

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробних і харчових
виробництв»

_____ Цвіркун Л.О.
«_____» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ СЕПАРАТОРА ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО
ПОДІЛУ СИПУЧОЇ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ НА ФРАКЦІЇ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Камінський Олександр Олексійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ доцент, к.пед.н., Цвіркун Л.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробних і харчових виробництв»

Цвіркун Л.О.
« » 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Камінському Олександрю Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення сепаратора для механічного
поділу сипучої харчової сировини на фракції»

Керівник роботи к.пед.н., Цвіркун Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від
«31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для поділу харчової сировини.
3. Оптимізація конструкції вібраційного сепаратора для зернової сировини.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Обладнання для сортування зернової сировини.

Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для поділу харчової сировини	16.02.2026-10.03.2026
3	Оптимізація конструкції вібраційного сепаратора для зернової сировини	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Камінський О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 2 таблиці, 16 рисунків. Список використаних джерел складається з 23 найменувань.

Об'єкт роботи – вібраційний сепаратор.

Предмет роботи – процес сортування зернової сировини.

Мета роботи – удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції.

У роботі зазначено, що відокремлення одного або кількох компонентів із складної суміші є важливим процесом в харчовій промисловості. Розділення та класифікація зернової сировини на різні фракції досягається за допомогою процесу просіювання, який визначається як механічний метод розділення шляхом використання просіювальних машин, а саме сепараторів.

На основі аналізу, було зазначено, що сепаратор – це спеціалізована машина, яка використовується для розділення маси зерна на фракції з різними властивостями. Він працює за принципом розділення сировини за розміром, формою, щільністю або аеродинамічними характеристиками.

Запропоновано конструкцію модифікованого вібраційного сепаратора для зерна з урахуванням властивостей сировини. Для цього було обґрунтовано підсистеми вібраційного сепаратора: система подачі, система очищення зернової оболонки, система сортування, а також додаткові підсистеми. Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування;

- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерновою сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

Система очищення зернової оболонки (не є обов'язковим компонентом). За необхідності, якщо потрібно здійснити попереднє очищення зернової сировини можуть бути встановлені ролики з твердої гуми перед системою сортування. Принцип очищення полягає в тому, щоб пропустити два обертові гумові ролики в протилежних напрямках з різною швидкістю після чого зерна впадуть для подальшого сортування.

Задля проєктування вібраційного сита для зерна розміри типових зерен були виміряні за допомогою цифрового штангенциркуля. На основі отриманих параметрів було обрано кілька сит на основі середнього розміру насіння соняшнику. Вібраційний ситовий апарат був спроектований так, щоб в нього можна було вставити декілька різних сит, наприклад, грубе зверху і дрібніші знизу, що дозволить зерну проходити через грубе сито, а більші насінини та інші небажані частки видалятимуться. Здійснено моделювання навантаження на сито. Інтерпретовано результати дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сепаратор, сортування, вібраційне сито, моделювання, зерно, очищення, вібрація.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДІЛУ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ	7
1.1 Методи розділення харчових компонентів	7
1.2 Класифікація сепараторів за принципом сортування	10
1.3 Способи сепарування зернової сировини	19
1.4 Рух частинок у сепараційному обладнанні	20
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ	22
2.1 Системи сортування з механічною вібрацією	22
2.2 Удосконалення вібраційного сепаратора для зерна	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Проектування вібраційного сита	40
3.2 Моделювання навантаження на сито	42
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	48

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції				Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Камінський									
Перевір.		Цвіркун								5	1
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
Н. Контр.		Омельченко									
Затверд.		Цвіркун									

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що відокремлення одного або кількох компонентів із складної суміші є важливим процесом в харчовій промисловості. Розділення та класифікація зернової сировини на різні розміри досягається за допомогою процесу просіювання, який визначається як механічний метод розділення шляхом використання просіювальних машин, а саме сепараторів. Усі процеси відокремлення ґрунтуються на використанні відмінностей у фізичних або хімічних властивостях суміші компонентів.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що сепаратор – це спеціалізована машина, яка використовується для розділення маси зерна на фракції з різними властивостями. Він працює за принципом розділення сировини за розміром, формою, щільністю або аеродинамічними характеристиками.

Запропоновано конструкцію модифікованого вібраційного сепаратора для зерна з урахуванням властивостей сировини. Для цього було обґрунтовано підсистеми вібраційного сепаратора: система подачі, система очищення зернової оболонки, система сортування, а також додаткові підсистеми. Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування;

- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерною сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

Система очищення зернової оболонки (не є обов'язковим компонентом). За необхідності, якщо потрібно здійснити попереднє очищення зернової сировини можуть бути встановлені ролики з твердої гуми перед системою сортування. Принцип очищення полягає в тому, щоб пропустити два обертові гумові ролики в протилежних напрямках з різною швидкістю після чого зерна впадуть для подальшого сортування.

Задля проєктування вібраційного сита для зерна розміри типових зерен були виміряні за допомогою цифрового штангенциркуля. На основі отриманих параметрів було обрано кілька сит на основі середнього розміру насіння соняшнику. Вібраційний ситовий апарат був спроектований так, щоб в нього можна було вставити декілька різних сит, наприклад, грубе зверху і дрібніші знизу, що дозволить зерну проходити через грубе сито, а більші насінини та інші небажані частки видалятимуться. Здійснено моделювання навантаження на сито. Інтерпретовано результати дослідження.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Камінський			Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Цвіркун								6	1	
Н. Контр.		Омельченко						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Затверд.		Цвіркун										

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДІЛУ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

1.1 Методи розділення харчових компонентів

Відокремлення одного або кількох компонентів із складної суміші є необхідністю для багатьох процесів у харчовій промисловості. Компоненти, про які йде мова, варіюються від частинок до дрібних молекул. Зазвичай метою відокремлення є видалення певних компонентів для збільшення доданої цінності продуктів, якою може бути залишок, екстраговані компоненти або обидва варіанти. Усі процеси відокремлення ґрунтуються на використанні відмінностей у фізичних або хімічних властивостях суміші компонентів. Деякі з більш поширених властивостей, що беруть участь у процесах відокремлення, включають розмір і форму частинок або молекул, густину, розчинність та електростатичний заряд. У деяких процесах залучено більше ніж одну з цих властивостей. Однак більшість процесів мають фізичний характер.

Розділення компонентів у суміші завжди базується на відмінності фізичних властивостей між компонентами суміші. Залежно від природи або фізичного механізму розділення різні процеси можна класифікувати [3, 4]:

- механічне розділення – розділення, засноване на різниці розмірів або щільності різних компонентів у суміші, наприклад, для розділення твердого від рідкого (наприклад, фільтрація та центрифугування);

- дифузійне розділення (операції масообміну, які забезпечують перенесення молекул розчиненої речовини з однієї точки в іншу або з однієї фази в іншу) – розділення, засноване на русі молекул до сприятливої фази, для розділення розчинених компонентів (наприклад, дистиляція, абсорбція, екстракція);

- мембранне розділення – використання напівпроникної мембрани для розділення молекул за розміром або іншими властивостями. Відносини фазової рівноваги є теоретичною базою для більшості процесів розділення, що залежать від масообміну між фазами.

Серед поширених процесів сепарації є випарювання, дистиляція, абсорбція, кристалізація, фільтрація, центрифугування, сушіння та мембранні процеси. Процеси сепарації в основному базуються на фізичних методах, а деякі на фізико-хімічних.

Випаровування – це втрата або зникнення рідини внаслідок випаровування. У харчовій процес випаровування полягає у концентруванні розчину (нелеткого розчиненого компонента) або у відділенні леткого розчинника від нелеткого розчиненого компонента шляхом випаровування та видалення частини розчинника (здебільшого води). У процесі випаровування

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції				Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Камінський									
Перевір.		Цвіркун									
Н. Контр.		Омельченко									
Затверд.		Цвіркун			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО						

рідкий розчин зазвичай нагрівають до кипіння за допомогою пари. Швидкість випаровування пропорційна швидкості теплопередачі. Тому основна частина більшості випарників подібна до теплообмінника.

Фільтрація та центрифугування (розділення тверде-рідина) Фільтрація – це механічне розділення твердих частинок від рідини шляхом пропускання рідини через фільтрувальний матеріал або перегородку, на якій осідають тверді частинки. Традиційні системи фільтрації відокремлюють тверді частинки від рідин на основі розміру частинок [3]. Рідка складова проходить через пористу мембрану або перегородку, яка утримує тверду речовину або у вигляді фільтрувального шару на верхній поверхні, або всередині своєї структури, або в обох випадках. Фільтрувальний матеріал може бути твердим, таким як металеві сітки або пориста кераміка, або гнучким, таким як тканини і доступний у різних геометричних формах та з різними розмірами пор. На практиці потік фільтрату може забезпечуватись силою тяжіння, прикладанням тиску, більшого за атмосферний, на вході фільтра (фільтрація під тиском), застосуванням вакууму на виході (вакуумна фільтрація) або за допомогою відцентрової сили (центрифугування).

Фільтрація знаходить застосування у харчовій промисловості. Цукрові соки з буряка фільтрують, щоб видалити високі рівні нерозчинних твердих речовин, а пізніше їх часто додатково прояснюють. Фільтрація використовується на різних етапах рафінування харчових олій. У пивоварній промисловості проводять фільтрацію сусла, відновлення дріжджів після ферментації та прояснення пива. Фільтрацію також застосовують при виробництві численних продуктів харчування, наприклад оцту, крохмалю та цукрових сиропів, фруктових соків, вина, розсолів для консервування [3, 4]. Останнім часом були введені мембрани з набагато меншими порами. Мікрофільтрація передбачає видалення дуже дрібних частинок або розділення мікроорганізмів та стерилізацію рідин. Мембрани ультрафільтрації дозволяють пропускати воду та компоненти з низькою молекулярною вагою у рідині, але відхиляють макромолекули, такі як білок або крохмаль. Тверді речовини можна відділяти від рідин на основі розміру та щільності частинок за допомогою відстоювання або центрифугування. Відстоювання є повільним процесом, оскільки залежить від впливу гравітації, але широко використовується у процесах очищення води та стічних вод.

Центрифугування розділяє матеріали різної щільності за допомогою сили, що перевищує силу тяжіння. Інтенсивність центрифугування зазвичай визначається як співвідношення центрифужної сили до сили тяжіння. Центрифугування – найпростіший метод розділення несумісних рідин різної щільності. Оскільки потоки важкої та легкої рідини безперервно видаляються, операцію можна виконувати безперервно. Зазвичай для розділення рідин рідин використовують центрифуги трубчастого або дискового типу. Основні застосування включають відділення вершків від молока та зневоднення олій на різних етапах рафінування. Суспензія нерозчинних твердих частинок (не більше близько 1%) піддається циклічному руху у чаші, що створює для частинок центробіжну силу, багаторазово перевищуючу силу тяжіння.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Щільніші тверді частинки затримуються на внутрішній поверхні чаші, тоді як рідина відводиться через центр. Альтернативним варіантом є використання фільтрувальної центрифуги, у якій стінки чаші перфоровані і рідина витісняється через ці стінки. Розмір перфорацій визначає, яка частина твердих частинок буде затримана в чаші. Існують різні конструкції центрифуг для численних застосувань, таких як видалення твердих частинок із молочних рідин, олій, соків, напоїв, бражок ферментації або для зневоднення кристалів цукру та кукурудзяного крохмалю. Такі розділення можуть проводитися пакетним способом, хоча доступні також автоматичні та безперервні центрифуги.

Фільтрація проти центрифугування:

- обидва методи належать до механічного розділення, тверде від рідини;
- фільтрація базується на розмірі частинок;
- центрифугування базується на різниці густини (використовується для розділення рідина-рідина).

При центрифугуванні жир можна відокремити від води через різницю їхньої густини шляхом прикладання центрифужної сили. У фільтрації існує фізичний бар'єр для перенесення певних компонентів і рідина проходить через бар'єр під тиском, тоді як тверді частинки затримуються. Спротив потоку буде змінюватися протягом усього процесу фільтрації через накопичення твердих часток. Основною рушійною силою цих застосувань є тиск і різниця щільностей. Як і для всіх процесів, швидкість розділення дуже важлива і на неї впливає величина залучених рушійних сил.

Більшість твердих продуктів харчування мають частинкову структуру, причому частинки можуть мати різноманітні форми та розміри. Відділення, що включають тверді речовини поділяються на дві категорії. Перша – це випадки, коли необхідно відокремити або сегрегувати частинки. Такі процеси класифікуються як відділення твердого від твердого. Друга – це випадки, коли потрібно вибірково видалити один або кілька компонентів із твердого матеріалу. Можна досягти сепарації на основі розміру частинок – від сортування великих одиниць харчових продуктів до молекулярного рівня [3, 4]. Форма та інші фактори, такі як електростатичний заряд або ступінь гідратації, також можуть впливати на ці сепарації. Просіювання матеріалів через перфоровані решітки дає матеріали більш однорідного розміру частинок. Просіювання сприяє сортуванню та класифікації багатьох харчових продуктів, зокрема фруктів, овочів та зернових. Видалення пилу – це усунення дрібнозернистих забруднень із більших частинок, наприклад бобів або зернових. Існує широкий спектр геометричних конструкцій, включаючи плоскі та обертові сита з фіксованими отворами, а також доступні численні конструкції зі змінними отворами.

Різницями в аеродинамічних властивостях можна користуватися при очищенні, сортуванні та калібруванні твердої харчової сировини (наприклад, зернових, гороху, борошна) у сухому стані. Було розроблено багато конструкцій аспіраторів у яких сировина подається на повітряні потоки контрольованої швидкості, де відбувається розділення на дві або більше

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

фракцій. Альтернативно, різниці у гідродинамічних властивостях можна використовувати при сортуванні продуктів, таких як яблука або горох. Поєднання розміру часток та їхньої густини може використовуватися для розділення твердих частинок шляхом осадження. Якщо тверді частини знаходяться у зваженому стані у рідині (рідини або газі), розділення можна здійснювати на основі того, що більші та більш щільні частки осаджуються швидше, ніж менші та менш щільні.

Зернові можуть очищатися та сортуватися за формою для видалення забруднень подібного розміру. До прикладів цього належать дискові та циліндрові сортувальні машини, які використовують заглиблення певної форми для підбирання відповідних частинок сировини. Також доступний ряд обладнання для розділення харчових одиниць за фотометричними, магнітними та електростатичними властивостями. Червоні та зелені помідори або почорнілі боби чи горіхи можуть автоматично відокремлюватися за властивостями відбивання світла. Магнітне очищення використовується для видалення частинок заліза з продуктів харчування, а отже, для захисту як споживача, так і технологічного обладнання. Електростатичні властивості можуть бути використовані для відокремлення насіння, яке може бути схожим за розміром та формою, або для очищення чаю.

Багато рослинних матеріалів містять цінні рідкі компоненти, такі як олії або соки у клітинній структурі. Альтернативною системою для відновлення компонентів із твердого матриксу є екстракція, яка ґрунтується на використанні диференційної розчинності для вилучення розчинних твердих речовин, таких як цукор із цукрових буряків, кава з обсмажених мелених зерен, соки з фруктів і овочів та з матеріалів під час виробництва розчинного чаю [3, 4]. Відокремлення може відбуватися від рідини, тобто речовини, яка тече під час зсувного навантаження. Важливою фізичною властивістю є в'язкість рідини, яка визначається як співвідношення зсувного напруження до швидкості зсуву. Тверді компоненти можуть бути розчинені в рідині у колоїдній дисперсії або в суспензії. Наприклад, молоко містить лактозу, мінерали та сироваткові білки у справжньому розчині, казеїн і кальцієм фосфат як колоїдну дисперсію, а жирові кульки розповсюджуються у водній фазі. Також може бути осад, що утворюється від інших забруднювачів молока.

1.2 Класифікація сепараторів за принципом сортування

Сортування здійснюється за допомогою обладнання, яке є специфічне для кожного продукту або категорії продукту. Воно базується на критеріях, зазначених у таблиці 1.1. Більшість механічних сортувальників засновані на розмірі матеріалів але деяке обладнання використовує різниці у формі, щільності та властивостях поверхні продуктів, що підлягають сортуванню. Сита (плоскі або барабанного типу) широко використовуються для сортування різних зерен, насіння та інших продуктів відносно невеликого розміру. Нахилені сита, розташовані одне над одним з горизонтальними та вертикальними коливаннями, ефективні при сортуванні зерна та насіння.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Поверхневі характеристики, на відміну від форми, впливають на коефіцієнт опору повітряного потоку, коли для розділення використовується струмінь повітря.

Таблиця 1.1 – Критерії сортування сировини

Показники	Критерії
Фізичні	Розмір, вага та форма
Технологічні	Відповідності або сумісності з наявним обладнанням
Комерційні	Привабливість, традиція, різноманіття, користь, ціна
Органолептичні	Текстура, колір, аромат, смак, стиглість чи свіжість

Різні типи сортувальників на основі їх принципу сортування наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація сортувальників за принципом їх сортування

Показники	Обладнання
Розмір і форма	Спіральний сепаратор, дисковий та жолобчастий циліндровий сепаратор
Питома вага	Сепаратор за питомою вагою, камнеочисник
Аеродинамічна властивість	Пневматичний/аспіраторний сепаратор, сепаратор з псевдозрідженим шаром, циклонний сепаратор
Магнітна властивість	Магнітний сепаратор
Оптична властивість	Сортувальник кольорів

Важко чітко розмежувати процеси очищення та сортування, оскільки вони виконуються одночасно з іншими загальними процедурами. Операції з очищення та сортування продуктів здійснюються шляхом використання відмінностей у технічних властивостях матеріалів, які можуть використовуватися як для харчових, так і для насінневих цілей [5-8]. Не можна чітко розділити очищення та сортування зерна, оскільки цей процес здійснюється одночасно, а процедури є спільними для обох. Очищення за розміром, сортування та часткове або, можливо, остаточне сортування або класифікація продуктів, що розглядаються, базуються на наступних характеристиках: форма, відносна густина, поверхневі характеристики. Перші три є найважливішими.

Основна мета будь-якого сита полягає в тому, щоб розділити суміш частинок/елементів різного розміру на дві окремі фракції. Ці фракції є просіяними частинками, що проходять через сито та надлишковими матеріалами, які затримуються на сітці. Сітку можна вважати ідеальною, якщо вона розділяє суміш таким чином, що найбільший частинка продукту під

сіткою трохи менша за отвір сітки, тоді як найменша частинка продукту над сіткою трохи більша за отвір сітки. Але на практиці дана сітка не забезпечує ідеального розділення, як зазначено вище, і називається фактичною сіткою. Продукт під сіткою може містити матеріал грубіший за розмір отвору сітки, тоді як продукт над сіткою може містити частинки менші за розмір отвору сітки. У більшості сит зерно/насіння падає через отвір сита під дією сили тяжіння. Великі зерна швидко і легко проходять через великі отвори на нерухомій поверхні. Для дрібніших частинок екранувальну поверхню потрібно якимось чином рухати. Поширеними способами є: обертання циліндричного сита навколо горизонтальної осі та коливання або вібрація плоских сит.

Плоскі сита складаються з плоских просіювальних поверхонь різних розмірів сітки, розташованих вертикально або в лінію й зазвичай під нахилом, які можуть розділяти та сортувати різні тверді частинки. Плоскі сита зазвичай вібрують на 600-7000 ходів за хвилину і вони здатні відділяти частинки розміром до 400 сіток (381 мкм). Вібросита може бути вертикальним або горизонтальним (тряска або зворотно-поступальний рух) [5-8]. При вертикальній вібрації найкраще просіювання досягається, коли виникає резонансна вібрація і відсутній контакт між рухомим зерном і ситом. Зворотно-поступальні сита трохи нахилені і вібрують з частотою 30-1000 ходів/хв, розділяючи частинки в діапазоні 0,2-25 мм. Ширина сита впливає на продуктивність системи (кг/год), тоді як довжина значно впливає на ефективність просіювання (сепарації). Типові робочі характеристики плоских сит: продуктивність 10-80 тон/год, а розміри сита – 75 см x 150 см до 200 см x 365 см, потужність двигуна 2-10 кВт. Розміри сортувального обладнання, що складається з 30 сит, становлять приблизно 3 м x 4 м x 2,5 м, а вага – близько 5-6 тон.

Перфоровані металеві екрани (сита) мають круглі отвори в перфорованому листовому металі, які вимірюються діаметром отворів. Наприклад, один екран має круглі перфорації діаметром 18 мм. Подовжені або щілинні отвори в перфорованому листовому металі позначаються двома розмірами: шириною та довжиною отвору. При згадуванні подовжених отворів спочатку вказується ширина, потім довжина, наприклад 1,8 x 20 мм. Загалом напрямок подовженого отвору розташовується вздовж напрямку потоку зерна через екран. Існують дві різні системи вимірювання трикутних перфорацій, де найбільш поширена система передбачає вказування довжини кожної сторони трикутника в мм, тобто трикутник 9 мм має 3 рівні сторони довжиною по 9 мм. Друга система передбачає вказування отворів за діаметром в мм, який може вписатися всередину трикутника [5-8]. Горизонтальні сита є особливим випадком вібраційних сит, бо вони розроблені для роботи при низькій висоті та працюють абсолютно рівно, без допомоги гравітації. Весь процес сортування, стратифікації та транспортування матеріалу відбувається завдяки різкому фронтальному поштовху, який надає частинкам руху схожого на траєкторію снаряда, тоді як зворотний хід витягує деку з-під шару матеріалу. Ефективність цих сит вища, оскільки матеріал залишається на ситі протягом більш тривалого часу порівняно з нахиленими ситами.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Вібраційні сита приводяться в рух ексцентричним механізмом коли матеріали, які потрібно розділити укладаються на вібраційне сито, а через його вібрацію матеріали також збиваються та розділяються під час руху по ситі. Ексцентриситет зазвичай буває двох типів: вал до якого прикріплені зсередини зміщені вантажі та вал, який сам є ексцентричним або зміщеним від центру. У другому випадку ексцентриситет врівноважується маховиком для забезпечення рівномірної вібрації [5]. Більшість вібраційних сит нахилені вниз від місця завантаження. Вібрацію подають лише на збірку сита, а корпус та інші навколишні конструкції ізолюються від вібрації. Зазвичай у вібраційних ситах використовують до трьох ярусів. Продуктивність вібраційного сита вища, ніж у будь-якого іншого сита аналогічного розміру екрана і дуже популярний для очищення та сортування зернистих сільськогосподарських продуктів.

Вібраційний сепаратор виконує сортування виключно за розміром. Суміш зерна та сторонніх домішок висипають на поверхню, яка вібрує або вручну або механічно. Один грохот може розділяти матеріал на два фракції, де блок може складатися з двох або більше сіток залежно від потреб очищення (рис. 1.1). Продукти для сортування завантажуються з бункер подачі на верхній східчастий жолоб найвищого сита. Сито може бути або щілинним або з круглими отворами, залежно від того, яке перше сортування потрібно здійснити та від гнучкості машини [5-8]. Під час роботи сита рухаються вперед і назад, де всі сита в одному блоці рухаються одночасно в одному напрямку. Рух змушує продукти переміщуватися вниз по похилих ситах до вихідних патрубків. Продукт, який більший за отвори будь-якого конкретного сита залишається на поверхні сита і вивантажується в кінці сита. Продукт, який менший за отвори під дією сили тяжіння проходить через нього і осідає на поверхню наступного нижчого сита в машині. Процес просіювання триває доки продукти не набудуть відповідного розміру та не будуть вивантажені відповідно до типів та розмірів сит у машині.

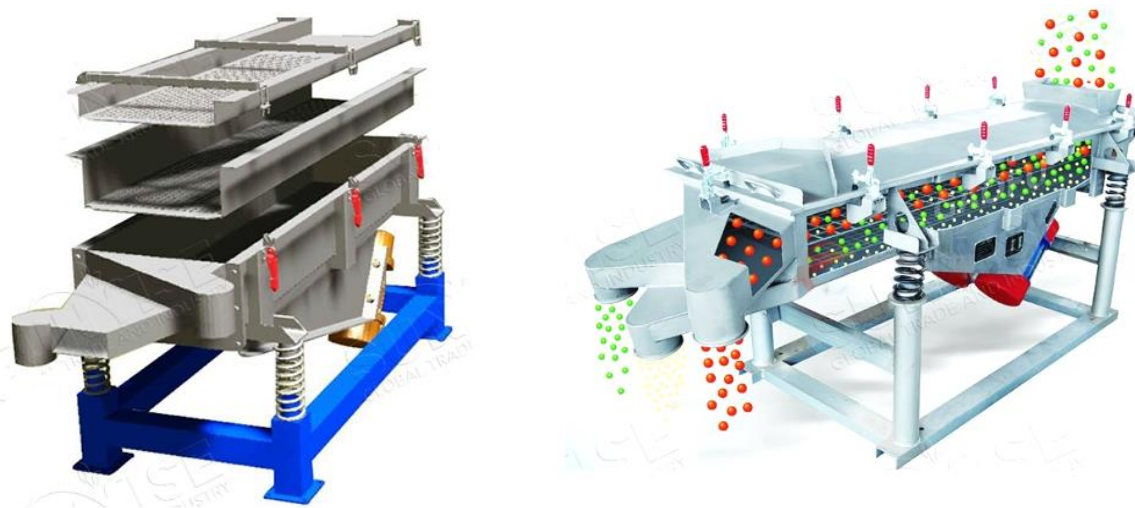


Рисунок 1.1 – Вібраційний сепаратор

Ситовий блок складається з подвійних або множинних (до 8 штук) сит, які натягнуті разом і підвішені на тримачах таким чином, що вони здійснюють горизонтальні коливальні рухи та трохи вертикальні рухи. Ці два рухи разом

переміщують зерно вниз по сити і одночасно підкидають його достатньо вище сита, щоб зернова маса добре перемішувалася. Кут нахилу сита регулюється для контролю швидкості переміщення зерна вниз. Сита доступні в різних формах, таких як круглі, трикутні або з прорізними отворами [7-9]. Іноді отвори сита забиваються, коли машина здійснює тонке сортування. Щоб уникнути забивання, сита зазвичай оснащені щіткою, яка рухається під ситом і повертає забитий матеріал назад через сито. Для досягнення точного та ефективного розділення частинок різного розміру машину необхідно правильно налаштувати. Швидкість подачі та інтенсивність вібрації – це два налаштування, які характерні для всіх сепараторів цього типу.

Машини з регульованою швидкістю подачі, зазвичай обладнані роликом подачі або заслінкою для регулювання швидкості, що дозволяє точно дозувати продукт на верхній сітці. При правильному налаштуванні потік насіння на сітці, що несе найбільше навантаження продукту повинен бути в один шар. Частота вібрацій контролює швидкість з якою продукт проходить через машину. Загалом, чим швидша частота вібрацій, тим швидше проходження продукту. Проте частота вібрацій також впливає на точність сепарації [1, 2]. Повільна частота вібрацій призводить до забивання отворів сита, що дозволяє частині продукту проходити всю довжину сита, не контактувавши з вільним отвором. Навпаки, висока частота вібрацій змушує продукт «стрибати» або «перескакувати» по сити, не затримуючись достатньо довго або часто, щоб правильно проходити сортування за розміром. Щоб визначити оптимальну частоту вібрацій, слід перевірити продукти, що вивантажуються, на однорідність розміру, після чого визначити вимоги до продуктивності та відповідно внести коригування.

Циліндричний сепаратор складається з горизонтального обертового циліндра, де на внутрішній поверхні якого є виїмки. Виїмки розташовані щільно одна до одної і мають напівсферичну форму. Коли суміш зерна подається в один кінець циліндра, коротке зерно піднімається завдяки поєднаному ефекту входження в виїмки та відцентрової сили [1, 2]. Зерно розміщують в регульований жолоб всередині циліндра поблизу верхньої частини обертання. На дні жолоба встановлений шнековий конвеєр, який переміщує матеріал. Зазвичай циліндр тримають під невеликим нахилом, щоб полегшити самоплив зерна всередині циліндра. Циліндри з відборами різних розмірів доступні, але розмір всіх відборів у конкретному циліндрі однаковий.

Для різних потреб сортування необхідно змінювати циліндр з відборами. Швидкість роботи циліндра та положення регульованого жолоба є важливими налаштуваннями для досягнення бажаного рівня сортування. Оскільки відцентрові сили допомагають переміщати зерно в відборах, вони впливають на відстань, яку зерно проходить перед падінням. Надмірна швидкість не дозволить зерну випасти з відборів. Занадто мала швидкість не підніматиме коротке зерно з суміші. Положення краю відділення регульованого жолоба має бути таким, щоб воно могло захоплювати бажану фракцію падаючого зерна.

Продукти, які потрібно очистити подаються у верхній або живильний кінець обертового циліндра. Оскільки всі западини в одному циліндрі

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

однакового типу й розміру то усі западини піднімають практично однакові частинки. Короткий продукт або частинки потрапляють у западини, коли ті проходять під зерновим банком у циліндрі. Вони піднімаються й утримуються в западинах до того моменту поки сила тяжіння не перевищує відцентрову силу, після чого вони падають у приймальний жолоб [7-8]. З приймального жолоба вони виводяться з машини, де довгі продукти проходять всю довжину циліндра й виводяться через сповільнювач у бункер, який видаляє їх із машини. Наприкінці роздільника циліндра зазвичай накопичується велика кількість дрібних частинок, а саме дві або три з яких можуть одночасно потрапити в одну западину. У міру їх зменшення проміжні розміри піднімаються з маси приблизно в середині довжини циліндра. На хвостовому кінці циліндра здійснюється остаточний і найважливіший відбір за розміром за допомогою западин.

Відбортовані циліндри працюють за принципом центробіжної сили за яким швидкість обертання циліндра утримує коротші насіння в заглибленні, піднімаючи їх із маси до того моменту, коли заглиблення перевертаються настільки, що сила тяжіння змушує підняті частинки випасти з заглиблень. Необхідно контролювати швидкість подачі, бо якщо швидкість занадто повільна то виникає проблема недосягнення потужності. Якщо швидкість занадто швидка та можливо недостатньо часу виділяється на очищення. Проте, якщо подача змінюється то всі частинки не будуть мати однаковий час для відділення від інших частинок. Швидкість подачі контролюється шляхом відкриття та закриття подаючого затвора.

Ступінь розділення контролюється положенням розділяючого краю приймального жолоба. Розділяючий край – це край, що прилягає до піднімаючої сторони циліндра. Якщо деяке довге насіння піднімається виступами то жолоб встановлений занадто низько, а якщо жолоб встановлений занадто високо то коротке насіння, яке підібране виступами впаде назад у суміш і буде вивантажене разом з довгим продуктом на кінці циліндра. Бажану швидкість можна визначити, встановивши рівень жолоба, а потім відрегулювавши швидкість циліндра так, щоб насіння, яке захоплене виїмками падало у жолоб зверху циліндра [5-8]. Якщо швидкість занадто мала то виїмки відкидатимуть деяке коротке насіння, яке слід піднімати, а швидкість регулюється зміною приводу змінної швидкості. У машинах, які використовують підйом на кінці живильника, як засобу транспортування, іноді необхідна регулювання, що здійснюється шляхом збільшення або зменшення підйому для правильного транспортування матеріалу через циліндр. Уповільнювач регулюється для підтримки правильного рівня протягом всієї довжини циліндра. Регулювання уповільнювача залежатиме від типу оброблюваного насіння, а також від кількості та розміру піднятого матеріалу.

Спіральний сепаратор розділяє зерна відповідно до їх круглої форми. Основним компонентом сепаратора є нерухомий відкритий шнековий конвеєр, що стоїть на одному кінці. Суміш подається у верхню частину установки, де круглі матеріали суміші набирають швидкість «ковзаючи» по похилій поверхні поки сила відцентрового обертання не стане достатньою, щоб викинути їх у

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

центральну гвинтову частину, тоді як не круглі матеріали потрапляють у зовнішній гвинт і виводяться окремим каналом [1-6]. Регулюючим елементом у спіральному сепараторі є швидкість подачі, яка повинна бути такою, щоб кожна частинка могла ковзати самостійно для ефективного розділення. Основне обмеження спірального сепаратора – відсутність гнучкості. Відділення насіння гірчиці, ріпаку, сої, гороху або інших круглих насінин можна здійснювати від пшениці, льону, вівса тощо. Цей пристрій менш універсальний порівняно з іншими механічними очисниками, але він простий, недорогий і досить корисний для очищення насіння.

Під час просіювання зернову суміш подають на внутрішні спіральні лопаті з приймального бункера. Інтенсивність подачі регулюється розміром отвору в диску встановленому під бункером. Коли зерно рухається вниз по похилих внутрішніх лопатях то сферичне насіння легко котиться і набирає більшу швидкість, ніж не сферичне зерно, яке має тенденцію ковзати або перекочуватись. Орбіта круглого насіння на лопатях навколо осі збільшується з ростом швидкості поки насінина не перекотиться через край внутрішньої лопаті не впаде на зовнішню лопать корпусу і не вивантажиться через жолоб у нижній частині машини [5, 6]. На відміну від цього, не сферичне або неправильної форми насіння не набирає достатньої швидкості, щоб перекотитися через край внутрішньої лопаті, і продовжує ковзати до нижньої частини машини, де воно вивантажується через інший жолоб. Деякі спіралі мають кілька внутрішніх лопатей, розташованих у порядку збільшення розміру. Апарати сортують зерно в суміші за формою та щільністю – від низькощільного плоского зерна на внутрішній лопаті до високощільного круглого зерна на більшій зовнішній лопаті. Кожна лопать закінчується різним розвантажувальним жолобом, де швидкість подачі є єдиним важливим регулюванням на спіральному сепараторі. Диск, який містить отвори різного розміру обертається до тих пір поки бажаний розмір не опиниться безпосередньо під отвором у дні бункера і безпосередньо над конічним розподільником.

Ротаційний сепаратор зазвичай має круглі робочі поверхні. Їхній рух відбувається по колу в горизонтальній площині. Вони можуть мати один або подвійний барабан, а машина складається з ротаційної сіточки, аспіратора та бункера і оснащена електродвигуном, який приводить у рух ротаційну сіточку та аспіратор. Суміш подається в бункер, де зерно проходить крізь отвори сіточки до центру барабана, тоді як матеріал великого розміру затримується зверху і виводиться через отвір для викиду. Відповідне зерно виходить із центральної частини обертового барабана на низькій швидкості і падає на вібраційну сито, яке відсіює забруднення. Легкі частинки, як соломка та пил, всмоктуються аспіратором і виводяться через отвір аспіратора. Очищене зерно подається через випускний жолоб.

Сепаратор кольорів відділяє фрукти, овочі або зерна за кольором або яскравістю. Колірний сепаратор зазвичай використовується для більших посівних насіння, таких як горох і квасоля. Ці насінини відрізняються кольором через сортові відмінності, а також через незрілість або хвороби (рис. 1.2). Глиняні грудки та змінені або дефектні насінини можна видалити за допомогою

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

електронного сепаратора. Зернову суміш рівномірно подають у оптичну камеру сепаратора [1-6]. Дві фотоклітини закріплені під певним кутом, який спрямовує обидва промені на одну точку параболічної траєкторії зерен. З іншого боку розташована голка, з'єднана з джерелом високої напруги. Коли промінь падає на темний об'єкт через фотоелектронні клітини на голці виникає струм. Кінець голки отримує заряд і передає його темним насінинам. Потім зерна проходять між двома електродами з високою різницею потенціалів між ними. Насіння порівнюється з обраним фоном або діапазоном кольорів і розділяється на дві фракції за різницею кольору. Оскільки кожне зерно розглядається цією машиною індивідуально, продуктивність низька.

Сепаратор за питомою вагою здійснює розділення відповідно до різниці в щільності або питомій вазі матеріалів. Працює за двома принципами: властивості зерен літати по похилій поверхні, спливання частинок за рахунок підйому повітря. Основною частиною пристрою є перфорована дека трикутної форми. Під нею дека має відповідні перегородки для забезпечення рівномірного розподілу повітря. Тиск або гранична швидкість повітря, що піднімається через деку, можна дуже точно контролювати в широкому діапазоні [7-9]. Суміш продукту подається у бункер, а повітря нагнітається через пористу поверхню деки і шар зерна вентилятором з такою швидкістю, що частково піднімає матеріал з контакту з поверхнею деки. Найлегші матеріали піднімаються на верх стратифікованої маси, де повітря не піднімає важчі частинки. Стратифікована маса рухається в напрямку транспортування завдяки коливальному руху деки і виводиться на правому краю деки (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – Кольоровий сепаратор



Рисунок 1.3 – Сепаратор за питомою вагою

Магнітний сепаратор здійснює розділення на основі текстури поверхні та властивостей липкості зерна. Оскільки зерна не містять вільного заліза то вони не притягуються магнітом. Застосовується вибіркова попередня обробка при якій до маси подачі додається дрібнодисперсний залізний порошок. Зернову суміш подають у шнековий конвеєр або інший змішувальний пристрій, який обертає та переміщує зерно з пропорційною кількістю води [1-5]. Завдяки вологості залізний порошок прилипає до шорстких, тріщинуватих,

пошкоджених і липких оболонок насіння. Волога не затримується на гладких зернах, тому порошок не прилипає до зерен з гладкою поверхнею (рис. 1.4). Зернова суміш подається на верхню частину горизонтального обертового магнітного барабана; гладкі зерна, які відносно вільні від порошку падають вздовж барабана просто під дією сили тяжіння. Матеріали із залізним порошком притягуються до магнітного барабана та прилипають до нього, після чого видаляються обертальною щіткою або при розриві в магнітному полі.

Аеродинамічний сепаратор заснований на пневматичному розділенні, яке базується на різниці аеродинамічних властивостей різних складових суміші. Аеродинамічні властивості частинки залежать від її форми, розміру, густини, поверхні та орієнтації щодо потоку повітря. Як аспіратор, так і пневматичний сепаратор, використовують граничну швидкість зерна для розділення різних фракцій [5, 6]. Вентилятор розташовується на вході машини, що створює тиск вище за атмосферний. Потужний повітряний потік розділяє матеріали (рис. 1.5). Суміш продуктів вводиться в обмежений підйомний потік повітря, де повітряний потік піднімає частинки з низькою граничною швидкістю, тоді як частинки з граничною швидкістю вищою за швидкість повітря падають вниз. Швидкість повітря можна регулювати, змінюючи швидкість вентилятора або змінюючи отвір повітряного входу.

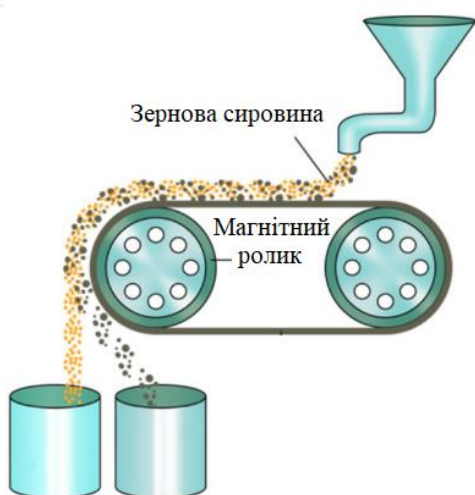


Рисунок 1.4 – Магнітний сепаратор

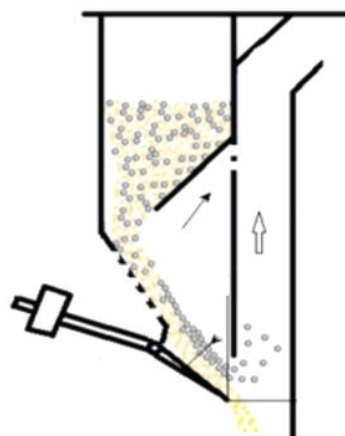


Рисунок 1.5 – Аеродинамічний сепаратор

На основі вище зазначеного можна констатувати:

- вібраційний сепаратор виконує сортування виключно за розміром;
- кольоровий сепаратор відділяє фрукти, овочі або зерна за кольором або яскравістю;
- сепаратор за питомою вагою здійснює розділення відповідно до різниці в щільності або питомій вазі матеріалів;
- магнітний сепаратор здійснює розділення на основі текстури поверхні та властивостей липкості зерна;
- аеродинамічний сепаратор заснований на пневматичному розділенні, яке базується на різниці аеродинамічних властивостей різних складових суміші.

1.3 Способи сепарування зернової сировини

В харчовій промисловості часто необхідно суміші харчових матеріалів розділити на різні фракції для подальшого збуту або переробки. Є декілька подібних ситуацій, коли необхідно відокремити різні фракції із суміші. Це відділення може бути досягнуто шляхом використання однієї або кількох властивостей складових суміші. Найпоширенішою властивістю є розмір. Інші властивості, які зазвичай використовують для відокремлення – це вага, шорсткість поверхні, оптичні властивості та магнітні властивості [5, 6]:

Розділення за розміром. Деякі матеріали при розділенні за розміром не дають правильну класифікацію, наприклад, деякі стручки арахісу можуть досягати певного розміру, а ядра в них залишаються недозрілими. Очевидно, що такі стручки небажані і їх потрібно відокремити від стручків з повними ядрами. Таке відокремлення можна здійснити, дозволяючи суміші плавати у рідині. Залежно від питомої ваги, фракції осідатимуть по-різному. Сепаратор для вершків у молочному виробництві також відноситься до сепараторів за питомою вагою.

Розділення за кольором. Кольоровий сепаратор розділяє фрукти, овочі або зернові за різницею в кольорі або яскравості. Кольорові сепаратори зазвичай використовуються для великих насіння культур, таких як горох і квасоля. Ці насіння відрізняються за кольором через сортові відмінності, а також через недозрілість або хвороби. Грудки бруду та змінене в кольорі або дефектне насіння можна видалити за допомогою електронного сепаратора. Суміш матеріалу рівномірно подається в оптичну камеру сепаратора. Дві фотоячейки закріплені під певним кутом, що спрямовує обидва промені на одну точку параболічної траєкторії зерен [13]. З іншого боку розташована голка, яка підключена до джерела високої напруги. Коли промінь падає на темний об'єкт через фотоелектричні елементи, на голці генерується струм. Кінчик голки отримує заряд і передає його темним насінинам. Потім зерна проходять між двома електродами з великою різницею потенціалів між ними. Насіння порівнюється з обраним тлом або кольоровим діапазоном і розділяється на дві фракції залежно від різниці в кольорі. Оскільки ця машина оглядає кожний продукт індивідуально її продуктивність низька.

Розділення за вагою. Деякі харчові продукти мають правильну форму або розмір. Вони розділяються за вагою. Харчові продукти транспортуються по ряду вагових балансів, розташованих таким чином, що об'єкти з найменшою вагою проходять найдовше. Тяжчий об'єкт перекидає баланс раніше і потрапляє у жолоб для збору. Легший об'єкт проходить через ці ваги і рухається далі, поки відповідна вага не перекинеться і об'єкт не буде відібраний для сортування за правильною категорією.

Розділення за текстурою/шорсткістю поверхні. Суміш, яку потрібно розділити, подається на центр нахиленої транспортерної стрічки, що рухається вгору, де круглі та гладкі зерна котяться або ковзають по транспортеру швидше, ніж рух стрічки вгору, і потрапляють у бункер. Плоскі або шорсткі частинки піднімаються до верхньої частини нахиленої стрічки і зсипаються в

інший бункер. Для розділення різних матеріалів можуть використовуватися стрічки з різним ступенем шорсткості. Якщо переважає тенденція до катання зерна, можна використовувати грубу тканинну стрічку. Гладку пластикову стрічку доцільно використовувати у випадку, коли для нижньої фракції бажана дія ковзання [7, 9]. Швидкість подачі, швидкість роботи транспортерної стрічки та кут нахилу є іншими важливими параметрами для ефективного розділення різнорідних матеріалів. Швидкість подачі підтримується на рівні достатньому, щоб дати можливість кожному зерну для розділення. Швидкість роботи стрічки може змінюватися відповідно до довжини нахилу, а кут нахилу регулюється для забезпечення котіння або ковзання бажаної нижньої фракції. Для збільшення продуктивності роздільника кількість стрічок може бути розташована одна над іншою в одній машині.

1.4 Рух частинок у сепараційному обладнанні

Існує чотири різні режими руху, які можуть відбуватися для твердих частинок, розміщених на рухомому жолобі, залежно від частоти коливань. Режими наведені нижче [5, 6]:

- частинки нерухомі відносно жолоба;
- частинки ковзають протягом частини циклу і залишаються прилиплими до жолоба протягом решти циклу;
- частинки ковзають із скользячим рухом;
- частинки перебувають лише у режимі прилипання та ковзання.

Зворотно-поступальний рух може бути як у чисто горизонтальній площині так і у похилій площині. Залежно від площини [5, 6]:

- горизонтальний зворотно-поступальний рух – це рух, який досягається за допомогою ексцентрика та шатуна і зазвичай відбувається по траєкторії паралельній горизонтальній проекції шляху матеріалу під час його переміщення від входу до виходу. Якщо крок (амплітуда) досить великий то рух має значну вертикальну складову щодо поверхні сітки, що викликає ковзний рух і можна перемістити велику кількість матеріалу;

- похилий поступально-обертальний рух – екран може переміщуватися по нахиленій площині поступально-обертальним способом за допомогою ексцентрикового та шатуна. Такий рух має вертикальну та горизонтальну складові, паралельні горизонтальній проекції траєкторії руху матеріалу. Комбінований горизонтальний та вертикальний рух також можна досягти за допомогою обертового приводу, безпосередньо прикріпленого до екрана та працюючого у вертикальній площині, паралельній траєкторії потоку матеріалу. Вертикальна складова піднімає матеріал з поверхні екрана на частку часу.

Вертикальний рух може розпушувати масу матеріалу внаслідок чого дрібніші частинки осідають на дні. Комбінований вертикальний і горизонтальний рух також ефективний для швидкого переміщення великого об'єму матеріалу по поверхні. Техніка корисна при грубому просіюванні або коли отвори екрана значно більші за розмір частинок [5, 7]. Комбінований горизонтальний та зворотно-поступальний рух забезпечує перетворення

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

горизонтального зворотно-поступального руху в обертальний рух у горизонтальній площині на вході використовується ексцентриковий привід, тоді як на іншому кінці зберігається зворотно-поступальний рух. У такому розташуванні є компонент зворотно-поступального руху як паралельно, так і перпендикулярно до напрямку [6]. Потік матеріалу на вході поступово перетворюється на еліптичний рух у центральній частині сита і, нарешті, переходить у справжній зворотно-поступальний рух на виході. Секція ефективно розподіляє матеріал по боках сита на вході. Круговий шлях матеріалу також забезпечує більше отворів сита, оскільки частинки рухаються не тільки вперед і назад, але й із боку в бік по поверхні сита.

Якщо поверхню сита обертати в горизонтальній площині то матеріал рухатиметься по перекритій траєкторії під час проходження від входу до вихідного кінця. Багатонаправлений рух долає тертя між частинками, і доступна максимальна кількість отворів, таким чином просіювання можна виконати на відносно короткій відстані. Обертальний рух забезпечується зміщено розташованою вагою прикріпленою до сита через раму, яка обертається з потрібною швидкістю в горизонтальній площині, що забезпечує необхідну частоту та рух. Амплітуду руху контролюють величина та ексцентриситет ваги, а також її положення, що впливає на важіль у дії на сито.

На основі вище зазначеного можна вважати, що відокремлення одного або кількох компонентів із складної суміші є необхідним процесом в харчовій промисловості. Компоненти, про які йде мова, варіюються від частинок до дрібних молекул. Зазвичай метою відокремлення є видалення певних компонентів для збільшення доданої цінності продуктів. Усі процеси відокремлення ґрунтуються на використанні відмінностей у фізичних або хімічних властивостях суміші компонентів. Деякі з більш поширених властивостей, що беруть участь у процесах відокремлення, включають розмір і форму частинок або молекул, густину, розчинність та електростатичний заряд.

Зазначено, що сепаратор – це спеціалізована машина для очищення зерна, яка використовується для розділення маси зерна на фракції з різними властивостями. Він працює за принципом розділення сировини за розміром, формою, щільністю або аеродинамічними характеристиками. Сепаратор зерен оснащений вентиляторами, ситами та пневматичними системами, які забезпечують розділення зерен і видалення домішок. Сепаратор зерна може бути окремим блоком або частиною комплексу з очищення зерна.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що сепаратори зерен поділяються на кілька типів залежно від конструкції та принципу роботи. Найпоширеніші з них: вібраційні сепаратори, аеродинамічні сепаратори, магнітні сепаратори, кольорові сепаратори. Розділення сировини через перфоровані решітки дає матеріали більш однорідного розміру частинок. Існує широкий спектр геометричних конструкцій, включаючи плоскі та оберткові сита з фіксованими отворами, а також доступні численні конструкції зі змінними отворами. Різницями в аеродинамічних властивостях можна користуватися при очищенні, сортуванні та калібруванні твердої харчової сировини (наприклад, зернових, гороху, борошна) у сухому стані.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ

2.1 Системи сортування з механічною вібрацією

Механічне просіювання є дуже важливим процесом, який використовується в харчової промисловості для очищення та класифікації зерна. Зернову сировину зазвичай очищують за допомогою сита з певним розміром отворів, що дозволяє проходити часткам певного розміру. Вібрація сита спричиняє рух менших часток донизу і їх проходження крізь сітку [14, 15]. Вібраційний сепаратор складається з п'яти основних компонентів: корпусу сита (конструкція), вібраційного двигуна (або двигунів), ізоляторів, сит і опорної рами. Вібрацію можна створювати як за допомогою асинхронних двигунів (вібраційних моторів) так і за допомогою кулачків нерегулярного руху.

Найпоширенішими вібраційними коливаннями екранів є лінійні, кругові та еліптичні. При використанні двигунів-активаторів ці рухи досягаються за допомогою специфічного положення та відносного обертання двигунів. Метою ізоляторів є зменшення динамічних сил, зумовлених вібрацією. Динамічні властивості ізоляторів (поглинальна здатність і жорсткість) визначають величину переданих динамічних сил, а також величину максимального переміщення екрана [16-18]. Для даної маси екрана жорсткість ізоляторів визначає власну частоту екрана. Механічні вібрації були присутні в різних типах систем, ці вібрації можна контролювати для створення механізмів вібраційного сепаратора, які через вібрації просувають сировину, надаючи йому мікроскачки. Цей тип систем здебільшого використовується для розділення сипучих матеріалів на фракції перед фінальним етапом фасування. Механічні вібрації можуть бути шкідливими або корисними в залежності від того, як вони працюють і для якого процесу їх застосовують.

Система підтримується набором еластичних елементів, які сконструйовані так, щоб їхня власна частота коливань або частота резонансу збігалася з частотою коливання системи. Це забезпечує те, що їх еластична дія підтримує систему в русі, оскільки енергія коливань чергується між накопиченням і вивільненням [10, 11]. Листи пружин виготовляються холодним або гарячим способом з матеріалу дуже високої міцності та якості, такого як вуглецева сталь, легована сталь і сталь, стійка до корозії, що забезпечує їх тривалий термін служби протягом багатьох років. Пружини здатні деформуватися та поглинати динамічні навантаження. Вони виготовлені зі сталі з дуже високими еластичними властивостями. Ця здатність дозволяє їм повертатися до початкового стану, коли навантаження перестає діяти. Пружини розробляються для надання сили, яка може бути використана для

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Камінський				Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції	Літ.	Арк.
Перевір.	Цвіркун						22
							18
Н. Контр.	Омельченко					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
Затверд.	Цвіркун						

стиснення або розтягування. Гвинтові пружини або спіральні пружини є механічними елементами, які встановлюються між двома механічними частинами машини з метою амортизації ударів. Різні форми пружин для цього типу елементів мають широкий діапазон навантажень і забезпечують діапазони тяги та здійснюють великі прогини.

У таких машинах необхідно ізолювати вібрації корпусу від передачі на опорні елементи пристрою. Важливо розрізнити гасіння вібрацій і ізоляцію вібрацій. Хоча ці два терміни можуть звучати дуже схоже, існує важлива різниця в їхніх технічних визначеннях. Гасіння вібрацій – це процес поглинання або зміни енергії вібрації для зменшення кількості енергії, що передається на обладнання або машини, тоді як ізоляція від вібрацій запобігає потраплянню енергії в машини [16-18]. У цьому випадку мета полягає в тому, щоб запобігти потраплянню вібрацій у опори і тому ізоляція є головною метою, а пружини є найпростішим засобом для її досягнення. Обрані пружини повинні добре підходити для цього застосування, оскільки занадто жорстка пружина (висока жорсткість пружини) передавала б усі вібрації до опори, що повністю нівелювало б ціль використання пружини. Надто слабка пружина (низька жорсткість пружини) повністю стискалася б лише під вагою тіла ще до того, як машина почне вібрувати, і це також небажано.

Будь-який рух, який повторюється через певний проміжок часу, називається коливанням. Коливання маятника та рух зачепленої струни є прикладами коливань. Також його можна визначити як зміну положення в часі (рух) частин машини з одного боку в інший щодо їхнього положення спокою. Іншим визначенням є коливання або повторюваний рух об'єкта навколо положення рівноваги, цей тип вібрації також відомий як вібрація всього тіла, що означає, що всі частини тіла рухаються разом в одному напрямку в будь-який момент. Може вимірюватися залежно від зміщення, спричиненого вібрацією. Оскільки це рух, його можна вимірювати у термінах швидкості чи прискорення [10].

Частота вказує на кількість разів, яку об'єкт коливається за секунду і вимірюється в герцах (Гц). Частота може бути власною частотою, що властива системі через наявність еластичних елементів або вимушеною частотою, яка є відповіддю на прикладену силу. Природна частота – це власна частота тіла або системи, яка має пружні та інерційні елементи. Аналіз вібрацій машин базується на тому факті, що конкретні обертові елементи в обертових частинах будь-якої машини створюють сили, які викликають вібрації на певних частотах. Однією з найважливіших вимушених частот є оберти за хвилину вала. Резонанс – це фізичне явище, яке впливає на жорсткі тіла і може спричинити їх вібрацію або коливання. У м'яких тілах це значно складніше, оскільки вібрація поглинається швидше. Резонанс полягає в тому, щоб прикладати до тіла періодичну силу, частота якої якомога ближча до власної або природної частоти тіла. Коли це відбувається, амплітуда руху зростає настільки, що може швидко призвести до руйнування об'єкта, зазвичай повинна бути різниця понад 30% [10].

Вільні коливання – це коли системі дозволяють вібрувати самостійно після початкового збурення, отримане коливання називають вільним коливанням, жодна зовнішня сила не діє на систему; примусова вібрація – це коли система піддається зовнішній силі, зазвичай це повторювана сила в результаті чого виникає вібрація, яка відома як примусова вібрація; згасаюча вібрація – це коли вібрація системи розсіюється за рахунок тертя або іншого опору, втрачаючи енергію; незгасаюча вібрація – це коли вібрація системи не поглинається тертям або іншим опором. Загасання є синонімом втрати енергії коливальних систем; лінійна вібрація – якщо всі базові компоненти вібраційної системи (пружина, маса та демпфер) поведуться лінійно, результуюча вібрація відома як лінійна вібрація; нелінійні вібрації – це якщо будь-який із основних компонентів поведеться нелінійно, то коливання вважаються нелінійними. Лінійна поведінка елемента полегшує його вивчення, насправді будь-який елемент поводить себе як нелінійний, проте результати його дослідження в більшості випадків не відрізняються від тих, які отримуються, якщо вважати його лінійним елементом [10, 11].

Залежно від методу, що використовується для створення вібрації, вібраційні системи поділяються таким чином. Системи з електричною вібрацією працюють за циклом імпульс-відпускання або імпульс-штовхання, використовуючи постійну напругу та пульсуючі електромагніти або змінний струм у поєднанні з постійними магнітами та електромагнітами; це можна визначити як вібратор з кількома одиницями сили. Потужність надається всіма одиницями сили, а їх кількість і розмір залежить від розміру каналу та конкретної операції, яка буде виконуватися за допомогою цього обладнання. Системи з небалансними двигунами можуть обробляти широкий спектр матеріалів, від великих фракцій до більш малих [17, 18]. Обладнання приводиться в дію небалансним двигуном (спеціальна форма електродвигуна), що не потребує передачі через ремінь, шестерню або кулачки. Еліптичні, кругові або лінійні вібраційні рухи робочого пристрою можуть виникати залежно від конфігурації двигуна. Наприклад, при використанні подвійних приводних установок, де двигуни обертаються в протилежних напрямках, утворюється лінійний вібраційний рух, необхідний для нахилених вібраційних сепараторів.

Системи з горизонтальною вібрацією називають класифікаторами горизонтального потоку, вони використовуються для вільного осадження, характеризуються розділенням елементів у поздовжньому русі, переносючи дрібні частинки та залишаючи великі осторонь, оснащені додатковими елементами для видалення великих частинок. Мають конструкцію з подвійним валом під кутом 45° або з потрійним валом з кутом, як правило, від 30° до 60° від горизонталі [17, 18]. Параметр нахилу буде вирішальним, оскільки він пов'язаний з продуктивністю, здатністю, що стосується просіювання системи, високою ефективністю, низькою швидкістю транспортування та вивантаження корисних копалин на основі ефекту нахилу. Головна перевага горизонтальних вібраційних сепараторів полягає у високій частоті та легкому обслуговуванні, тоді як однією з основних недоліків є товщина шару (сітки), що заважає

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

стратифікації та ефективності.

Системи з похилою вібрацією мають регульований нахил, оскільки він пов'язаний зі швидкістю потоку сировини. У нахиленої вібраційної сітки рух, що виникає є круговим. Нахил сітки має бути від 15° до 20° для забезпечення хорошої продуктивності. Вібрація піднімає матеріал, що сприяє швидшому здійсненню стратифікації, тоді як поєднання вібрації та кута нахилу забезпечує швидкість переміщення матеріалу по платформі [18]. Однією з найважливіших переваг обладнання є використання пружин для ізоляції вібрації для надійної роботи, стабільної амплітуди та зниження шуму, тоді як однією з недоліків є знос металева сітка, оскільки вона має менший термін служби порівняно з поліуретаном і гумою, заміна сітки передбачає заміну всієї платформи решета.

Системи з коливальною вібрацією призначені переважно для робіт середнього масштабу, що є механізмом, який працює горизонтально або з невеликим нахилом від 2 до 8%. Він має каркас, підтримуваний нахиленими важелями, що приводяться в дію шатунно-кривошипним механізмом. Обладнання працює на низькій частоті, від 100 до 400 Гц [10, 11]. Коробка, яка зазвичай підвішена, спирається на пружини або ресори, приводиться в рух за допомогою кривошипно-шатунного механізму, з рухом, нахиленим щодо поверхні сита, передаючи вібрації цієї частоти на конструкцію будівлі. Одним із варіантів відбійного сита є резонансне сито, єдина відмінність якого полягає в тому, що воно запобігає передаванню вібрацій і має менше споживання енергії. Він може досягати ритму 400 коливань за хвилину та ходу 20 мм або 60 об/хв із ходом 120 мм, ґрунтуючись на русі матеріалу по ситі за допомогою різких імпульсів вперед і назад, що забезпечує передачу значних сил у його системі.

Принцип роботи сепаратора оснащеного незбалансованим двигуном [11]:

- створюється коливна сила на ведучому валу, який закріплений на робочому пристрої, що змонтований на пружинах, які змушують його коливатися в певному напрямку;
- сировина переміщується за рахунок руху з мікроскачками через вібрацію обладнання;
- для лінійного вібраційного руху потрібні незбалансовані мотори, що обертаються в протилежних напрямках;
- одна привідна установка, встановлена в центрі мас, створює кругові коливання;
- одна привідна установка створює еліптичні коливання, коли вона встановлена далеко від центру мас.

Системи з механічними вібраціями були розроблені для обробки матеріалів з такими ж характеристиками, як і матеріали, що транспортуються за допомогою електричних вібраторів але з меншими витратами. Системи, що працюють за вібраціями, спричиненими гідравлічними та пневматичними засобами підходять для роботи в умовах, де є олія, вода або стиснене повітря, і можуть бути надзвичайно практичними, оскільки їх конструкція приводного блоку відносно проста і можна використовувати клапани регулювання тиску для зміни продуктивності як вручну, так і автоматично.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Існують два методи вібрації [10, 11]:

- ротаційний метод, де результуюча сила вібрації спрямовується у всі напрямки на 360° за годинниковою або проти годинникової стрілки. Цей метод вібрації потребує лише одного вібраційного двигуна;
- однонаправлений метод, де результат віброуючої сили спрямовується однонаправлено у протилежні напрямки, метод вібрації досягається за допомогою двох вібраторів із подібними електромеханічними характеристиками, разом із їхньою віссю обертання, паралельною та напрямками обертання в протилежні сторони.

Вибір типу віброживильника залежить від кількох параметрів. З цієї причини, рекомендується використовувати односторонній метод для транспортування з обертами від 1500 до 3000 для 50 Гц та від 1800 до 3600 для 60 Гц, у нашому випадку ми працюватимемо з 60 Гц. При монтажі вібраторів дуже важливо враховувати два основні аспекти [16-18]:

- кут падіння вібраційної машини для одностороннього методу.
- позиція вібраторів на вібраційній машині: лінія сили вібраторів повинна проходити через центр ваги.

Система буде підтримуватися набором еластичних елементів, які сконструйовані так, щоб їхня власна частота коливань або частота резонансу збігалася з частотою коливання системи. Пружини здатні деформуватися та поглинати динамічні навантаження, бо вони виготовлені зі сталі. Обрані пружини повинні добре підходити для цього застосування, оскільки занадто жорстка пружина (висока жорсткість пружини) передавала б усі вібрації до опори, що повністю нівелювало б ціль використання пружини. Надто слабка пружина (низька жорсткість пружини) повністю стискалася б лише під вагою тіла ще до того, як машина почне вібрувати і це також небажано. Після того як стало відомо коефіцієнт пружності з теоретичного аналізу, було розглянуто деякі пружини, щоб визначити, чи підходять вони для цього застосування. Коефіцієнти пружності цих пружин були невідомі, тому були проведені експерименти для визначення їхніх коефіцієнтів пружності. Для проведення цього експерименту пружини були розташовані між двома губками машини для випробування на розтяг (рис. 2.1, рис. 2.2).



Рисунок 2.1 – Пружина під час випробувань



Рисунок 2.2 – Пружина, яка забезпечить належну вібрацію сита

Машина для випробувань на розтягування стискала пружину, одночасно записуючи силу, необхідну для цього, проти стискання (негативного подовження). Жорсткість цієї пружини була визначена як $k = 102,202 \text{ кН/м}$. Ця жорсткість була досить близькою до теоретичного значення $117,227 \text{ кН/м}$, щоб бути використаною для машини. Щоб система могла мати необхідну вібрацію, потрібно використовувати пружини, які встановлюватимуться на кінцях сита. Для їх проєктування було використано програмне забезпечення для моделювання [10-11, 18]. Діаметр дроту пружини становить 5 мм, зовнішній діаметр витка – 30 мм, кількість витків – 12, а висота – 20 см. Вони матимуть пластину у верхній та нижній частині пружини, оскільки проєкт передбачає пласку поверхню. Пластини у верхній та нижній частині матимуть по одному отвору діаметром 5 мм і 12 мм, щоб кріплення здійснювалось за допомогою гвинтів, які будуть прикріплюватися до відповідної рами системи сортування. Матеріалом для виготовлення послужить сталь, оскільки цей матеріал зазвичай використовується для стиснених пружин.

2.2 Удосконалення вібраційного сепаратора для зерна

Розділення та класифікація зернистого матеріалу на різні розміри досягається за допомогою процесу просіювання, який визначається як механічний метод розділення шляхом використання просіювальних машин. Основні функції процесу просіювання полягають у розділенні та класифікації сировини, що дозволяє отримувати продукцію, яка відповідає технічним специфікаціям, необхідним для подальших процесів. Сепаратор – це спеціалізована машина для очищення зерна, яка використовується для розділення маси зерна на фракції з різними властивостями та працює за принципом розділення сировини за розміром, формою, щільністю або аеродинамічними характеристиками.

Сепаратор зерен оснащений вентиляторами, ситами та пневматичними системами, які забезпечують розділення зерен і видалення домішок. Сепаратор зерна може бути окремим блоком або частиною комплексу з очищення зерна. Основні методи просіювання – це механічне, гідравлічне, повітряне та магнітне розділення [16]. Для цього існують два види сит: статичні та динамічні, кожен з яких має різні типи просіювальних машин. Використання того чи іншого типу цих машин визначається бажаним застосуванням і типом роботи, а також характеристиками матеріалу, що просіюється. Вібраційні сита є найбільш поширеними на сьогодні, хоча інші види сит продовжують використовуватися в певних застосуваннях.

У роботі пропонується здійснити модифікацію вібраційного сепаратора для зерна з урахуванням поділу сировини на фракції з урахуванням властивостей сировини (рис. 2.3). Для проєктування оптимізованої машини розділення зернової сировини за розміром здійснено аналіз та розрахунки для кожної системи, що входить до складу сепаратора, а саме системи подачі, системи очищення зернової оболонки (за необхідності), системи сортування, системи розділення, електричної системи.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

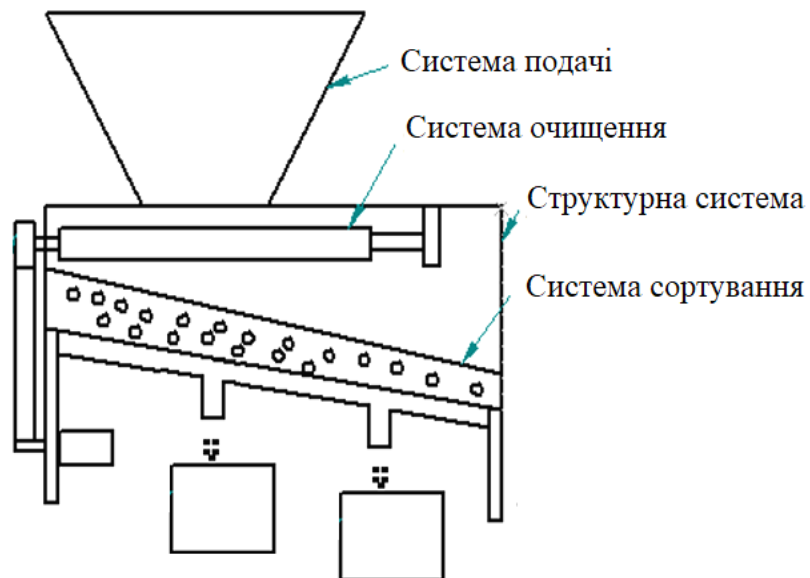


Рисунок 2.3 – Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна

Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортуванню або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування;

- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерною сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

1. Система подачі відповідає за забезпечення належного доступу до машини. Система оснащена бункером певної форми, що дозволяє продукту рівномірно потрапляти всередину для правильної його перерозподілу. У системі подачі буде спроектований верхній бункер у вигляді усіченого конуса, який дозволить дозувати продукт після його надходження. Було обрано саме цей тип, оскільки необхідно, щоб продукт падав вільно і не потрібен інший елемент для його подачі.

Кут нахилу бункера [17, 18]

$$\beta = \alpha + 15^\circ$$

де β – кут нахилу;

α – кут природного спокою;

15° – кут нахилу бункера, щоб зерно текло

$$\beta = 39.4^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 54.4^\circ$$

За отриманим значенням його наближено до 54° , щоб отримати ціле число, яке враховується для конуса бункера.

2. Система очищення зернової оболонки (не є обов'язковим елементом). За необхідності, якщо потрібно здійснити попереднє очищення зернової сировини можуть бути встановлені ролики з твердої гуми перед системою

сортування. Принцип очищення полягає в тому, щоб пропустити два обертові гумові ролики в протилежних напрямках з різною швидкістю після чого зерна впадуть для подальшого сортування. Після дозування продукт надходитиме безпосередньо до системи очищення, де оболонка від зерна буде відділена за допомогою валків. Система є важливою, адже від неї залежить кількість бажаної сировини. Система очищення буде підключена до приводної системи, яка забезпечуватиме роботу для системи сепарації через механізм, що передаватиме вироблену двигуном потужність на вали. Після відділення продукт потрапляє до системи сортування, де зерно поділяється за розміром, оскільки з системи сепарації воно виходить з залишками оболонки, і потрібно, щоб продукт залишався чистим після проходження машини.

Розрахунок діаметра ролика [17, 18]

$$r_{max} = \sqrt{\left(\frac{M * r}{2 * I_o}\right)^2 + \left(\frac{T * r}{J_o}\right)^2}$$

$$r_{max} = \frac{r}{J_o} * \sqrt{M^2 + T^2}$$

де r_{max} – зсувне напруження, МПа;

M – момент, Нм;

J_o – полярний момент інерції;

T – крутний момент, Нм;

r – радіус, м.

$$r = 0.0823 \text{ m}$$

Діаметр роликів становитиме 16,45 см, приблизно цей показник заокруглюється до діаметра 17 см, і вже з цим параметром переходять до розробки дизайну роликів з довжиною 50 см.

Крутний момент [17, 18]

$$T = F * d$$

$$F = \frac{T}{d}$$

Крутний момент шківів двигуна становить 3,183 Н·м, відстань буде радіусом шківів, який дорівнює 0,077 м.

Площа ролика [17, 18]

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,008\text{m})^2$$

$$A = 2,011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Тангенціальна швидкість

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$u = \omega * r$$

де u – тангенціальна швидкість, м/с;
 ω – кутова швидкість, рад/с;
 r – радіус ролика (м).

Радіус роликів становить 0,085 м, а кутова швидкість дорівнює 157,079 рад/с, що відповідає 1500 об/хв [17, 18]

$$u = 157,079 \frac{rad}{s} * 0,085m$$

$$u = 13,35 \frac{m}{s}$$

Швидкість з якою ролики обертаються, щоб створити силу тертя, яка забезпечить належне відділення зернової сировини від оболонки (рис. 2.4).

Відстань між центрами

$$D_c = r_1 + r_2 + d_g$$

де D_c – відстань між центрами, м;
 r_1 – радіус першого ролика, м;
 r_2 – радіус другого ролика, м;
 d_g – діаметр сировини, м.

$$D_c = 0,085 m + 0,085 m + 9,47 \times 10^{-3} m$$

$$D_c = 0,17947 m$$

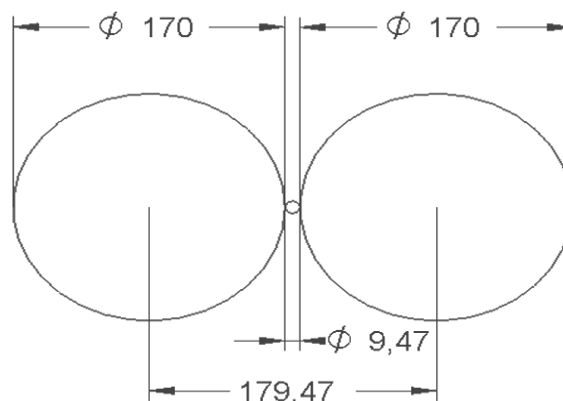


Рисунок 2.4 – Ролики для системи очищення зерна

3. Система сортування відповідає за розділення зерна за розміром, де сито є основним засобом за допомогою якого більші зерна відокремлюються від дрібніших.

3.1 Збуджуючі двигуни. Існує головним чином два типи механізмів, що використовуються на вібраційних решетах. Перший механізм складається з

колінчатого вала, який з'єднаний з вібраційною сіткою, що приводиться в рух двигуном. Сито рухається по круговій траєкторії разом із колінчатим валом. Другий тип механізму використовує інерційну силу від неврівноважених мас. Неврівноважені маси можуть бути розташовані безпосередньо на валах електродвигунів або приводитися окремо електродвигуном через ремінний механізм [18, 23]. Під час обертання вала виникає гармонійна сила, яка пропорційна масі неврівноваженого вага, частоті двигуна та радіусу ексцентриситету. Частота електродвигуна є функцією частоти вхідної змінної напруги та кількості полюсів двигуна. Потужність збуджуючого двигуна пов'язана з максимальною силою, яку двигун може створити.

3.2 Ізолятори (пружини). Вібраційні екрани зазвичай підтримуються кріпленнями в кожному куті екрану. Одним із недоліків вібраційних екранів є те, що вони передають великі динамічні сили. У вібраційних екранах кріплення повинні бути обрані якомога м'якшими, щоб вони діяли як ізолятори та зменшували передавані динамічні сили. Ізолятор характеризується двома дуже важливими властивостями: жорсткістю та коефіцієнтами демпфірування. Існують два основні типи матеріалів, що використовуються для ізоляторів: еластомери та сталь. Еластомери забезпечують більший коефіцієнт демпфірування, ніж сталь, що є сприятливим при роботі на резонансі або поблизу нього [17, 18]. Сталеві ізолятори віддають перевагу, коли частота вібрацій значно перевищує резонансну. Сталеві ізолятори зазвичай використовуються у вигляді пружинних катушок. У вібраційних екранах жорсткість ізоляторів відіграє дуже важливу роль, оскільки вона визначає переміщення екрана, а також динамічні сили, що передаються. Динамічні сили, що передаються, повинні бути якомога меншими, а переміщення повинні залишатися в межах допустимих значень для хорошої віброізоляції, але достатній рух необхідний для забезпечення ефективної роботи екрана. Положення ізоляторів також відіграє дуже важливу роль з точки зору переданих динамічних сил.

3.3 Режим резонансу. Природна частота коливальної системи визначається еквівалентною масою та жорсткістю системи. Стан резонансу вібраційного екрана безпосередньо визначається жорсткістю кріплень, що його підтримують та масою рухомої конструкції екрана, яку тут розглядають як жорстке тіло. Коли частота збуджуючої сили збігається з природною частотою системи, виникає резонанс, що призводить до збільшення амплітуди коливань. Коли машина перебуває в стані резонансу, більшість сили, необхідної для коливання системи, акумулюється та звільняється у кріпленнях [10, 11]. Тому двигуни збудження екрана повинні компенсувати лише втрати через демпфування в умовах усталеного стану. Це може призвести до більш ефективного переміщення, оскільки для досягнення бажаної амплітуди зміщення потрібна менша динамічна сила. При резонансі максимальна сила передається на фундамент через кріплення і це може негативно вплинути на ресурс міцності конструкції.

3.4 Вібраційні ситові екрани. Вібраційні екрани зазвичай обладнані одним або кількома ситами, що дозволяють одночасно розділяти сировину на кілька

розмірів частинок [14, 15]. Більшість сучасних вібраційних екранів оснащені ситами, які можна натягувати. Такі сита зазвичай називають ситами з гачками через гачки, встановлені на них для натягу. Існують переважно два типи конфігурації сит з гачками. Перша конфігурація – бокове натягування сит і ці сита мають по два гачки з кожного боку екрана. Друга конфігурація – кінцеве натягування сит, і ці сита обладнані гачками на звантажувальному та приймальному кінцях сита. Якщо сито правильно натягнуте, можна уникнути резонансу сита, продовжити його термін служби та забезпечити краще просіювання.

Запропоновано, щоб пристрій виконував два або три рівні просіювання залежно від сировини, що підлягає сортуванню. Одне з цих сит має отвори діаметром 2 мм, а інше – 3 мм. Частинки зерен більші за 3 мм затримуються першим ситом, а ті, що мають розмір між 2 мм і 3 мм – другим ситом. Усі наддрібні частинки менше 2 мм збираються знизу машини. Сита виготовлені з оцинкованої сталі через її економічність. Величина нахилу решета екрана є важливою для процесу руху сировини. При збільшенні кута нахилу решета середня швидкість частинок збільшується, але середня висота викиду зменшується. Сепаратор містить два сита й є частиною пристрою до якої прикріплений вібраційний мотор. Решето сита нахилене під кутом 30° до горизонталі. Кут нахилу разом з вібрацією мотора змушує всі зерна переміщуватися вниз уздовж довжини сит. Частинки, менші за відповідні розміри сита, просипаються на наступний рівень (рис. 2.5). Сита можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортуванню або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування.

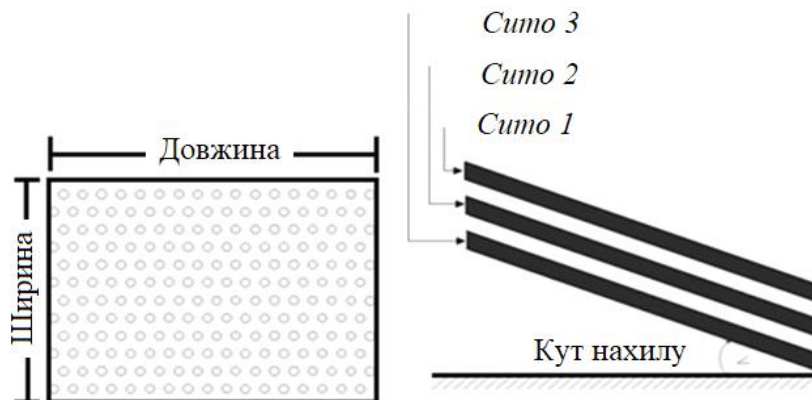


Рисунок 2.5 – Схема нахилу та форми сита для системи сортування

Розмір сита та лотка. Тепер будуть мати сито та лоток, куди падатимуть зерна і передбачається, що в кожне з них падатиме приблизно 1/2 об'єму завантаження на годину. Однак потрібно чітко розуміти, що будуть деякі надто великі зерна, які не пройдуть через перше сито, що зменшує обсяг сит, тому обсяг кожного буде

$$V_t = \frac{V_c}{3}$$

$$V_t = \frac{0,247 \text{ m}^3}{3}$$

$$V_t = 0,0823 \text{ m}^3$$

де V_t – об’єм сита, m^3 ;

V_c – об’єм завантаження, m^3 .

Кожен контейнер матиме висоту 130 мм, виходячи з цього можна розрахувати площу сита [17, 18]

$$A = \frac{V_t}{h}$$

$$A = 0,633 \text{ m}^2$$

де A – площа, m^2 ;

h – висота, м.

Оскільки кожен лист перфорованої нержавіючої сталі має наступні розміри: 1000 (мм) x 2000 (мм), тоді вважається довжина 1000 (мм) як дані для розрахунку ширини сита [17, 18]

$$A = a * b$$

$$b = 0,633 \text{ m}$$

де A – площа 0,633, m^2 ;

a – довжина 1, м;

b – ширина 0,633, м.

Тепер до початкової висоти слід додати приблизно 15% як запобіжний діапазон, оскільки може статися так, що буде більше зерен одного типу, ніж іншого, отримуючи кінцеву висоту.

$$h = 0,13 \text{ m} + 15\% = 0,1495 \approx 0.15 \text{ (m)}$$

4. Система розділення – це механізм, який дозволяє розділити зерна за розміром. Система є важливою, оскільки вона визначатиме досягнення вихідної змінної, якою в цьому випадку є зерно, а також буде основною системою всієї машини, оскільки виконуватиме фактичну роботу машини. Механічне просіювання є складним процесом під час якого частинки рухаються шляхом кидання, котіння або ковзання. На процес просіювання впливають різні фактори до яких належать [18, 23]:

- форма коливань сита;
- частота вібрацій;
- амплітуда вібрацій;
- розмір осередків сита;
- діаметр дроту сита;
- кут нахилу деякої частини сита;
- кут напрямку сили вібрації.

4.1 Вимушені режимні форми коливань вібраційних сит. Рух вібраційного

сита можна класифікувати на три категорії: лінійний, круговий та еліптичний. За однакових умов лінійні сита змушують частинки рухатися швидше по ситі (швидкість потоку) порівняно з круговими та еліптичними ситами, що призводить до меншої товщини шару сировини. Кругові сита мають найповільнішу швидкість руху частинок по ситі, що призводить до градієнта товщини вздовж сита. Еліптичні сита мають градієнт товщини та швидкість руху частинок, що знаходиться між показниками кругового та лінійного сита. Лінійні сита мають найнижчу ефективність просіювання, а кругові сита мають найвищу ефективність. Еліптичні сита мають ефективність просіювання, що знаходиться між ефективністю лінійного та кругового сита. Вібраційні сита з еліптичним рухом поєднують основні переваги лінійних та кругових сит.

4.2 Стратифікація та проникнення частинок. Стратифікація та проникнення є двома основними процесами, що відбуваються під час просіювання. Стратифікація визначається як проходження дрібних частинок через великі з утворенням шарів сегрегації частинок. Проникнення визначається як проходження дрібних частинок через отвори сита [17, 18]. Кут нахилу сита позитивно впливає на стратифікацію, але негативно впливає на проникнення. Збільшення діаметра дроту сита позитивно впливає на швидкість стратифікації, але має незначний вплив на проникнення. Коефіцієнт підкидання сита. Коефіцієнт підкидання є однією з найважливіших властивостей сита. Коефіцієнт підкидання визначається як відношення прискорення, здатного підкинути частинку з поверхні сита до сили тяжіння частинки. Стрибок кожної частинки повинен бути вищим за діаметр дроту сита, а довжина стрибка частинки повинна бути достатньою, щоб досягти принаймні наступного отвору (щілини) сита.

4.3 Ідеальний рух поверхні сита. Ідеальний рух поверхні сита можна підсумувати наступним чином [18, 23]:

- на подаючому кінці сита коефіцієнт стрибка має бути більшим, а швидкість подачі матеріалу вищою, що забезпечує швидке проникнення об'ємного матеріалу та призводить до швидкого розшаровування;
- у середині сита індекс викиду має бути нижчим, а швидкість подачі сировини вищою, що допомагає стабілізувати дрібнозернистий матеріал і забезпечує рівномірне проникнення вздовж довжини сита;
- на кінці сита коефіцієнт викиду та швидкість подачі сировини повинні бути нижчими, що призводить до того, що матеріал затримується на сітці довше і забезпечує більш повне проникнення через сітку.

4.4 Частота та амплітуда вібрації. Частота має певний вплив на середню висоту викиду частинок. Середня швидкість частинки майже не залежить від частоти вібрації. Найбільші середня швидкість і висота підкидання досягаються при частоті 13 Гц. Доведено, що при частотах нижче 19,9 Гц ефективність просіювання збільшується зі збільшенням частоти. Для частот понад 19,9 Гц ефективність просіювання зменшується зі збільшенням частоти тому є оптимальною для досягнення максимальної ефективності просіювання [19-21]. Амплітуда вібрації значно впливає на середню висоту підкидання частинок. Амплітуда вібрації також певною мірою впливає на середню швидкість

частинок, що вказує на те, що амплітуду слід підбирати відповідно до властивостей фільтруваного матеріалу. Для матеріалів, які важко сортувати, потрібна відносно велика амплітуда, щоб забезпечити вищі середні швидкості і висоту підкидання. Середня швидкість частинок і висота підкидання швидко зростають, коли амплітуда становить 6,5 мм, а при амплітудах менших ніж 2,55 мм ефективність сортування збільшується і починає знижуватися після 2,55 мм. Таким чином, амплітуда є чутливим параметром для ефективного просіювання.

4.6 Змінний еліптичний рух. Більшість сит таких як лінійні, круглі та еліптичні, мають простий трансляційний рух, відповідно кожна точка на ситі рухається по однаковому шляху і тому сітка має постійну швидкість транспортування та показник кидання, що може призвести до низької ефективності просіювання, але ефективність процесу розділення можна підвищити, змусивши сітку рухатися за змінною еліптичною траєкторією вздовж поверхні сітки. Положення осі валу приводу збудника відносно центру ваги надзвичайно важливе для ефективного просіювання. При правильному регулюванні положення осі обертового неврівноваженого механізму відносно центру ваги сітки можна отримати змінний еліптичний рух.

5. Електрична система забезпечує постачання енергії до машини, перетворюючи електричну енергію на механічну, щоб забезпечити роботу системи сепарації через механізми та виконання завдання. З іншого боку, вона також відповідатиме за систему сортування, щоб забезпечити ефективніше видалення домішок із зерна та отримання чистого продукту. Лінійне просіювання є одним із найпоширеніших видів відсіювання. Термін «лінійне» стосується руху решета, що означає, що решето рухається вгору та вниз по прямій лінії. Такий тип руху забезпечується двома приводними двигунами. Для лінійної вібрації двигуни приводу повинні бути синхронізовані та підключені до загальної балки з ідеально вирівняними осями [17, 18]. Пусковий момент, який щонайменше вдвічі перевищує номінальний момент, забезпечує миттєву синхронізацію двох двигунів. Коли два двигуни приводу встановлюються по боках решета, синхронізуються і обертаються в протилежних напрямках, результуюча горизонтальна складова нерівноважної сили компенсується, що призводить до лінійної вібрації. В результаті лінійна вібрація досягається при будь-якій величині кута кріплення двох двигунів, але кут кріплення повинен бути однаковим для кожного двигуна. Якщо цей кут кріплення більший за нульовий, вертикальна складова нерівноважної сили створює горизонтальну силу на решеті, що дозволяє матеріалу рухатися по решету.

Враховуючи потужність двигуна, яка становить 1,5 кВт та швидкість 3000 об/хв використовується двигун потужністю 0,5 кВт на 3000 об/хв.

Крутний момент [17, 18]

$$T = \frac{p}{\omega}$$

де T – крутний момент вала вібрації, Нм;

p – потужність вала вібрації, кВт;

ω – кутова швидкість вала вібрації, рад/с.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$T = \frac{0,5}{\frac{2 * 3000}{60}}$$

$$T = 1,6 Nm$$

Загальний крутний момент [17, 18]

$$T_t = T_r + T$$

$$T_t = 3,183 Nm + 1,6 Nm$$

$$T_t = 4,783 Nm$$

Необхідна потужність двигуна [17, 18]

$$p = T_t * \omega$$

$$p = 4,783 * (\frac{2 * 1500}{60})$$

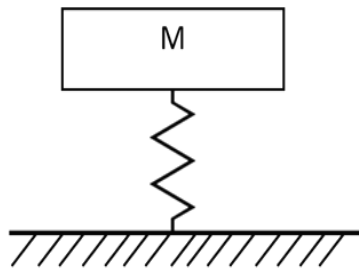
$$p = 0,75 kW$$

Щоб досягти цієї потужності, необхідно враховувати ефективність двигуна, яка зазвичай знаходиться в межах 70%-85%. Виходячи з цього відсотка, обирають найнижчий для того, щоб підібрати відповідний двигун. У цьому випадку це 70%, і, враховуючи, що потрібна потужність 1,5 кВт, значення потужності множать на мінімальний відсоток для вибору, ґрунтуючись на потужності двигуна 2,2 кВт помножене на мінімальну ефективність 70% дає нам результат 1,5 кВт, що дає значення потрібної потужності [18-21]. Для отримання лінійного руху на вібраційному ситі потрібні два вібраційний двигуни. Коливальна сила створювалася двома однаковими двигунами-вібраторами, розташованими на протилежних сторонах конструкції вібраційного сита. Два двигуни обертаються у протилежних напрямках один відносно одного, що в результаті не створює результуючої сили. Для цієї конструкції були обрані два двигуни Venanzetti VV30B/4, які працюють на частоті 25 Гц (4 полюси) і можуть забезпечувати максимальну коливальну силу по 7,36 кН кожен.

У такій машині необхідно ізолювати вібрації корпусу від передачі на опорні елементи пристрою. Важливо розрізняти гасіння вібрацій і ізоляцію вібрацій. Хоча ці два терміни можуть звучати дуже схоже, існує важлива різниця в їхніх технічних визначеннях. Гасіння вібрацій – це процес поглинання або зміни енергії вібрації для зменшення кількості енергії, що передається на обладнання або машини, тоді як ізоляція від вібрацій запобігає потраплянню енергії в машини [17, 18]. У цьому випадку мета полягає в тому, щоб запобігти потраплянню вібрацій у опори, і тому ізоляція є головною метою, а пружини є найпростішим засобом для її досягнення. Обрані пружини

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

повинні добре підходити для цього застосування, оскільки занадто жорстка пружина (висока жорсткість пружини) передавала б усі вібрації до опори, що повністю нівелювало б ціль використання пружини.



Надто слабка пружина (низька жорсткість пружини) повністю стискала б лише під вагою тіла ще до того, як машина почне вібрувати, і це також небажано. Модель, яка використовується для початкового аналізу цієї машини, можна знайти на рисунку 2.6.

Рисунок 2.6 – Пружини для віброізоляції

Вібраційний двигун може бути розташований у різних місцях рами сита. Залежно від того, де розташований цей механізм, сито буде спроектоване для певної вантажопідйомності та застосування. Також ефект, що виникає від вібрацій, рух сита (круговий, еліптичний та лінійний) та ефективність просіювання змінюються залежно від цього розташування [16]. Вібраційний механізм, розташований у центрі сита. Таке розташування створює круговий рух і обертання вібратора може бути за напрямком потоку або проти матеріалу. У першому випадку здобувають більшу продуктивність і меншу ефективність, тоді як у другому – навпаки. Зазвичай застосовуються на нахилених ситах для важких робіт. Верхній монтаж і обертання за напрямком потоку матеріалу створює еліптичний рух на кінцях сита і круговий у центральній частині. Такий тип обертання полегшує рух матеріалу по просіювальній поверхні, збільшуючи продуктивність, але зменшуючи ефективність. Цей тип монтажу використовується для грубого просіювання, коли потрібні великі обсяги обробки.

Нахилений зворотно-поступальний вібратор встановлено зверху (або знизу) рами, де вісь трохи нахилена. Чистий рух відбувається по прямій лінії, щоб переміщати матеріал по поверхні грохоту. Використовується на горизонтальних грохотах для точного сортування матеріалу за розмірами (середнє сортування), видалення води (зневоднення) та в умовах обмеженого вертикального простору [16]. Верхнє кріплення та обертання проти напрямку потоку матеріалу. На ситах відбувається еліптичний рух на кінцях і круговий у центрі. Конструкція дозволяє утримувати матеріал довше на поверхні для просіювання, підвищуючи ефективність та забезпечуючи більшу товщину шару. Однак зменшується пропускна спроможність сита. Використовується, коли потрібна високоефективна класифікація. Реверсивний вібратор з фазовим зсувом. Вібратор встановлюється зверху (або знизу) рами. Він працює в лінії, калібруючи ексцентрик таким чином, щоб він керував іншим. Фазовий зсув визначає кут нахилу сили по прямій. Вібрація в резонансі відбувається за допомогою ексцентричного приводного вала кріплення сепаратора вібрують між гумовими амортизаторами на резонансній частоті. Сепаратори оснащені такого типу вібратором, споживають менше енергії.

6. Система керування відповідає за подачу команд на роботу машини, а також контролюватиме потік енергії, враховуючи завчасно встановлені параметри для правильного функціонування машини, а з іншого боку, за допомогою вимикача машина буде запущена, і також буде ще один вимикач для аварійної зупинки. Усе це знаходитиметься на пульті керування, який дозволить управляти всіма діями машини.

7. Структурна система відповідає за підтримку механізмів машини, а також за їх захист від будь-яких зовнішніх пошкоджень (волога, корозія, удари тощо) і забороняє оператору вставляти будь-які кінцівки всередину машини.

8. Система зберігання відповідає за зберігання зерна після його відділення та видалення з машини, забезпечуючи його цілісність, оскільки це швидкопсувний продукт.

9. Трансмісійна система відповідає за передачу потужності, виробленої двигуном, на підсистему шківів і ременів, які змушують обертатися ролики, щоб продукт виходив окремо і падав у систему сортування.

Системи працюватимуть за допомогою електродвигуна, який перетворюватиме електричну енергію на механічну, а також передаватиме енергію системі передачі та системі сортування. Систему дозування буде мати форму конічного бункера, що дозволить ефективно дозувати сировину. Для системи сортування розроблено систему, яка дозволить здійснювати сортування зерна за розміром за допомогою вібраційного сита. По-перше, енергія буде подаватися в систему керування, електродвигун, систему відбору та систему відділення. Система керування запускає машину, починаючи з електродвигуна, щоб він забезпечував роботу трансмісійної системи. Трансмісійна система відповідатиме за створення сили, швидкості, руху, потужності, крутного моменту та за допомогою певного механізму обертатиме вали для функціонування системи розділення. З іншого боку, за допомогою енергії електродвигуна буде приводитися в дію система сортування, щоб вона могла поділити зерна на фракції. Продукт потрапляє в машину через систему подачі, де він буде дозований для кращого контролю над надходженням у машину та уникнення перенасичення продуктом на вході в машину.

На основі вище зазначеного можна вважати, що розділення та класифікація зернистого матеріалу на різні фракції досягається за допомогою процесу просіювання, який визначається як механічний метод розділення шляхом використання просіювальних машин. Механічне просіювання є дуже важливим процесом, який використовується в харчової промисловості для очищення та класифікації зерна. Зернову сировину зазвичай очищують за допомогою сита з певним розміром отворів, що дозволяє проходити часткам певного розміру. Вібрація сита спричиняє рух менших часток донизу і їх проходження крізь сітку. Вібраційний сепаратор складається з п'яти основних компонентів: корпусу сита (конструкція), вібраційного двигуна (або двигунів), ізоляторів, сит і опорної рами. Вібрацію можна створювати як за допомогою асинхронних двигунів (вібраційних моторів) так і за допомогою кулачків нерегулярного руху. Аналіз наукових джерел показав, що вібраційні процеси є дуже важливими, оскільки використовуються у широкому спектрі різних

галузей. З-поміж найважливіших параметрів вібрацій є змушена робоча форма коливань, частота, амплітуда, кут нахилу сита, а також кут кріплення привідних двигунів. Деякі з цих параметрів впливали на ефективність просіювання, тоді як інші впливали на швидкість потоку матеріалу через сито.

Пропонується здійснити модифікацію вібраційного сепаратора для зерна з урахуванням властивостей сировини. Для цього було запропоновано підсистеми вібраційного сепаратора: система подачі, система очищення зернової оболонки (не є обов'язковим компонентом), система сортування, а також додаткові підсистеми.

Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування;

- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерною сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

Запропоновано систему очищення зернової оболонки (не є обов'язковим елементом). За необхідності, якщо потрібно здійснити попереднє очищення зернової сировини можуть бути встановлені ролики з твердої гуми перед системою сортування. Принцип очищення полягає в тому, щоб пропустити два обертові гумові ролики в протилежних напрямках з різною швидкістю після чого зерна впадуть для подальшого сортування. Після дозування продукт надходитиме безпосередньо до системи очищення, де оболонка від зерна буде відділена за допомогою валків.

Удосконалено систему сортування зернової сировини за розміром, яка містить два або три рівні просіювання залежно від сировини, що підлягає сортуванню. Одне з сит має отвори діаметром 2 мм, а інше – 3 мм. Частинки зерен більші за 3 мм затримуються першим ситом, а ті, що мають розмір між 2 мм і 3 мм – другим ситом. Усі наддрібні частинки менше 2 мм збираються знизу машини. Величина нахилу решета екрана є важливою для процесу руху сировини. При збільшенні кута нахилу решета середня швидкість частинок збільшується, але середня висота викиду зменшується. Решето сита нахилене під кутом 30° до горизонталі. Кут нахилу разом з вібрацією мотора змушує всі зерна переміщуватися вниз уздовж довжини сит. Частинки, які менші за відповідні розміри сита, просипаються на наступний рівень. Сита можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування.

Системи працюватимуть за допомогою електродвигуна, який перетворюватиме електричну енергію на механічну, а також передаватиме енергію системі передачі та системі сортування. Систему дозування буде мати форму конічного бункера, що дозволить ефективно дозувати сировину. Для системи сортування розроблено систему, яка дозволить здійснювати сортування зерна за розміром за допомогою вібраційного сита. За допомогою енергії електродвигуна буде приводитися в дію система сортування, щоб вона могла поділити зерна на фракції.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Проектування вібраційного сита

Проектування вібраційного сита для зерна вимагає знання характеристик зерна. Тверді речовини бувають різноманітних форм і розмірів. Вся тверда сировина за своєю природою є частинковими і доводиться мати справу з великою різноманітністю розмірів і форм. Однією з основних цілей процесу поділу сировини є видалення певних компонентів з продукту. Особливий спектр операцій та сфера зростаючого інтересу стосуються розділення або фракціонування твердих речовин у їхній фракційній формі. Фізичні властивості твердих тіл [3]:

- зовнішній вигляд, розмір, форма, розподіл розмірів, колір, питома вага, щільність частинок, об'ємна щільність, пористість;
- теплові властивості: питома теплоємність, прихована теплота, теплопровідність, теплове дифузне число, питома ентальпія;
- реологічні властивості: пластичність, еластичність, в'язкоеластичність, твердість;
- електропровідність або опір, електричний заряд, діелектрична стала, коефіцієнт діелектричних втрат;
- характеристики дифузії та масообміну.

1. Розмір частинок та розподіл розмірів частинок. Зернова сировина буває дуже різних розмірів та форм. Однорідні форми, такі як сфери, можна охарактеризувати однією величиною, тобто діаметром, тоді як для складніших форм може знадобитися два або більше вимірювань [3]. Незалежно від форми, існує кілька методів для характеристики розміру та розподілу розмірів частинок. Розмір частинок може охоплювати кілька порядків величини, від менш ніж 1 мкм до сотень або навіть тисяч мікронів для деяких великих гранул. Розмір частинок можна вимірювати, принципово оцінюючи будь-яку фізичну властивість, яка корелює з геометричними розмірами зразка.

2. Щільність частинок. Щільність окремої частинки є важливою, оскільки вона визначає, чи компонент буде плавати або тонути у воді чи будь-якому іншому розчиннику. Частинка може містити повітря або не містити його. Її можна виміряти за допомогою пляшки для визначення питомої ваги, використовуючи рідину, в якій вона не розчиняється. Однак поверхневі сили можуть почати переважати для тонких порошків. За відсутності повітря щільність частинки можна оцінити за наступним рівнянням, на основі масових часток та щільностей компонентів харчового продукту.

3. Об'ємні властивості. Поведінка сукупної маси частинок або насипу дуже важлива у більшості операцій. Властивості насипу зернової сировини

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Камінський											40	4
Перевір.	Цвіркун												
Н. Контр.	Омельченко											ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
Затверд.	Цвіркун												

залежать від геометрії, розміру, характеристик поверхні, вмісту вологи та обробки.

4. Насипна густина та пористість. Насипна густина є важливою властивістю, особливо для зберігання та транспортування, а не для процесів розділення. Вона визначається як маса, поділена на загальний обсяг, зайнятий матеріалом. Цей загальний обсяг включає повітря, затримане між частинками. Частка об'єму, затриманого між частинками, відома як пористість.

5. Здатність до плинності. Здатність порошків до плинності дуже важлива при обробці. Загалом, плинність збільшується зі збільшенням розміру частинок та зменшенням вмісту вологи. Крім стисливості інші фактори, що використовуються для оцінки плинності є наступними [3]:

- кут ковзання, який вимірюється шляхом розміщення сировини на рівній гладкій горизонтальній поверхні, яка потім повільно нахиляється, поки зерно не почне рухатися. Кут, при якому виникає рух, називається кутом ковзання;

- кут спокою є корисним при проектуванні систем обробки зернової сировини. Його значення залежить від методу визначення, що зазвичай здійснюється шляхом формування насипу.

При просіюванні матеріалів неправильної форми ситуація ускладнюється тим, що частки розміром, близьким до номінального отвору сита, можуть проходити крізь нього лише при сприятливому положенні. Такі частки, іноді називані «частками біля отвору», можуть частково закривати або блокувати отвір сита та зменшувати його ефективну площу. Тому деякі частки менші за номінальний діаметр сита будуть затримані ситом [3]. Частки значно менші за номінальний діаметр сита проходять досить швидко, тоді як ті, що близькі до діаметра сита, потребують значно більше часу і невелика частина може ніколи не пройти крізь сито. Ефективність процесу просіювання залежить від кількості матеріалу, розміщеного на сітці, типу руху та часу, відведеного на процес. Невелика кількість матеріалу призведе до більш ефективного просіювання. Час просіювання може залежати від наступних: характеристики матеріалу, наприклад, тонкість, форма частинок, розподіл за розміром, густина; інтенсивність просіювання; номінальний розмір отворів сітки; характеристики просіювального середовища; вологість повітря.

Розміри типових зерен були виміряні за допомогою цифрового штангенциркуля, а результати вимірювання одного зерна як приклад наведені на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Розміри насіння соняшника

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У роботі оптимізований вібраційний сепаратор для зерна, який містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідну їх кількість для ефективного сортування;
- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерною сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

Одне з цих сит має отвори діаметром 2 мм, а інше – 3 мм. Частинки зерен більші за 3 мм затримуються першим ситом, а ті, що мають розмір між 2 мм і 3 мм – другим ситом. Усі наддрібні частинки менше 2 мм збираються знизу машини. Сита виготовлені з оцинкованої сталі через її економічність. Величина нахилу решета екрана є важливою для процесу руху сировини. При збільшенні кута нахилу решета середня швидкість частинок збільшується, але середня висота викиду зменшується. Сепаратор містить два сита й є частиною пристрою до якої прикріплений вібраційний мотор. Решето сита нахилене під кутом 14° до горизонталі. Кут нахилу разом з вібрацією мотора змушує всі зерна переміщуватися вниз уздовж довжини сит. Частинки, менші за відповідні розміри сита, просипаються на наступний рівень.

Було обрано кілька сит на основі середнього розміру насіння соняшнику, а також інших небажаних частинок, які потрібно було видалити. Вібраційний ситовий апарат був спроектований так, щоб в нього можна було вставити два різні сита: грубе зверху і дрібніші знизу (рис. 3.2). Це дозволить зерну проходити через грубе сито, а більші насінини та інші небажані частки видалятимуться. Дрібне сито дозволить проходити меншим насінням та іншим дрібним небажаним часткам, а зерно залишалося на дрібному ситі і буде видалятися на вихідному кінці вібраційного ситового апарату.

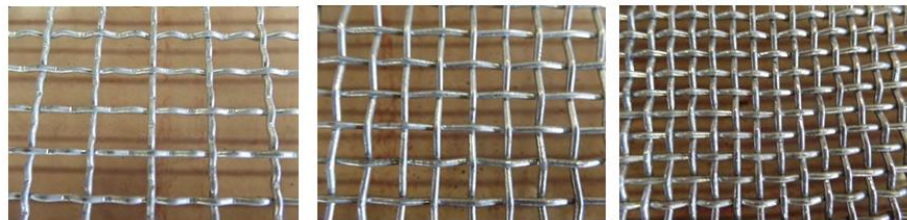


Рисунок 3.2 – Отвори сита

3.2 Моделювання навантаження на сито

Вібраційний екран, який є важливим типом класифікатора розмірів, широко використовується в різних галузях. Екран працює за рахунок дії збудження, яка зазвичай періодично створює змінну центрифужну силу через обертання ексцентричної маси. У робочому процесі через неправильне проектування конструкцій і невідповідні параметри віброуючий екран схильний до недонавантаження або перевантаження, що призводить до поганого ефекту просіювання або викликає тріщини від втоми і навіть серйозні аварії, такі як обвал всієї машини [12, 22]. Тому має велике значення вивчати реакцію віброуючого екрану для покращення ефекту екрану та подовження терміну

служби обладнання від втоми. Для вибору коефіцієнта безпеки беруть до уваги певні аспекти, оскільки якщо коефіцієнт безпеки обраний занадто малим, ймовірність відмови стає неприпустимо великою, якщо обраний занадто великим, результатом буде дорогий.

Здійснено моделювання навантаження на сито. Розподілене навантаження на сито представлено на рисунку рис. 3.3.

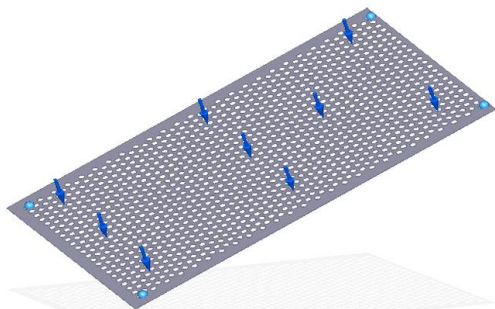


Рисунок 3.3 – Розподілене навантаження на сито

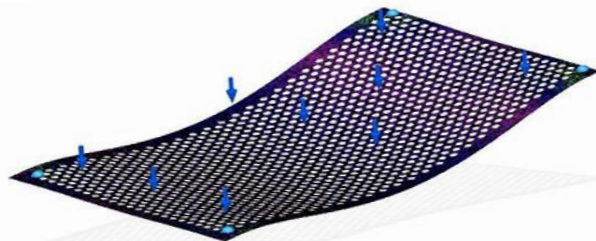


Рисунок 3.4 – Нерівномірно розподілене навантаження на сито

Гармонічна частотна характеристика сканується від 20 до 95 Гц. Змодельовані результати показують, що прискорення центру екрану суттєво змінюється залежно від частоти збудження. Максимальне прискорення досягає 304 м/с^2 , а значення прискорення – 279 м/с^2 коли збуджувач створює силу збудження 53 Гц [12, 22]. Прискорення розподілене нерівномірно, а максимальне прискорення відбувається поблизу центру екрану. Вага навантаження суттєво впливає на власні частоти екрану (рис. 3.4). Частоти знижуються зі збільшенням ваги. Оскільки вага навантаження суттєво впливає на власну частоту екрану, вібраційна характеристика також буде різною під різними вагами навантаження. Динамічна характеристика суттєво змінюється залежно від зміни ваги навантаження та частоти збудження. Існує три шляхи, які призводять до раптового збільшення прискорення вібрації:

- вага навантаження змінюється в межах 0-50 кг, а частота збудження – в межах 40-60 Гц, а типова модальна форма – одинарна увігнута;
- вага навантаження змінюється в межах 10-100 кг, а частота збудження – в межах 50-90 Гц, а типова модальна форма – подвійна увігнута.

На основі вище зазначеного можна вважати, що розмір та форма зернової сировини досить різноманітна. Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортуванню або встановлюватися необхідну їх кількість для ефективного сортування. Задля проєктування вібраційного сита для зерна розміри типових зерен були виміряні за допомогою цифрового штангенциркуля. На основі отриманих параметрів було обрано кілька сит на основі середнього розміру насіння соняшнику. Вібраційний ситовий апарат був спроектований так, щоб в нього можна було вставити декілька різних сит, наприклад, грубе зверху і дрібніші знизу, що дозволить зерну проходити через грубе сито, а більші насінини та інші небажані частки видалятимуться. Інтерпретовано результати дослідження.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції. У роботі зазначено, що відокремлення одного або кількох компонентів із складної суміші є важливим процесом в харчовій промисловості. Розділення та класифікація зернової сировини на різні розміри досягається за допомогою процесу просіювання, який визначається як механічний метод розділення шляхом використання просіювальних машин, а саме сепараторів. Усі процеси відокремлення ґрунтуються на використанні відмінностей у фізичних або хімічних властивостях суміші компонентів.

У першому розділі зазначено, що сепаратор – це спеціалізована машина, яка використовується для розділення маси зерна на фракції з різними властивостями. Він працює за принципом розділення сировини за розміром, формою, щільністю або аеродинамічними характеристиками. Сепаратор зерен оснащений вентиляторами, ситами та пневматичними системами, які забезпечують розділення зерен і видалення домішок. Сепаратор зерна може бути окремим блоком або частиною комплексу з очищення зерна.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що сепаратори зерен поділяються на кілька типів залежно від конструкції та принципу роботи. Найпоширеніші з них: вібраційні сепаратори, аеродинамічні сепаратори, магнітні сепаратори, кольорові сепаратори. Розділення сировини через перфоровані решітки дає матеріали більш однорідного розміру частинок. Існує широкий спектр геометричних конструкцій, включаючи плоскі та обертові сита з фіксованими отворами, а також доступні численні конструкції зі змінними отворами. Різницями в аеродинамічних властивостях можна користуватися при очищенні, сортуванні та калібруванні твердої харчової сировини (наприклад, зернових, гороху, борошна) у сухому стані.

Другий розділ присвячено оптимізації конструкції вібраційного сепаратора для зернової сировини. Зазначено, що вібраційний сепаратор складається з п'яти основних компонентів: корпусу сита (конструкція), вібраційного двигуна (або двигунів), ізоляторів, сит і опорної рами. Вібрацію можна створювати як за допомогою асинхронних двигунів (вібраційних моторів) так і за допомогою кулачків нерегулярного руху. З-поміж найважливіших параметрів вібрацій є змущена робоча форма коливань, частота, амплітуда, кут нахилу сита, а також кут кріплення привідних двигунів. Деякі з цих параметрів впливали на ефективність просіювання, тоді як інші впливали на швидкість потоку матеріалу через сито.

Пропонується здійснити модифікацію вібраційного сепаратора для зерна з урахуванням властивостей сировини. Для цього було запропоновано

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення сепаратора для механічного поділу сипучої харчової сировини на фракції		
Розроб.	Камінський						
Перевір.	Цвіркун						
Н. Контр.	Омельченко						
Затверд.	Цвіркун						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						44	4
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

підсистеми вібраційного сепаратора: система подачі, система очищення зернової оболонки (не є обов'язковим елементом), система сортування, а також додаткові підсистеми.

Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить:

- сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідна їх кількість для ефективного сортування;

- гумові ролики для відділення оболонки від зерна за необхідності, які під час обертання будуть контактувати з зерною сировиною не пошкоджуючи зерно та відділяючи його від оболонки.

Запропоновано систему очищення зернової оболонки (не є обов'язковим компонентом). За необхідності, якщо потрібно здійснити попереднє очищення зернової сировини можуть бути встановлені ролики з твердої гуми перед системою сортування. Принцип очищення полягає в тому, щоб пропустити два обертові гумові ролики в протилежних напрямках з різною швидкістю після чого зерна впадуть для подальшого сортування. Після дозування продукт надходитиме безпосередньо до системи очищення, де оболонка від зерна буде відділена за допомогою валків.

Удосконалено систему сортування зернової сировини за розміром, яка містить два або три рівні просіювання залежно від сировини, що підлягає сортуванню. Одне з сит має отвори діаметром 2 мм, а інше – 3 мм. Частинки зерен більші за 3 мм затримуються першим ситом, а ті, що мають розмір між 2 мм і 3 мм – другим ситом. Усі наддрібні частинки менше 2 мм збираються знизу машини. При збільшенні кута нахилу решета середня швидкість частинок збільшується, але середня висота викиду зменшується. Решето сита нахилене під кутом 30° до горизонталі. Кут нахилу разом з вібрацією мотора змушує всі зерна переміщуватися вниз уздовж довжини сит. Частинки, які менші за відповідні розміри сита, просипаються на наступний рівень.

Системи працюватимуть за допомогою електродвигуна, який перетворюватиме електричну енергію на механічну, а також передаватиме енергію системі передачі та системі сортування. Систему дозування буде мати форму конічного бункера, що дозволить ефективно дозувати сировину. Для системи сортування розроблено систему, яка дозволить здійснювати сортування зерна за розміром за допомогою вібраційного сита. За допомогою енергії електродвигуна буде приводитися в дію система сортування, щоб вона могла поділити зерна на фракції.

Оптимізований вібраційний сепаратор для зерна містить сита, які можуть змінюватися з урахуванням зернової сировини, що підлягає сортування або встановлюватися необхідну їх кількість для ефективного сортування. Задля проєктування вібраційного сита для зерна розміри типових зерен були виміряні за допомогою цифрового штангенциркуля. На основі отриманих параметрів було обрано кілька сит на основі середнього розміру насіння соняшнику. Вібраційний ситовий апарат був спроектований так, щоб в нього можна було вставити декілька різних сит, наприклад, грубе зверху і дрібніші знизу, що дозволить зерну проходити через грубе сито, а більші насінини та інші небажані частки видалятимуться. Інтерпретовано результати дослідження.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зернові сепаратори. Режим доступу:
<https://kmzindustries.ua/product/separatoryi>.
2. Зерносепаратори. Режим доступу:
<https://finpro.group/uk/produkti/zernoochyschennya>.
3. Separation processes in the food and biotechnology industries. URL:
https://cdn.preterhuman.net/texts/science_and_technology/nature_and_biology/.
4. Separation processes (unit operations). URL:
https://www.polyu.edu.hk/edc/tdg/userfiles/file/490Q_ABCT/ICBPT_cht3Sep.pdf.
5. Cleaning and grading. URL:
<https://egyankosh.ac.in/bitstream/123456789/12073/1/Unit-3.pdf>.
6. Grading and sorting. URL: [file:///C:/Users/admin/Downloads/Unit-8%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/Unit-8%20(2).pdf)
7. Способи сепарування та сепаратори зернової маси. Режим доступу:
<https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/en/article/view/655/640>.
8. Зернові сепаратори: особливості та види. Режим доступу:
https://interteam.com.ua/uk/zernovye-separatory-osobennosti-i-vidy/#google_vignette.
9. 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.
10. Diseño de un transportador vibratorio para azúcar refinada de 10 tm/hr. URL: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ac119565-c128-4d7a-942d-0d02b8d69ea2/content>.
11. Diseño y simulación de una zaranda mecánica oscilatoria con una capacidad 50 kg/min de arena. URL: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20771/1/UPS%20-%20TTS477.pdf>.
12. Influence of load weight on dynamic response of vibrating screen. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2019/4232730?msocid=29d1ac94265a6a6e05babf7527316be4>.
13. Оптичне сортування: як досягти максимальної вартості зібраного врожаю. Режим доступу: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychnе-sortuvannia-iaк-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibranoho-vrozhaiu/>.
14. Обґрунтування конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора. Режим доступу:
<https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8c404ca7-1bce-4c0a-a0c7-11f3711653a6/content>.
15. Багатофракційний вібраційний сепаратор з вертикальним кінематичним віброзбуджувачем. Режим доступу:
<https://repository.vsau.org/getfile.php/2455.pdf>.

16. Diseño de una criba vibratoria para el procesamiento de arcilla en una planta de cemento. URL: <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/d3165238-4ffe-4e1f-8823-8fd815eb56a4/content>.

17. Diseño de una máquina para separar los granos de garbanzo de la vaina de la especie kabuli. URL: <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/f77fe201-5db6-4e93-be10-58afd5d18827/content>.

18. Design optimisation and experimental evaluation of a grain vibration screen. URL: <https://repository.nwu.ac.za/bitstreams/6b326d26-b3b0-46e3-b15f-68a54b36e15e/download>.

19. Реалізація лінійних, еліптичних і колових коливань робочих органів вібраційних технологічних машин за допомогою вібраторів планетарного типу. Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45548/2/AM_2024.

20. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин. Режим доступу: <https://repository.vsau.org/getfile.php/13074.pdf>

21. Коливання привода вібраційних машин з дебалансними збудниками. Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/istcipa/vsi-vypusky/vyp-52-2018/kolyvannya-pryvoda-vibratsiynyh-mashyn-z-debalansnymu-zbudnykamy>.

22. Моделювання розподілу механічних напруг на сіючих поверхнях вібраційних машин. Режим доступу: <https://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/0564/2213>.

23. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів віброфрикційного сепаратора дрібнонасіненних матеріалів. Режим доступу: <https://kntu.kr.ua/file/content/12924/dysertatsiia-nykyforov-ao.pdf>.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		