури) зернового матеріалу наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Об'ємна маса вороху соняшнику

Об'ємна маса, $\gamma, \text{г/л (кг/м}^3\text{)}$					$\bar{\gamma}$	σ^2	$\Delta, \%$
1	2	3	4	5	384	33,3	8,7
376	382	385	391	388			

В результаті визначення об'ємної маси (натури) зернового матеріалу встановлено середнє значення 384 кг/м³, при цьому похибка вимірів становить 8,7 %.

Розподіл компонентів вороху соняшника за швидкістю витання

Результати визначення розподілу компонентів вороху соняшника за швидкістю витання наведено на рис. 3.6.

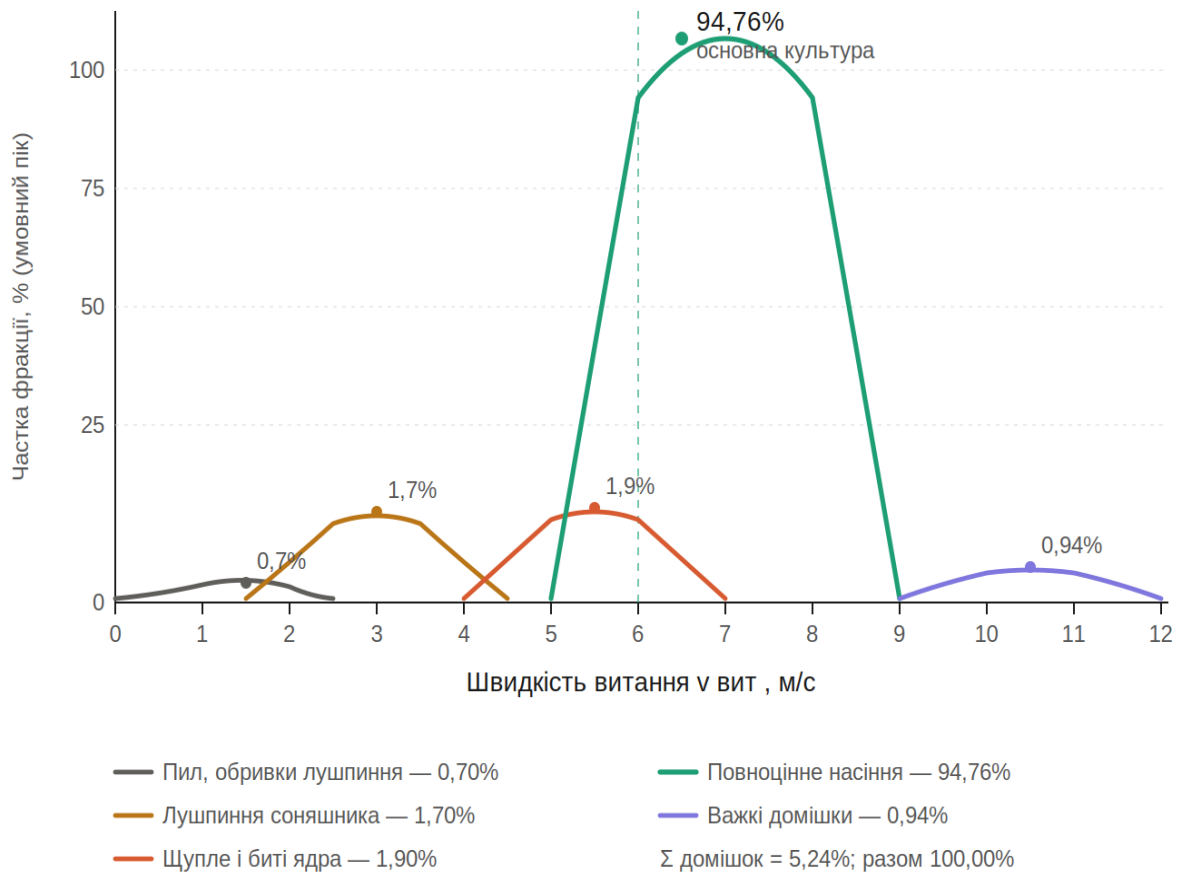


Рис. 3.6. Розподіл компонентів вороху соняшника за швидкістю витання

Як видно з графіку, повноцінне насіння соняшника становить переважну частку вороху – 94,76 %.

Серед домішок найбільшу масу складають щупле і биті ядра (1,90 %) та лушпиння соняшника (1,70 %), решту – важкі домішки у вигляді камінців (0,94 %), і найменшу – пил і обривки лушпиння (0,70 %).

Розподіл фракцій за швидкістю витання має класичний характер: легкі складові (пил і лушпиння) знаходяться в діапазоні 0,5–4,5 м/с, повноцінне насіння – у діапазоні 5,5–9,5 м/с, важкі домішки – вище 9 м/с. Між сусідніми фракціями спостерігаються зони перекриття, що не дозволяє виконати повне розділення за рахунок тільки повітряного потоку.

Проведення багатфакторного експерименту

На основі рандомізованої матриці експерименту проведено дослідження з триразовим повтором кожного досліду. Визначені значення критерію оцінки – повноти виділення домішок занесено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Результати проведення дослідів

№ дослід у	Значення кодових факторів			Вихідний параметр y, ε			Середнє, $\bar{Y}_n, \varepsilon$
				Повторюваність			
	x_1	x_2	x_3	перша, Y_{u1}	друга, Y_{u2}	третя, Y_{u3}	
1	-1	-1	-1	345	342	335	341
2	+1	-1	-1	321	320	317	319
3	-1	+1	-1	307	300	297	301
4	+1	+1	-1	255	252	250	252
5	-1	-1	+1	416	411	405	411
6	+1	-1	+1	351	348	339	346
7	-1	+1	+1	385	380	374	380
8	+1	+1	+1	335	335	327	332

Перевірка відтворюваності дослідів. Перевіряємо умову:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G(0,05; n; f_u),$$

Розраховані значення дисперсій наведено нижче

$$S_{u1}^2 = 26,3; \quad S_{u2}^2 = 4,3; \quad S_{u3}^2 = 26,3; \quad S_{u4}^2 = 6,3;$$

$$S_{u5}^2 = 30,3; \quad S_{u6}^2 = 39,0; \quad S_{u7}^2 = 30,3; \quad S_{u8}^2 = 21,3$$

Розрахункове значення коефіцієнту кохрена.

$$G = \frac{39,0}{26,3 + 4,3 + 26,3 + 6,3 + 30,3 + 39,0 + 21,3} = 0,21.$$

Табличне значення коефіцієнту Кохрена при $n=8$ і $f_u=2$ [21]:

$$G(0,05; n; f_u) = 0,516,$$

То робимо висновок, що процес є відтворюваним.

Розрахуємо дисперсію відтворюваності [21]:

$$S_y^2 = \frac{1}{8} \cdot (26,3 + 4,3 + 26,3 + 6,3 + 30,3 + 39,0 + 21,3) = 23,0.$$

Розраховані за описаними у методиці формулами, згідно джерела [21] і округлені до десяткового знаку коефіцієнти рівняння регресії наведено у таблиці 3.7

Таблиця 3.7.

Розраховані коефіцієнти рівняння регресії

θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_{1,2}$	$\theta_{1,3}$	$\theta_{2,3}$
335,3	-22,8	-18,9	31,9	-1,3	-5,2	7,7

Отримане наше рівняння регресії:

$$y = 335,3 - 22,8 \cdot x_1 - 18,9 \cdot x_2 + 31,9 \cdot x_3 - 1,3 \cdot x_1 \cdot x_2 - 5,2 \cdot x_1 \cdot x_3 + 7,7 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Перевірка адекватності отриманого рівняння за критерієм Фішера.

Перевіряємо умову

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y)$$

Для отримання дисперсії S_{ad}^2 визначимо розрахункові відгуки лінійної частини рівняння по дослідях:

$$\begin{array}{llll} Y_u^{(1)} = 345,1; & Y_u^{(2)} = 316,5 & Y_u^{(3)} = 307,3; & Y_u^{(4)} = 261,7 \\ Y_u^{(5)} = 408,8; & Y_u^{(6)} = 343,2 & Y_u^{(7)} = 371,1; & Y_u^{(8)} = 325,5 \end{array}$$

Квадрати різниць для кожного дослідів:

$$\begin{array}{llll} \Delta Y_u^{(1)} = 9,7; & \Delta Y_u^{(2)} = 6,2 & \Delta Y_u^{(3)} = 18; & \Delta Y_u^{(4)} = 44,3 \\ \Delta Y_u^{(5)} = 1,68; & \Delta Y_u^{(6)} = 10,2 & \Delta Y_u^{(7)} = 36,8; & \Delta Y_u^{(8)} = 23,3 \end{array}$$

З урахуванням знайдених квадратів різниць дослідів:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{8-3-1} \cdot (9,7 + 6,25 + 18 + 44,3 + 1,68 + 10,2 + 36,8 + 23,3) = 37,6.$$

Розрахункове значення коефіцієнту Фішера:

$$F = \frac{37,6}{23,0} = 1,633.$$

Табличне значення коефіцієнту Кохрена $F(0,05; 4; 16) = 3,172$

Таким чином модель є адекватною.

Перевірка значущості отриманого рівняння за критерієм Стюдента.
Перевіряємо умову:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \cdot \frac{S_y}{\sqrt{n}},$$

При рівні значущості 5% значення $\alpha = 0,95$, а $f_y = 16$, коефіцієнт $t = 2,1$.

Тоді

$$\Delta b_a = 2,1 \cdot \frac{\sqrt{23}}{\sqrt{8}} = 3,5.$$

З огляду на отримане значення коефіцієнту Стюдента, отримане рівняння регресії прийме вигляд

$$y = 335,3 - 22,8 \cdot x_1 - 18,9 \cdot x_2 + 31,9 \cdot x_3 - 5,2 \cdot x_1 \cdot x_3 + 7,7 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Значення коефіцієнту b_{12} є меншим за Δb_a , в наслідок чого ним можемо знехтувати.

За отриманим рівнянням регресії побудуємо три поверхні відгуку (рис.3.7-3.9) і графіки ліній рівного виходу (рис. 3.10) з відображенням послідовної попарної взаємодії факторів.

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє встановити наступні закономірності:

- збільшення продуктивності до рівня 90 т/м²год призводить до падіння якості очищення, що відповідає класичним закономірностям. Ступінь впливовості -22,8 говорить про те, що цей фактор не є самим впливовим;
- збільшення кута відхилення жалюзі також погіршує якість і є найменш впливовим з трьох досліджуваних чинників;

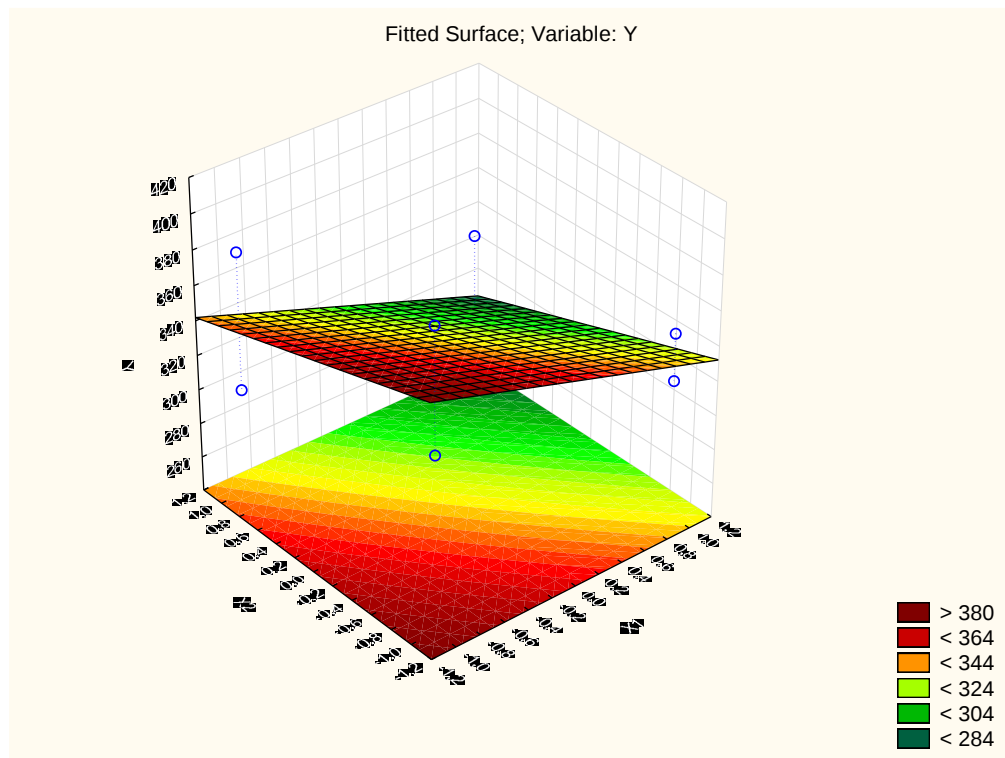


Рис. 3.7. Поверхня відгуку якості очищення від продуктивності і кута відкриття жалюзі

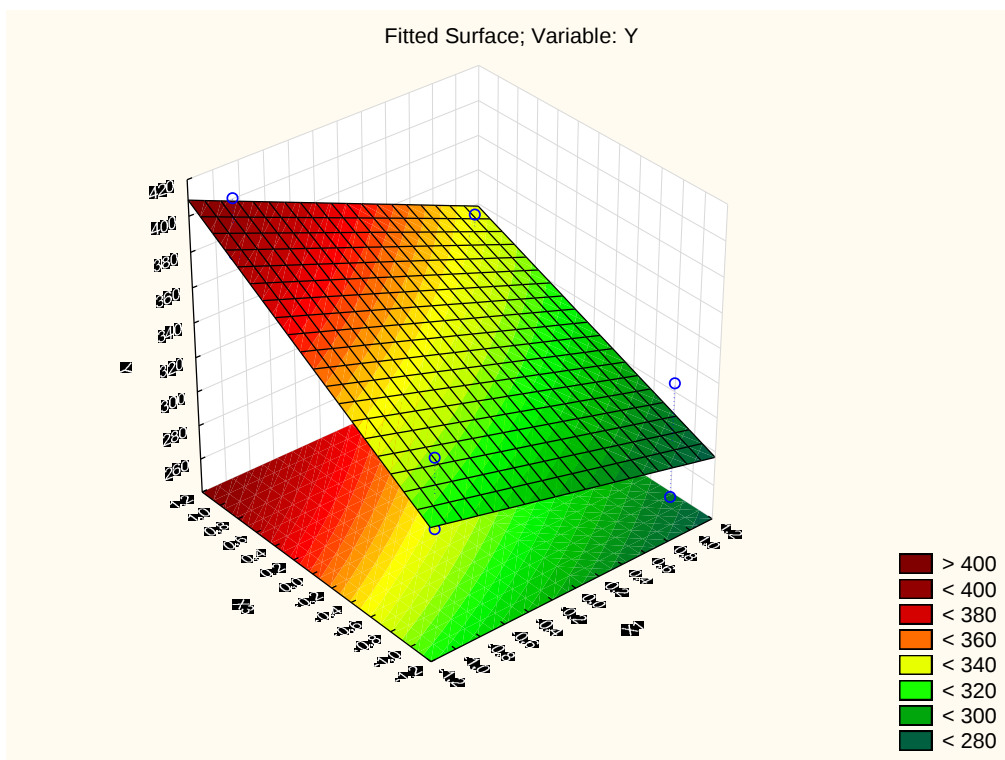


Рис. 3.8. Поверхня відгуку якості очищення від продуктивності і тиску в системі

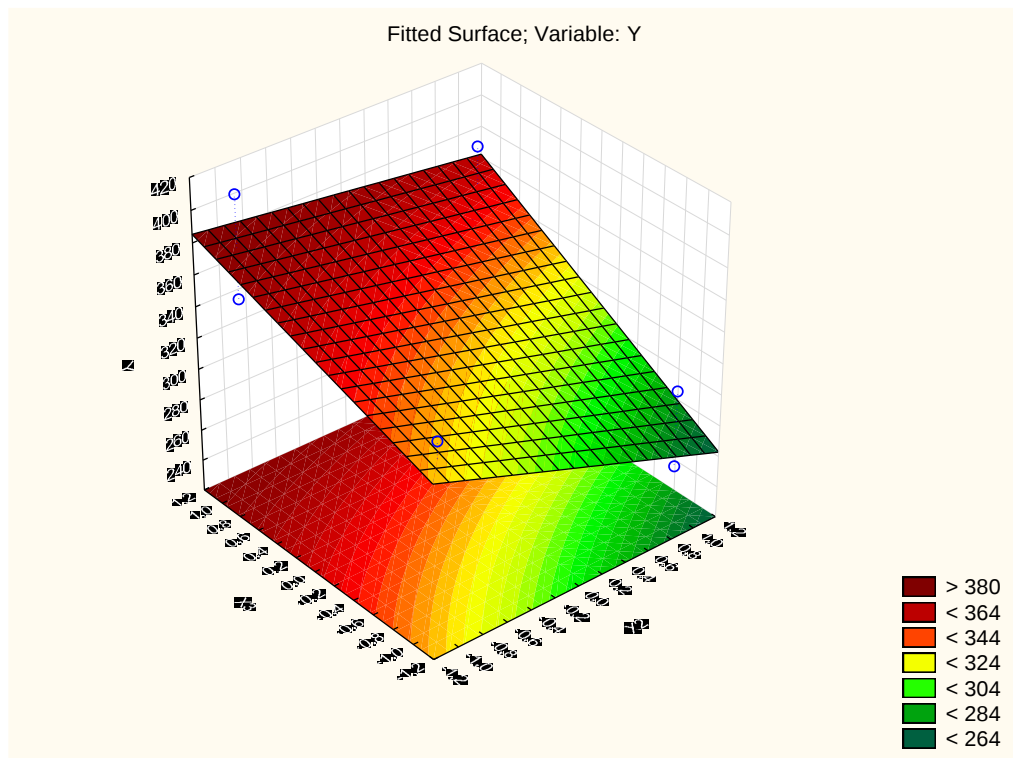


Рис. 3.9. Поверхня відгуку якості очищення від кута відкриття жалюзі і тиску в системі

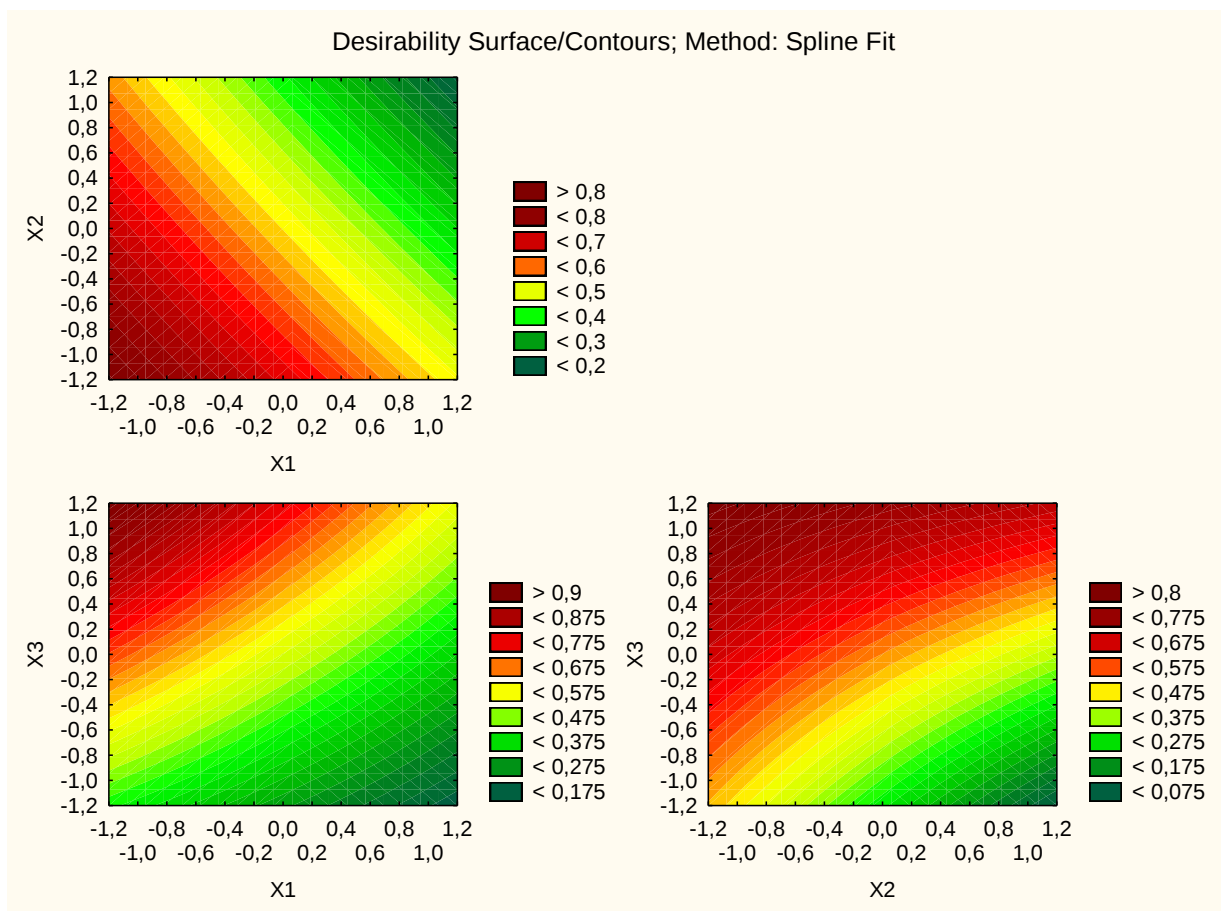


Рис. 3.10. Графіки ліній рівного виходу для ефективності очищення

- найбільш впливовим на процес видалення легких домішок виявився фактор «тиск у системі», який відповідає за взаємодію швидкості і витрати повітря у аспірації.

Оскільки середній вміст легких домішок становив 5,24%, то у вибірці масою 10 кг маса домішок склала 526 г.

Згідно отриманих графіків, граничне мінімальне масове значення виділення легких домішок становить 263 г, що складає 50% для попереднього очищення. Для первинного очищення граничне мінімальне масове значення виділення легких домішок становить 315,6 г – 60% від наявної маси.

Обґрунтування параметрів дослідного пневмосепаратора будемо виконувати виходячи саме з цих умов.

Висновки.

1. Використання запропонованого повітряного сепаратора зерна дозволяє здійснювати ефективне очищення вороху соняшнику.

2. Забезпечення вимог щодо якості попереднього очищення насіння соняшнику (повнота виділення легких домішок – не менше 50%) досягається встановленням параметрів: продуктивність – до 88 т/м²·год, кут відхилення жалюзі – 90...140° і тиск в системі – 6...15 мм. вод. ст.

3. Забезпечення вимог щодо якості первинного очищення насіння соняшнику (повнота виділення легких домішок – не менше 60%) досягається встановленням наступних параметрів: продуктивність – до 70 т/м²·год, кут відхилення жалюзі – 90...105° і тиск в системі – 12...15 мм. вод. ст.

4. Отримані результати справедливі для зернового вороху соняшнику, з середньою вологістю близько 14%, засміченістю легкими домішками до 5,24%.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проектні інженерні розрахунки жалюзійного повітряного каналу

На основі проведених досліджень, розробимо функціональну схему оригінального жалюзійного очисника зернового вороху (рис. 4.1).

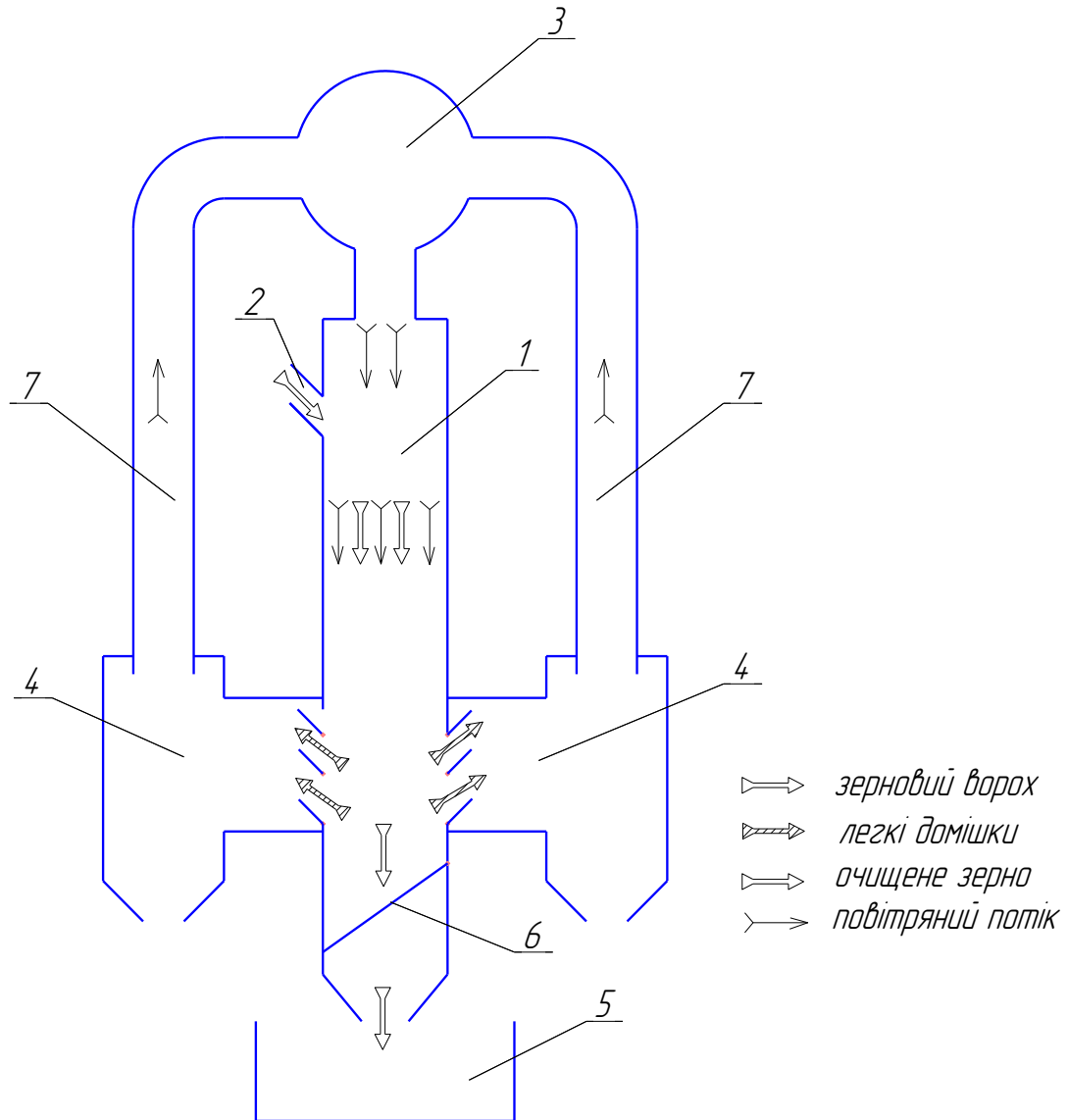


Рис. 4.1. Функціональна схема жалюзійного очисника зернового вороху:
1- жалюзійний канал, 2- живильник-дозатор, 3- вентилятор, 4- осадові камери, 5-приймальник очищеного зерна, 6- клапан.

Робота оригінального аспіратора відбувається наступним чином. При ввімкненні вентилятора, створюється замкнений повітряний потік, який циркулює у системі. При подачі зернового вороху, потік повітря його підхоплює, «розтягує» донизу. В зоні жалюзі, важкі частки під дією інерції

рухаються далі – до клапана 6, а легкі частки розвертаються і, разом з повітрям виносяться з повітряного каналу, осаджуючись в зоні збільшення перерізу – у осадкових камерах. Після досягненні «критичної» маси, клапан 6 відкривається і вивантажує зерно до приймальника 5, після чого знову закривається.

Регулювання подачі матеріалу у сепараторі відсутнє і визначається продуктивністю подавального транспортера, в якості якого доцільно використати ковшовий.

Регулювання швидкості повітряного потоку доцільно виконувати шляхом використання частотного перетворювача, за допомогою якого змінюється частота обертання вентилятора. Використання дросельних отворів, чи клапанів не доцільне, оскільки в зоні їх встановлення завжди відбувається неконтрольоване підсмоктування повітря, що негативно впливає на процес очищення зерна.

Розрахунки повітряного каналу виконаємо за умови забезпечення первинного очищення зерна, що передбачає повноту виділення легких домішок з вихідної маси – не менше 60%

Площа поперечного перерізу аспіраційного каналу (м^2) розраховується за формулою:

$$A = \frac{Q}{q_F}$$

де Q – бажана продуктивність, т/ год

$q_F = 70 \text{ т/ м}^2 \cdot \text{год.}$ – питома подача, визначена експериментально у розділі 3.

Для бажаної продуктивності $Q=10 \text{ т/год.}$, площа поперечного перерізу каналу становить

$$A = \frac{10}{70} = 0,142 \text{ м}^2$$

Найбільш ефективною формою перерізу жалюзійного сепаратора є кругла – і з технологічної точки зору, і з функціональної. Відсутність кутів дозволяє уникати значного перерозподілу епюр швидкостей у повітряному каналі.

Внутрішній діаметр найбільшого кільця жалюзі розрахуємо за відомою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,142}{3,14}} = 0,42 \text{ м}$$

Приймемо, згідно [20] конструктивно параметри жалюзійного робочого органу НП7-415 (рис. 4.2), наведені у таблиці 4.1.

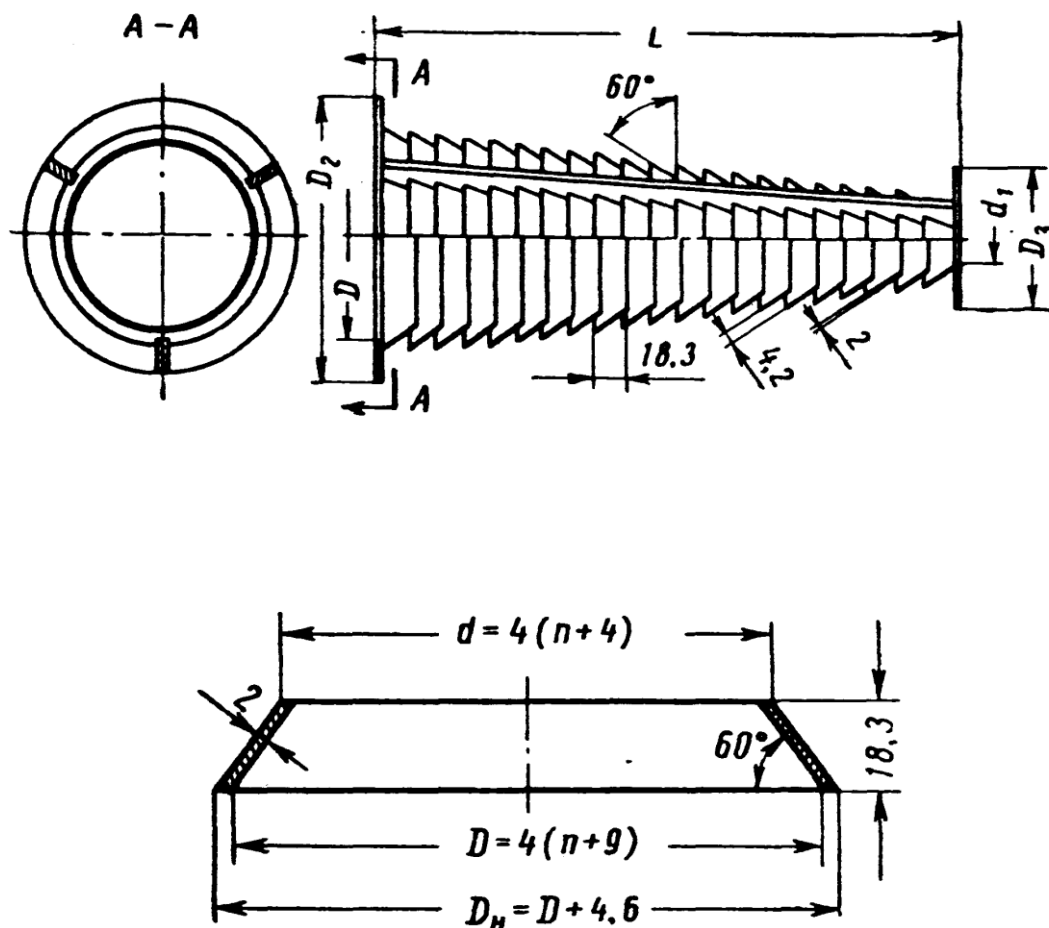


Рис. 4.2. До визначення параметрів жалюзійного сепаратора з конічними кільцями круглої форми

Таблиця 4.1

Параметри жалюзійного каналу з конічними кільцями круглої форми [20]
с. 106.

Діаметр вхідного отвору D_1	Діаметр вихідного отвору d_1	Кількість кільць	Діаметр великого фланця D_2	Діаметр малого фланця d_2	Загальна довжина L	Номери кільць
415 мм	86 мм	81	497 мм	173 мм	1298 мм	16-96

Опір жалюзійного каналу:

$$P = \frac{\xi \cdot \gamma \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

де $\xi=2$ – коефіцієнт опору жалюзійного пиловідокремлювача;

$\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – питома об'ємна вага повітря;

$V = 18\text{-}20 \text{ м/с}$ – швидкість повітря;

Таким чином, опір жалюзійного каналу буде

$$P = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 18^2}{2 \cdot 9,8} = 39,6 \text{ кг/м}^2$$

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі з жалюзійним аспіратором та заходи щодо їх запобігання

При експлуатації стаціонарного зерноочисного жалюзійного аспіратора на оператора діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік виробничих факторів

Група / фактор	Джерело виникнення
Фізичні: рухомі механізми та обертові частини	Робоче колесо вентилятора, ланцюги ковшового завантажувача, шнек вивантажувача чистого зерна, шлюзові затвори циклонів
Фізичні: ураження електричним струмом	Силова мережа 380/220 В, обмотки електродвигуна вентилятора, кабельні введення, пускова апаратура, металеві корпуси за пробою ізоляції
Фізичні: підвищена запиленість повітря робочої зони	Витоки із завантажувального бункера, нещільності з'єднань повітропроводів, шлюзових затворів циклонів
Фізичні: вибухонебезпечність аеропилової суміші	Накопичення зернового пилу всередині повітропроводів і циклонів за концентрації понад НКМВ $\approx 20\text{--}60 \text{ г/м}^3$
Фізичні: підвищений рівень шуму	Робота вентилятора, аеродинамічний шум у каналі, ковшовий завантажувач, шлюзові затвори
Фізичні: підвищений рівень вібрації	Дисбаланс робочого колеса вентилятора, биття приводних валів, ослаблення кріплень рами
Фізичні: розташування робочих місць на висоті	Обслуговування циклонів, верхньої частини елеватора, повітропроводів
Фізичні: недостатня освітленість	Природне затемнення приміщення, забруднення світильників пилом
Хімічні: токсичні домішки в зерновому пилу	Залишки пестицидів, мікотоксинів (афлатоксини, охратоксин А), гриби роду <i>Fusarium</i>
Біологічні: мікроорганізми та шкідники	Пліснява, бактерії, кліщі, пухойди в зерновій масі при підвищеній вологості
Психофізіологічні: фізичні та нервово-психічні перевантаження	Тривале перебування на ногах, монотонність контролю, шум, висока відповідальність за безаварійну роботу

5.2. Заходи щодо зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів

Захист від механічного травмування забезпечується конструктивними та організаційними засобами. Усі обертові деталі закриваються суцільними металевими огорожами, заблокованими з пусковою апаратурою таким чином, що зняття огорожі автоматично знеструмлює відповідний привод. Ревізійні люки на циклонах і кожусі вентилятора обладнуються електромагнітними блокувальними пристроями. Усі небезпечні зони позначаються попереджувальним фарбуванням та табличками «Обережно! Обертові частини». Регулювальні та ремонтні роботи виконуються лише при повністю зупиненому обладнанні, знеструмленому вступним апаратом, з вивішеним плакатом «Не вмикати – працюють люди».

Електробезпека реалізується сукупністю технічних рішень: занулення усіх металевих неструмопровідних частин обладнання, виконання захисного заземлення з опором не більше 4 Ом, встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) із струмом спрацьовування 30 мА на пульті керування, використання кабелів з подвійною ізоляцією, застосування діелектричних килимків і гумового взуття у зоні пускових пристроїв.

Захист від запиленості й вибухонебезпеки досягається ефективним пиловидаленням і дотриманням протипожежних режимів. Вузли можливого виділення пилу (завантажувальний бункер, шлюзові затвори циклонів, місця з'єднання повітропроводів) обладнуються місцевою аспірацією з продуктивністю, що забезпечує швидкість повітря у місцях відсосу не менше 0,5 м/с. Циклони підбираються таким чином, щоб запиленість повітря, що викидається в атмосферу, не перевищувала 50 мг/м³. Усередині приміщення концентрація зернового пилу контролюється і не повинна перевищувати ГДК (для борошністого пилу – 6 мг/м³, для рослинного – 4 мг/м³). Періодично проводиться вологе прибирання, не допускається накопичення осілого пилу шаром понад 5 мм. Електрообладнання, встановлене в зоні можливого пилоутворення, має ступінь захисту не нижче IP54, а для приміщень категорії Б за вибухопожежною небезпекою – виконання у вибухозахищеному виконанні (Ex). Оператор

забезпечується протипиловим респіратором ШБ-1 «Лепесток-200» або аналогічним з коефіцієнтом захисту не менше 200.

Зниження впливу шуму і вібрації передбачає балансування робочого колеса вентилятора у двох площинах (залишковий дисбаланс не більше класу G6.3 за ISO 1940), встановлення вентилятора на віброізолюючих опорах, з'єднання з повітропроводами через еластичні вставки, акустичну ізоляцію корпусу вентилятора. Рівні шуму на робочому місці оператора не повинні перевищувати 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99); за неможливості досягти цього обов'язковим є застосування протишумових навушників або берушів. Робочі місця виносяться у звукоізольовані операторські з оглядовим вікном.

Безпека робіт на висоті при обслуговуванні циклонів забезпечується стаціонарними сходами та оглядовими майданчиками з огорожею висотою не менше 1,1 м, бортовою смугою 0,15 м, нековзним покриттям; для епізодичних робіт використовуються переносні драбини, що відповідають вимогам НПАОП 0.00-1.71-13. Освітленість робочих поверхонь забезпечується на рівні не менше 200 лк (за ДБН В.2.5-28); світильники регулярно очищуються від пилу, передбачається аварійне освітлення.

Захист від хімічних і біологічних чинників включає вхідний контроль партій зерна на вміст пестицидів і мікотоксинів, дотримання режимів зберігання сировини (вологість, температура, аерація), дезінфекцію та дератизацію виробничих приміщень не рідше двох разів на рік, обов'язкове використання працівниками респіраторів, захисних окулярів і рукавиць. Для зменшення психофізіологічного навантаження організовуються регламентовані перерви тривалістю 10 хвилин кожні 2 години роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі нами проведено аналіз відомих вітчизняних і закордонних машин, що використовуються для пневматичної сепарації зерна: виявлено їх основні переваги і недоліки, вивчено конструктивні рішення.

На основі проведеного аналізу, здійснено розробку функціональної схеми оригінального пневматичного жалюзійного сепаратора зернового вороху соняшнику.

В ході проведення експериментальних досліджень вивчено основні фізико-механічні властивості зернового вороху соняшнику, його фракційний склад.

Шляхом проведення повного трифакторного експерименту встановлено, що використання запропонованого повітряного сепаратора зерна дозволяє здійснювати ефективне очищення вороху соняшнику.

Обґрунтовано його основні конструктивні та технологічні параметри, зокрема:

- забезпечення вимог щодо якості попереднього очищення насіння соняшнику (повнота виділення легких домішок – не менше 50%) досягається встановленням параметрів: продуктивність – до 88 т/м²·год, кут відхилення жалюзі – 90...140° і тиск в системі – 6...15 мм. вод. ст.;
- забезпечення вимог щодо якості первинного очищення насіння соняшнику (повнота виділення легких домішок – не менше 60%) досягається встановленням наступних параметрів: продуктивність – до 70 т/м²·год, кут відхилення жалюзі – 90...105° і тиск в системі – 12...15 мм. вод. ст.;
- отримані результати справедливі для зернового вороху соняшнику, з середньою вологістю близько 14%, засміченістю легкими домішками до 5,24%.

У практичному розділі встановлено основні геометричні параметри жалюзійного каналу і визначено його опір.

В розділі «Охорона праці» проаналізовані небезпеки при роботі з зерноочисним агрегатом і запропоновані заходи щодо їх усунення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. - Кіровоград: КНТУ, 2006. - С. 111-114.
2. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. – Мелітополь, 2006. – Вип. 39 – С. 161–165.
3. Огляд і напрямки вдосконалення пневмосепаруючих робочих органів ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2007. – Вип. 37. – С. 99–104.
4. <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/separatory-zernoochistitelnye/?from=723>
5. <https://ismgrain.com.ua>
6. <https://bcs-service.com.ua/uk/>
7. https://llc-orientway.com.ua/shop/vtorinne_ochischennya/aspiratsiyna-sustema/
8. <http://www.aeromeh.com/ukr/sad7/>
9. <https://agrosepmash.ua/uk/>
10. Антоновський В., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини ОВС-25. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 64-65.
11. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.

12. 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.
13. Лещенко С.М. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей / С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, В.В. Гончаров // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. – Луцьк: ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. – С. 230–234.
14. Попередні дослідження альтернативних джерел створення повітряного потоку в пневмоінерційних зерноочисних машинах / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2009. – Вип. 39. – С. 126–132.
15. Бендера І. М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / І. М. Бендера, та ін.; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. - Кам'янець-Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. - 639 с
16. 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.
17. Васильковський М.І. Теоретичні основи процесів очищення зерна в пневмосепаруючих каналах / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2018. – Вип. 45. – С. 14-21.
18. Васильковський О. М. Результати експериментальних досліджень відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, Д. І.

Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – С. 54–56.

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

20. Сисолін П. В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. Кн.3. К.: Фенікс. 2007. 364 с.

21. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника / Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. - Х.: Мачулін, 2016 - 204 с.

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

23. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.

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

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

26. Нестеренко О. В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна./ О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація . - 2012. - Вип. 25(1). - С. 49-53.
27. Огляд і напрямки вдосконалення пневмосепаруючих робочих органів ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2007. – Вип. 37. – С. 99–104.
28. Петренко Д.І. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. - 2013. - Вип. 43 (2). - С. 230-237.

ДОДАТКИ