

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр»
на тему:

**Обґрунтування технології підготовки зернової
сировини для виробництва комбикормів**

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТ-1-23
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Лілія ВОРОНОВА

Керівник: _____ Віталій КОШУЛЬКО

Рецензент: _____

Дніпро 2024

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«12» листопада 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Воронова Лілія Миколаївна

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології підготовки зернової сировини для виробництва комбікормів».

Керівник роботи: Кошкулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» листопада 2024 року № 3785.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 13 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи 1 Літературні джерела та періодичні видання. 2 Наукова та науково-технічна документація, що стосується питань виробництва комбікорму. 3 Нормативно-технологічна документація. 4 Патенти та авторські свідоцтва.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Стан питання та завдання. 2 Матеріали, методика експерименту і опис експериментальної установки. 3 Дослідна частина. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Аналіз стану питання. 2 Мета та задачі досліджень. 3 Схема проведення досліджень. 4 Дослідна частина. 5 Технологічна схема виробництва комбікорму. 6 Кошторис витрат на проведення досліджень. 7 Загальні висновки.

✚ 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Посада, прізвище та ім'я консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---------------------------------------|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 – 4 | доцент Кошулько Віталій | 12.11.2024 | 13.12.2024 |
| 5 | доцент Кошулько Віталій | 12.11.2024 | 13.12.2024 |
| 6 | доцент Кошулько Віталій | 12.11.2024 | 13.12.2024 |

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Вступ | 12.11-13.11.24 | виконано |
| 2 | Аналітичний огляд літератури | 14.11-18.11.24 | виконано |
| 3 | Організація проведення досліджень | 19.11-20.11.24 | виконано |
| 4 | Дослідна частина | 20.11-29.11.24 | виконано |
| 5 | Оцінка споживчих властивостей | 02.12-03.12.24 | виконано |
| 6 | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 04.12-05.12.24 | виконано |
| 7 | Організаційно-економічна частина | 06.12-09.12.24 | виконано |
| 8 | Загальні висновки та список джерел посилання | 10.12-11.12.24 | виконано |
| 9 | Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу | 12.12.2024 | виконано |

Здобувачка вищої освіти _____ Лілія ВОРОНОВА
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи містить 62 сторінок друкованого тексту, 32 рисунки та ілюстрації, 7 таблиць та використано 56 літературних джерел посилань.

Мета роботи – обґрунтувати процес підготовки зернової сировини у виробництві комбікормів шляхом дослідження конструктивно-технологічних параметрів сепарувально-доподрібнювальної машини, які забезпечують стандартний розмір комбікорму та підтримують контрольовану однорідність комбікормової суміші.

Об'єкт дослідження – технологічний процес роботи сепарувально-доподрібнювальної машини.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей процесу подрібнення комбікормів на сепарувально-доподрібнювальній машині з технологічними показниками якості кінцевого продукту.

Основними показниками роботи підприємств різних галузей харчової промисловості є продуктивність і якість готової продукції, в значній мірі ці показники залежать від подрібнення – однієї з найважливіших операцій. В свою чергу якість комбікормів залежить також від однорідності готового продукту, тобто від відсоткового співвідношення різних зернових культур в суміші комбікормів, які зазначені рецептурою. Чим вища однорідність комбікормів і вирівняність за крупністю його частинок, тим краще засвоюваність сільськогосподарськими тваринами.

Наявність пилоподібних частинок в розсипному комбікормі також знижує його якість. Недоліками такого продукту є втрати при завантаженні, розвантаженні, транспортуванні та роздачі корму. Все це призводить до збільшення витрат продукту в середньому на 10 – 15 %.

Ключові слова: ПОДРІБНЕННЯ, КОМБІКОРМ, КРУПНІСТЬ, ЯКІСТЬ, ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, РОЗРАХУНОК, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ | 8 |
| 1.1 Сучасні технології подрібнення зернової сировини в комбікормовій промисловості | 8 |
| 1.2 Аналіз конструктивних особливостей подрібнювальних машин | 9 |
| 1.3 Аналіз конструктивних особливостей сепарувальних машин | 14 |
| Висновки за розділом | 18 |
| 2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ | 20 |
| 2.1 Визначення гранулометричного складу вихідного та подрібненого продуктів | 20 |
| 2.2 Визначення продуктивності | 23 |
| 2.3 Стандартні методики | 24 |
| 2.4 Опис експериментальної та дослідницької установки сепараційно-подрібнювальної машини | 24 |
| Висновки за розділом | 28 |
| 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА | 29 |
| 3.1 Дослідження ефективності роботи молоткової дробарки при дробленні сумішей зернової та гранульованої сировини | 29 |
| 3.2 Визначення раціональних значень висоти подрібнювальних ребер і розміру сепарувального зазору | 32 |
| 3.3 Вплив кількості подрібнювальних ребер на роторі на процес руйнування частинок сировини | 35 |
| 3.4 Підвищення якості подрібнюваної зернової і гранульованої суміші при спільній роботі молоткової дробарки і сепарувально-доподрібнювальної машини | 39 |
| Висновки за розділом | 45 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1 Розробка карти безпеки праці | 46 |
| 4.2 Шляхи утилізації відходів комбікормового виробництва | 47 |
| Висновки за розділом | 48 |
| 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 49 |
| 5.1 Організація проведення дослідження | 49 |
| 5.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження | 50 |
| 5.3 Розрахунок вартості дослідження | 53 |
| Висновки за розділом | 54 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 55 |
| БІБЛІОГРАФІЯ | 57 |

ВСТУП

У сучасних ринкових умовах важливими є питання розробки нових видів обладнання, удосконалення технологічних процесів та створення екологічно чистих продуктів. Конкурентоспроможність підприємств залежить від якості продукції та вимог до обладнання. Подрібнення є ключовою операцією, що впливає на продуктивність та якість комбікормів. Однорідність корму та розмір зерен важливі для засвоюваності худобою. Пілуваті частинки знижують якість продукту, збільшуючи витрати на 10-15%.

Метою роботи є демонстрація процесу підготовки зернової сировини для виробництва комбікормів шляхом дослідження технологічних і конструктивних параметрів сепарувально-доподрібнювальних машин, які забезпечують стандартні розміри корму та підтримують контрольовану однорідність комбікормової суміші.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- вибір аналога сепаруючо-подрібнювальної машини;
- визначення раціональних параметрів робочого органу цієї машини;
- дослідження впливу технологічних параметрів досліджуваної машини на гранулометричний склад продукту;
- розробка нової технічної схеми;
- розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес роботи сепарувально-доподрібнювальних машин.

Предметом дослідження є встановлення закономірностей процесу подрібнення кормів на сепарувально-доподрібнювальних машин, а також технологічних показників якості кінцевого продукту

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасні технології для подрібнення зернової сировини в комбікормовій промисловості

Основними машинами в комбікормовій промисловості є молоткові дробарки, які мають недоліки, зокрема нерівномірний гранулометричний склад. Для покращення процесу подрібнення використовують технологію з проміжним просіюванням, що включає чотири основні методи.

У першому методі (рис. 1.1 а) очищене зерно проходить через магнітний сепаратор до молоткової дробарки, а потім на просіювач, звідки частини змішуються з іншими компонентами. Для подрібнення суміші використовують інший метод (рис. 1.1 б), де продукт повторно подрібнюється перед змішуванням.

Третій метод (рис. 1.1 в) відрізняється тим, що продукт з другої дробарки йде безпосередньо в лінію дозування, а в четвертому (рис. 1.1 г) - після молоткової дробарки продукт повертається до того ж млина через просіювач.

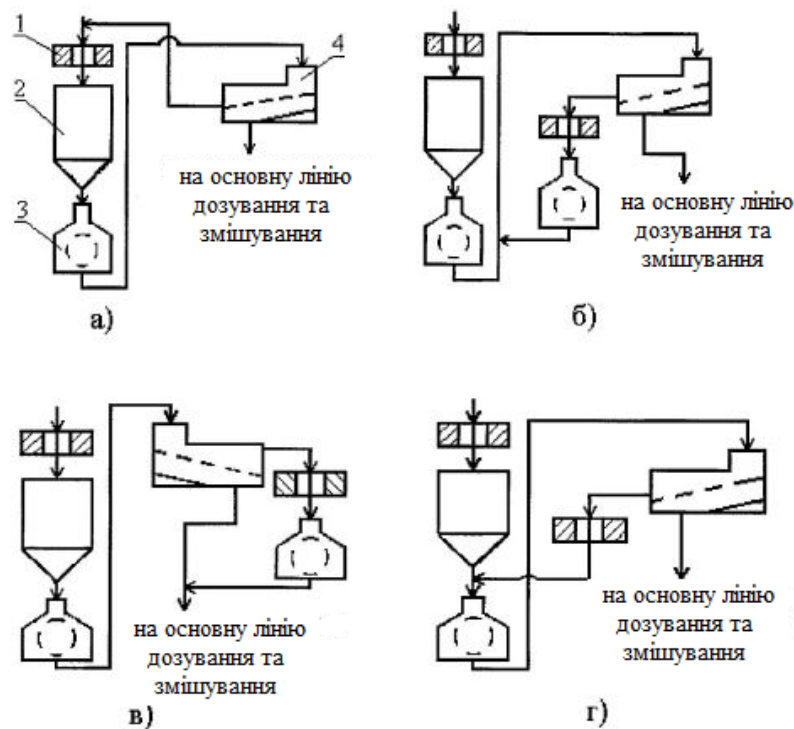


Рисунок 1.1 – Схеми підготовки зернової сировини

1 – магнітна колонка; 2 – бункер; 3 – молоткова дробарка; 4 – сепаратор

Використання проміжного просіювання при подрібненні сировини дозволяє заощадити енергію та зменшити вміст фракцій переподрібнення. Проте потрібно додаткове обладнання. Дослідження в Італії показали, що установка просіювальної машини між дробарками знижує енергоспоживання на 7-14% на тону продукту. Енергію також можна зекономити через попереднє сортування, розміщуючи сортувальну машину до або після дробарки. Це вимагає використання високопродуктивних просіювальних машин для вилучення дрібних фракцій. Основний недолік просіювальних машин у комбікормовій промисловості - складність контролю розміру частинок. Перспективним є використання безрешітних дробарок, сепараторів та дробарок.

1.2 Аналіз конструктивних особливостей подрібнювальних машин

На сьогодні не існує єдиного підходу або принципу класифікації подрібнювачів. Існує багато різних варіантів класифікації машин, запропонованих вченими [8, 20, 35]. В основі цих класифікацій лежать конструктивні особливості машини, її технічна ефективність, ступінь можливого подрібнення сировини та необхідна тонкість кінцевого продукту.

На комбікормових заводах для подрібнення зернових продуктів найбільш широко використовуються молоткові млини. У нашій країні в комбікормовій промисловості в даний час в основному використовуються молоткові дробарки типу А1-ДМР, А1-ДДР, А1-ДДП, ДМ і ДМ-440У

За кордоном розробкою та виробництвом молоткових дробарок займаються понад 20 компаній. Вони представлені Bühler Group (Швейцарія), Hosokawa Micron Group (Японія/Німеччина), ANDRITZ Group (Австрія), Peltene Instruments (Швеція), Flewitt (Швейцарія), Munson Machinery Company (США), SaintyCo (China) та ін. [9, 12 - 19, 21, 24].

Молоткові дробарки можна класифікувати за способом подачі продукту в камеру дроблення: якщо продукт подається радіально, то це дробарки типу А1-ДМР, що випускаються в трьох варіантах: А1-ДМР-6, А1-ДМР-12 і А1-ДМР-20.

молотки, що подають продукт радіально. Серед зарубіжних конструкцій дробарок найбільш ефективними є дробарки фірми Bühler, такі як DMSE та Cynol DFZC [12, 13, 17, 18].

Основні показники роботи молоткових дробарок включають продуктивність, енерговитрати на подрібнення, гранулометричний склад продукту і ступінь подрібнення [5, 22, 25,]. Продуктивність і енерговитрати залежать від конструкції дробарки. Для виробництва комбікормів потрібно подрібнення зернових і бобових культур, а також різних фракцій сировини. Вологість, початкова крупність і подрібнюваність впливають на ефективність роботи млинів. Найважче подрібнюється вівсяне зерно, а ядро ячменю має міцну структуру, тому продуктивність дробарок оцінюється за подрібнювальною здатністю ячменю [35].

Кругова швидкість молотків ротора є ключовим параметром молоткових дробарок, що впливає на процес подрібнення. Для інтенсифікації подрібнення її намагаються наблизити до критичної, що викликає інтенсивне руйнування матеріалу. Для підвищення продуктивності при подрібненні зернової сировини потрібна кругова швидкість понад 100 м/с, але сучасні дробарки зазвичай мають швидкість не більше 100 м/с.

Як показали дослідження [18], збільшення кругової швидкості молотків ротора понад 80 м/с при подрібненні майже всіх видів зернових призводить до різкого зростання питомої витрати енергії. У камері молоткової дробарки утворюється кільцевий рухливий шар продукту завтовшки від 20 до 32 мм в залежності від величини завантаження дробарки. При цьому швидкість руху окремих частинок залежить від положення частинок в шарі. Як показали дослідження, великі частки продукту в кільцевому шарі розташовуються ближче до сита, а дрібні – далі.

Внаслідок цього в молоткових дробарках відбувається більше подрібнення частинок продукту, сито знаходиться в умовах інтенсивного стирання і швидко виходить з ладу.

Гранулометричний склад вихідної і подрібненої сировини найчастіше знаходять за допомогою ситового аналізу продукту. Так, стандартна методика визначення крупності розсипних комбікормів включає просіювання його наважки через набір сит з діаметром отворів 5, 3, 2 мм і знаходження числових значень середнього розміру частинок за такою формулою:

$$d_{cp} = \frac{\sum_1^K d_i \cdot X_i}{\sum_1^K X_i}, \quad (1.1)$$

де d_i – середній розмір частинок i -ої фракції продукту, який визначається як напівсума розмірів отворів сита, через яке пройшов продукт, і сита, з якого він одержаний в результаті сходу;

X_i – маса i -ої частинки сходових фракції продукту.

Ступінь подрібнення можна визначити, знаючи середній розмір вихідного і подрібненого продуктів.

$$i = \frac{d_{cp.вих.}}{d_{cp.подр.}}, \quad (1.2)$$

де $d_{cp.вих.}$ – середній розмір часток вихідного продукту;

$d_{cp.подр.}$ – середній розмір часток подрібненого продукту.

В даний час розроблені дробарки без решіт. Розроблено пальцеві подрібнювачі (рис. 1.2), які складаються з камери подрібнення 1, ротора 2, живильника 3, електродвигуна 4 і рами 5. Камера подрібнення виконана в циліндричній формі з чотирма дверцятами. Посередині камери вісім пальців 6 закріплені на верхній плиті 9 і охоплюють всю внутрішню поверхню циліндра. У верхній частині помольної камери встановлені підшипниковий вузол ротора і живильник. У нижній частині є отвір для виходу подрібненого продукту з машини 7, де закріплений нижній підшипниковий вузол [47].

Ротор складається з барабана, шківів і вертикального вала, до якого кріпиться робоче колесо з лопатями 8. Барабан має різьбові отвори для кріплення циліндричних пальців або пробок по двонаправленій спіралі, яка піднімається вгору при обертанні ротора.

Працює пальцевий подрібнювач наступним чином. Продукт самопливом надходить в живильник, проходить через зазор між поверхнею конуса і нижнім кінцем рухомої шийки, ковзає по похилій поверхні конуса і через кільцеподібний виріз потрапляє в камеру подрібнення. У камері подрібнення циліндричні пальці ротора впливають на продукт, і він подрібнюється. Подрібнений продукт виводиться з машини за допомогою крильчатки.

Іншим типовим прикладом безрешітної дробарки є відцентрова двороторна дробарка, розроблена вченими [22] (рис. 1.3), в якій використовується властивість частинок змінювати свою пружність.

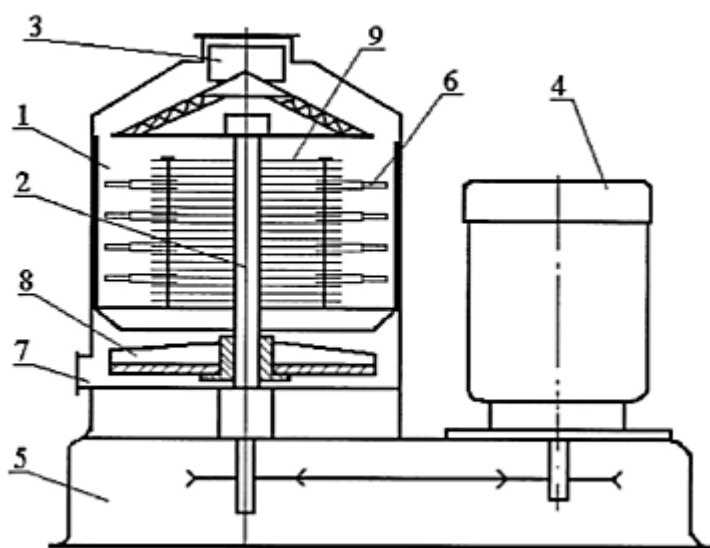


Рисунок 1.2 – Схема пальцевого подрібнювача

1 – камера подрібнення; 2 – ротор; 3 – живильник; 4 – електродвигун; 5 – станина;
6 – палець; 7 – вихідний патрубок; 8 – крильчатка; 9 – дека.

Двороторна дробарка має нерухомий корпус 1, завантажувальний патрубок 2 і розвантажувальний патрубок 3. Внутрішній і зовнішній ротори 4 і 5 розташовані один всередині одного і змонтовані в корпусі, який може обертатися

навколо осі. Ротори складаються з дисків 6, 7, 8 і 9, з'єднаних між собою штифтами 10 і 11, на яких обертаються молотки 12 і 13. Зовнішній ротор 5 оснащений лопаттю 15 з постійним радіусом кривизни. Лопатка 15 встановлена таким чином, що її увігнута поверхня спрямована назустріч руху продукту по поверхні дека. Ротори 4 і 5 приводяться в рух клинопасовою передачею від електродвигунів 16 і 17.

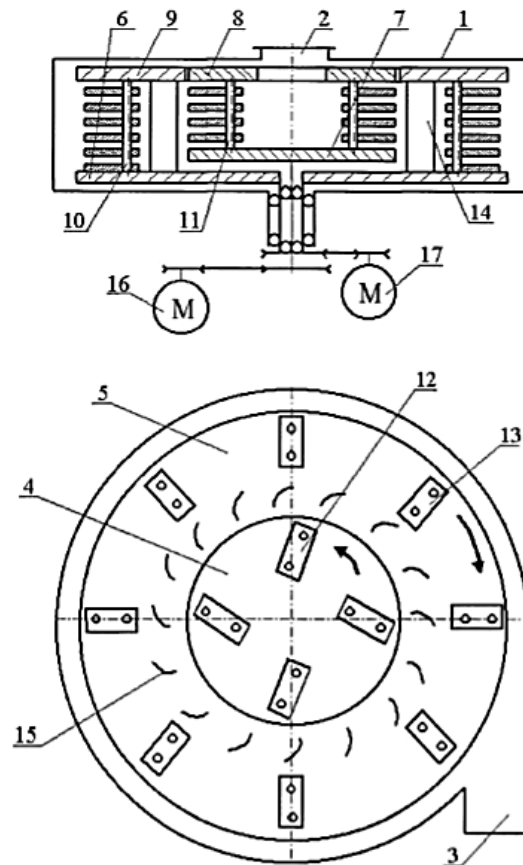


Рисунок 1.3 – Схема двороторної дробарки

- 1 – корпус; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – розвантажувальний патрубок;
 4 – внутрішній ротор; 5 – зовнішній ротор; 6, 7, 8, 9 – диски; 10, 11 – пальці;
 12, 13 – молотки; 14 – дека; 15 – лопатки; 16, 17 – привід.

Двороторна дробарка працює так: продукт із завантажувального отвору потрапляє на диск внутрішнього ротора, де його захоплює молоток. Частинки прискорюються, руйнуються ударами об лопаті та молотки, а дрібні частинки виводяться відцентровими силами й потоком повітря. Подрібнений матеріал виводиться через вивантажувальний патрубок.

Багатоступеневе подрібнення підвищує ступінь подрібнення, вирівнює гранулометричний склад і знижує енерговитрати. Це досягається руйнуванням зерна через тріщини від багаторазових ударів. Додаткове розбивання молотком зовнішнього ротора об деку забезпечує відсутність цілих і великих зерен. Роторні дробарки без решіт є перспективними.

1.3 Аналіз конструктивних особливостей сепарувальних машин

Ефективність сепарації залежить від динамічної взаємодії сипкого матеріалу з сепаруючою поверхнею, що визначається рухом і геометрією об'єктів. Вчені класифікують сепаратори на гравітаційні та інерційно-гравітаційні (рис. 1.4) [2].

До першої групи належать сепаратори з нерухомою або прямолінійно рухомою плоскою поверхнею, де розділення визначається гравітаційним полем. Приклад – сита, які використовуються в комбікормовій і харчовій промисловості. Ефективність залежить від процесу просіювання, постійної товщини шару продукту та його кінематичних параметрів.

Ефективність розділення сировинної суміші на сита залежить від процесу просіювання на початку та самосортування в кінці. Міцність сита зростає з товщиною шару до критичної точки, після чого зменшується. Інерційно-гравітаційні сепаратори включають всі типи сепараторів з рухомою або нерухомою сепаруючою поверхнею, зокрема центрифуги. Основною особливістю центрифуг є форма ротора, що впливає на характеристики інерційного і гравітаційного полів під час розділення.

Залежно від конструкції ротора розрізняють такі основні типи центрифуг, як конічні, циліндричні, лопатеві та дискові. За центрифугами з конічними роторами слідують центрифуги з криволінійними поверхнями ротора.

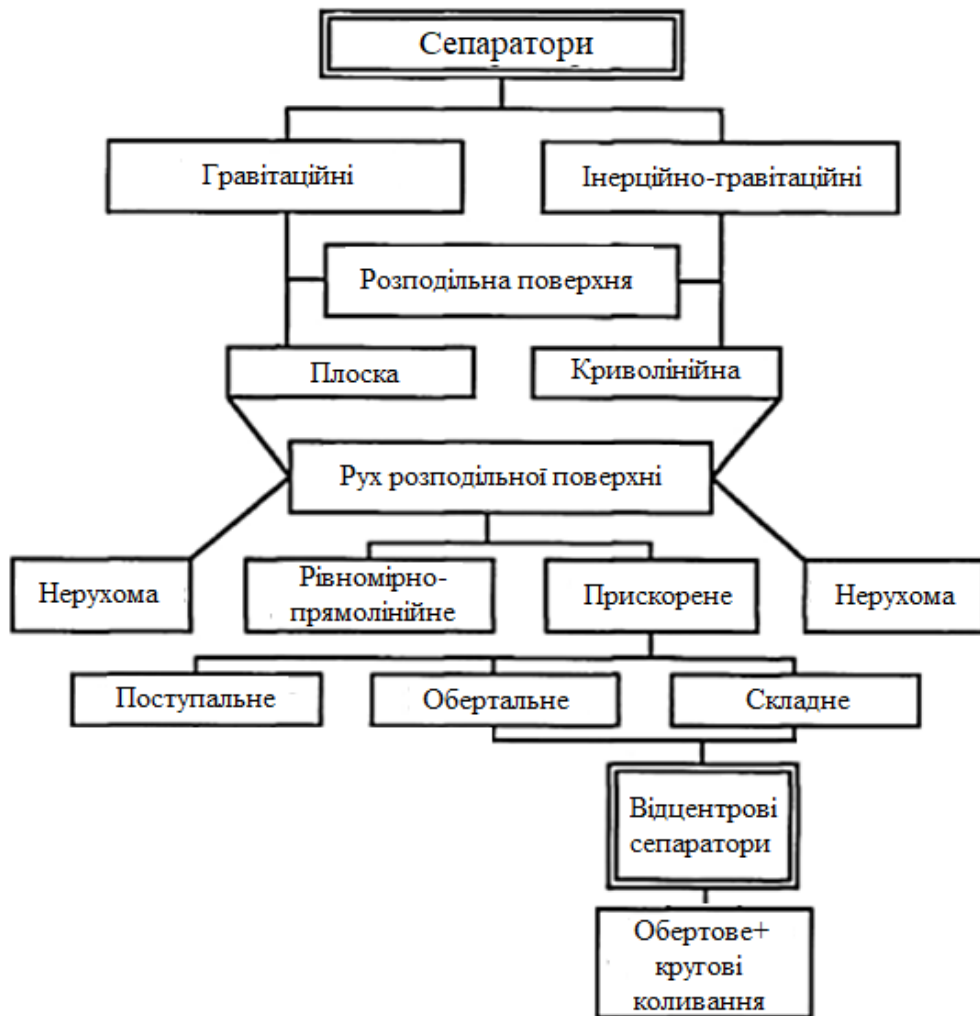


Рисунок 1.4– Класифікація сепараторів за динамічними ознаками

Відцентрові сепаратори мають різні принципові особливості, зокрема орієнтацію осі обертання ротора щодо гравітаційного поля. Вони можуть мати вертикальну, горизонтальну або похилу осі обертання, а також конічні, циліндричні чи дискові ротори. Сепаратори для сипучих матеріалів поділяються на групи за функціями, наприклад, центрифуги для розділення зернових за шириною і товщиною.

У відцентрових сепараторах з конічними роторами зниження швидкості на виході призводить до зниження ефективності розділення. Для подолання цього, ротори можуть мати кілька конічних поверхонь.

Циліндричні сепаратори мають обмежений коефіцієнт розділення, який залежить від властивостей розділюваної суміші в найнижчій точці циліндричної поверхні.

Відцентрові дрилі - інерційно-гравітаційні сепаратори з обертовими циліндричними решітними поверхнями, де коефіцієнт розділення збільшується завдяки бісерним роторам усередині сепаруючого циліндра.

Серед інерційно-гравітаційних сепараторів з циліндричною сепаруючою поверхнею важливі машини зі стаціонарною поверхнею, такі як сепаратори для первинного миття зерна та машини бічного обмолоту [42]. Відцентрові сили, що розділяють фракції в таких машинах, виникають через рух продукту по криволінійній поверхні, обертаємої бісерним або лопатевим ротором.

Серед інерційно-гравітаційних сепараторів виділяють відцентрові повітряні сепаратори (скальператори).

Сьогодні поширюється використання машин, що виконують як сепарацію, так і подрібнення, наприклад, зернопереробних агрегатів(рис. 1.5. Цей пристрій має станину 1, на якій підвішені основний блок 4 і завантажувальний патрубок 3.

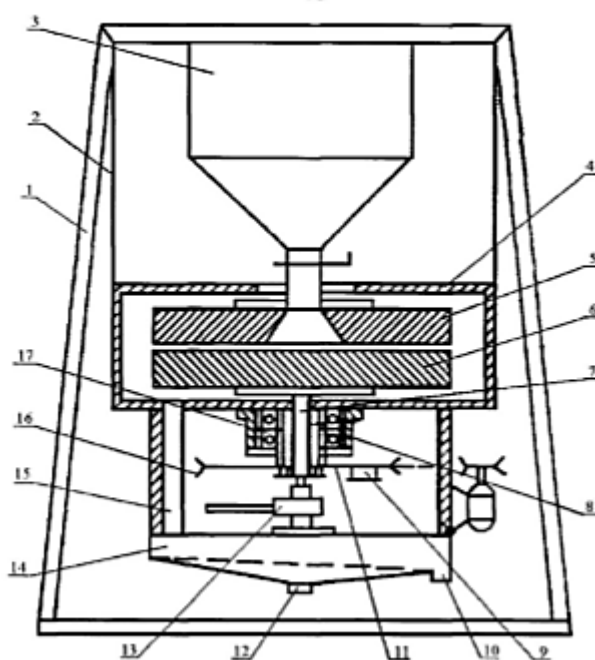


Рисунок 1.5 – Пристрій для переробки зерна

1 – станина; 2 – тяга; 3 – приймальний патрубок; 4 – корпус; 5 – верхній горизонтальний диск; 6 – нижній горизонтальний диск; 7 – вертикальний шліцьовий вал; 8 – шліцьова втулка; 9 – дисбаланс; 10 – випускний патрубок сходової фракції; 11 – коливальник; 12 – випускний патрубок проходової фракції; 13 – механізм регулювання зазору 14 – розсійник; 15 – живильник; 16 – шків.

Корпус має два горизонтальні диски: верхній з центральним вхідним отвором 5 та нижній 6, закріплені на шліцьовому валу 7. На вал надіта шліцьова втулка 8. Решето 14 прикріплено до корпусу та оснащено живильником 15. Осцилятор 11, закріплений на приводному валу шківів 16, створює дебаланс 9 і вібраційний рух. Вихідні патрубки 10 і 12 для сходової та прохідної фракцій закріплені на планшайбі.

Відцентрові сили, що виникають при обертанні нижнього диска, та інерційні сили вібраційного руху направляють зерно в зазори між дисками, де воно подрібнюється. Подрібнені ядра вибиваються до краю нижнього диска та потрапляють у живильник, звідки поступають у розсів. На виході розсіву отримують сходову та прохідну фракції.

Одним з перспективних напрямків удосконалення процесу сепарації в комбікормовій промисловості є поділ зернового матеріалу під дією відцентрових сил. Схема дискового класифікатора У1-ДКЗ наведена на рисунку 1.6 [38].

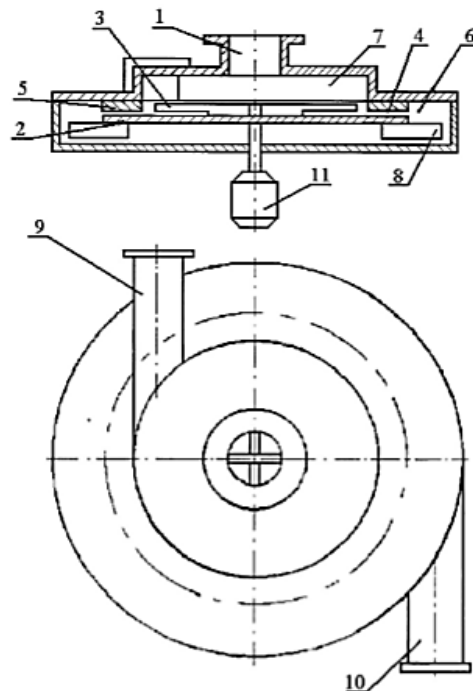


Рисунок 1.6 – Класифікатор дисковий відцентровий

1 – завантажувальний патрубок; 2 – диск; 3 – верхні лопатки; 4 – калібрувальна щілина; 5 – дека; 6 – зовнішня камера; 7 – внутрішня камера; 8 – нижні лопатки; 9 – патрубок для сходових фракцій; 10 – патрубок для прохідної фракції; 11 – привід.

Відцентровий дисковий класифікатор: продукт з бункера потрапляє на обертовий диск 2, який розганяє його відцентровими силами за допомогою лопаті 3. Продукт рухається по периферії диска, де щілина 4 між диском і декою 5 пропускає частинки менше її висоти у зовнішню камеру 6. Ці частинки виводяться лопатою 8 через патрубки 10. Частинки більше за висоту щілини залишаються у внутрішній камері 7 і виводяться через патрубки 9, розташовані над щілиною. Проходженню дрібних частинок через щілини сприяють відцентрові сили та різниця аеродинамічного тиску, що створюється при обертанні диска.

Багато дослідників вважають, що відцентрові або безрешітні сепаратори типу У1-ДКЗ мають хороші технічні характеристики при розділенні сипучих продуктів на фракції за крупністю.

Висновки за розділом

Виходячи з вищезазначених питань, можна зробити наступні висновки:

1. Удар є ефективним методом руйнування матеріалу.
2. Утворення «тріщин» під час гідророзриву є одним із способів зменшення енерговитрат
3. У комбікормовій промисловості для подрібнення зернових продуктів вигідніше використовувати молоткові дробарки з великими решетами або безрешітні дробарки на ударному принципі
4. При використанні безрешітних дробарок доцільно використовувати технічну схему дроблення сепараторами з метою підвищення якості продукції.
5. Використання сепараторів для контролю крупності частинок подрібненого змішаного раціону призведе до втрати однорідності через різну подрібнюваність його компонентів.
6. Перспективним напрямком удосконалення процесів сепарації подрібнених продуктів є їх інтенсифікація за рахунок використання відцентрових інерційних сил

7. Відцентровий класифікатор У1-ДКЗ рекомендований для виділення з подрібненого продукту великих і сумарних часток

8. Конструкція установки з можливістю відбору більших фракцій і подальшого подрібнення дозволяє спростити технологічну схему і зменшити витрати на додаткове обладнання.

Метою роботи є демонстрація процесу підготовки зернової сировини для виробництва комбікормів шляхом дослідження технологічних і конструктивних параметрів сепарувально-доподрібнювальних машин, які забезпечують стандартні розміри корму та підтримують контрольовану однорідність комбікормової суміші.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- вибір аналога сепаруючо-подрібнювальної машини;
- визначення раціональних параметрів робочого органу цієї машини;
- дослідження впливу технологічних параметрів досліджуваної машини на гранулометричний склад продукту;
- розробка нової технологічної схеми;
- розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес роботи сепарувально-доподрібнювальних машин.

Предметом дослідження є встановлення закономірностей процесу подрібнення кормів на сепарувально-доподрібнювальних машин, а також технологічних показників якості кінцевого продукту.

2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Визначення гранулометричного складу вихідного та подрібненого продуктів

У дослідах для вивчення впливу конструктивних параметрів сепарувально-доподрібнювальної машини на ефективності її роботи використовувалася пшениця сорту Білосніжка.

Гранулометричний склад вихідної та подрібненої продукції визначали згідно з ДСТУ 17270:2022 «Корми для тварин». Відбір проб і методи аналізу. Від продукту відбирають середню наважку. Наважку розділяють на 3 зразки по 100 г. Зразки сортують на ситовому аналізаторі RL-47 (рис. 2.1) (сита з отворами 4,0 мм, 3,0 мм, 2,0 мм, 1,0 мм, нейлонові сита № 15 і 27). Залишок на ситі зважують зважують на електронних вагах ET-300 і перераховують у відсоток від загальної маси зразка. Крупність помелу оцінюють за чотирма групами (табл. 2.1) [46].



Рисунок 2.1 – ситовий аналізатор RL – 47

Поряд з вищезазначеними методами, гранулометричний склад вимірюють за методикою [23].

Відбір проб та аналіз:

Відбирають 3 фракції по 0,1 кг кожна.

Сортують фракції на ситовому аналізаторі RL-47 (10 хвилин, 8 хвилин класифікація, 2 хвилини кранове сито).

Для аналізу використовують сита з наступних наборів:

- Круглі штамповані сита: 5,0; 4,5; 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,2; 1,0 мм.
- Шовк: 71; 120; 160; 200.
- Шовк легкого класу: 27; 38.

Таблиця 2.1 – Вимоги до гранулометричному складу подрібнених зернових культур

| Група крупності | Залишок (%) на ситі з діаметром отворів, мм | | | Вміст цілих зерен, % |
|-----------------|---|-----------------|-----------------|----------------------|
| | 2 | 3 | 5 | |
| 1 | не допускається | - | - | не допускається |
| 2 | не більше 5 | не допускається | - | не допускається |
| 3 | - | не більше 5 | не допускається | не більше 0,3 |
| 4 | - | не більше 35 | не більше 5 | не більше 0,7 |

Аналіз просіювання: продукт, що залишився на ситі, зважують, перевіряють результати просіювання по рядках і підсумовують залишки.

Якщо розбіжність з початковою масою (100 г) перевищує 2%, продукт пересортовують. Якщо розбіжність не перевищує 2%, проводять коригування пропорційно вазі. За результатами трьох рядів сит розраховують середнє арифметичне значення кількості залишків продукту на ситах з однаковим розміром отворів.

Розрахунок розміру частинок:

Для i -ї фракції розмір частинок визначають за формулою:

$$d_i = \frac{D_{i-1} + D_i}{2}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де D_i – розмір отворів сита, через яке пройшли частки продукту (прохід), мм;

D_{i-1} – розмір отворів сита, з якого отримано залишок (сход) даної фракції продукту, мм.

На основі отриманих даних будують кумулятивну криву гранулометричного складу досліджуваного зразка (рис. 2.2). В результаті визначають кількість продукту на ситі у відсотках.

Через точку на вертикальній осі, що відповідає 50%, проводять горизонтальну лінію до перетину з кумулятивною кривою гранулометричного складу продукту. Проведіть перпендикулярну лінію від точки перетину до горизонтальної осі, щоб визначити середньозважений розмір частинок всієї проби d_{cp} в мм (рис. 2.2). Загальний коефіцієнт тонкості подрібнення частинок K_1 (рис. 2.2 а) визначається з відношення площі, утвореної кумулятивною кривою і віссю абсцис – S_1 до площі, укладеної між осями координат в межах кривої – S_2 . Коефіцієнт тонкості подрібнення дрібної фракції K_2 (розмір часток менше d_{cp}), знаходиться як відношення площі, утвореної кумулятивною кривою від 0 до точки А і віссю абсцис – S_3 (рис. 2.2 б), до площі утвореної віссю координат в межі кривої від 0 до точки А – S_4 . Коефіцієнт тонкості крупної фракції K_3 відношення площі, утвореної кумулятивною кривою від точки А до кінця кривої і горизонтальної прямої, проведеної через точку А – S_5 , до площі, утвореної прямими, паралельними осям координат, проведеними через точку А в межах кривої від даної точки до її кінця – S_6 .

Коефіцієнт вирівняння частинок α визначається з відношення коефіцієнтів тонкості крупної K_3 і дрібної K_2 фракцій.

Ступінь подрібнення i – це відношення середньозваженого розміру часток вихідного продукту $d_{cp,вихід.}$ до середньозваженого розміру часток подрібненого продукту $d_{cp.}$

У використанні даної методики основна складність полягає в побудові кумулятивної кривої і визначенні площі для розрахунку коефіцієнтів.

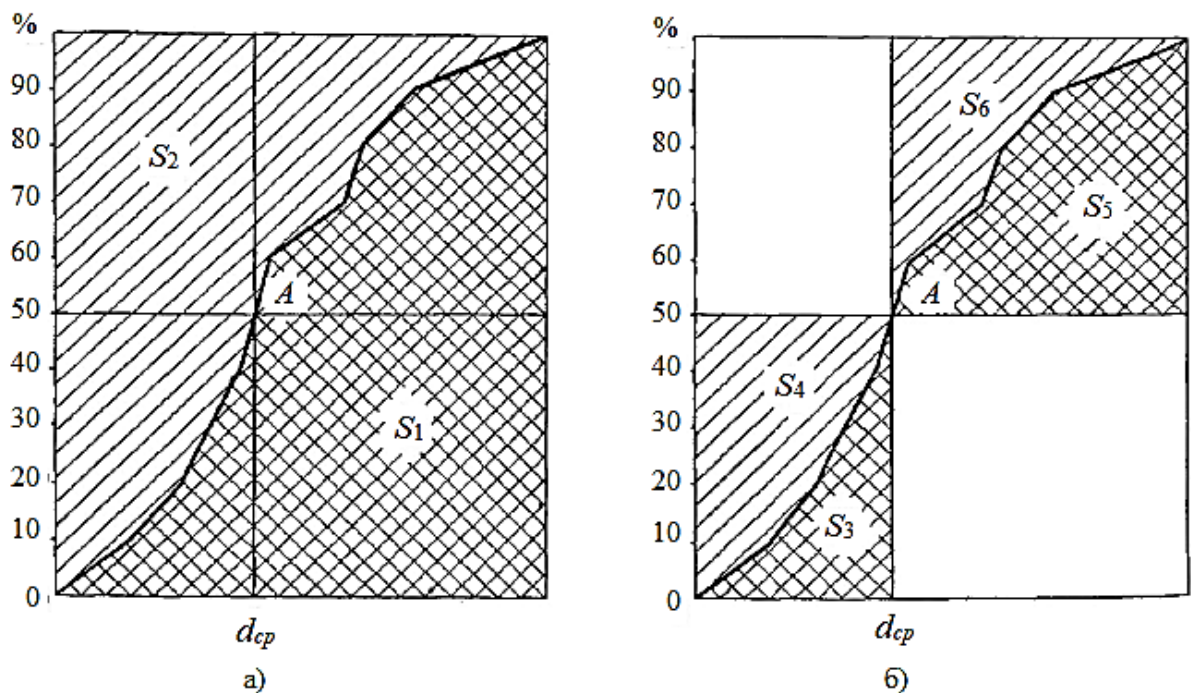


Рисунок 2.2– Кумулятивна крива гранулометричного складу продукту

2.2 Визначення продуктивності

Для визначення продуктивності установки був виготовлений бункер, який має пластинчасту заслінку, що встановлюється над установкою і з'єднаний з нею живильним патрубком. Для бункера виготовлений набір засувок з отворами різних випускних розмірів 10×10 , 15×15 , 20×20 , 25×25 , 30×30 , 35×35 . Для кожної з цих заслінок експериментальним шляхом було встановлено швидкість витікання

продукту, шляхом виміру часу закінчення зважування наважки. Встановлюючи різні заслінки, забезпечується різна подача продукту в установці.

Оптимальний енергетичний режим характеризується продуктивністю при мінімальній питомій витраті енергії. При подальшому збільшенні ступеня завантаження настає перевантаження робочої камери, що призводить до погіршення економічних і якісних показників роботи установки.

2.3 Стандартні методики

При відборі середніх зразків сировини для напівфабрикатів або готової продукції під час проведення досліджень, ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. (Методи визначення якості) встановлює правила відбору, формування та приймання зразків насіння всіх сільськогосподарських культур. [45]. Вологість зернової сировини та продуктів її переробки визначають у ДСТУ 13586. 5-93 «Зерно. Методи визначення вологості» [46], а засміченість зерна регламентується ДСТУ 30483-97 «Зерно. Методи визначення вмісту бур'янів, зернової домішки, дрібних і крупних зерен», насипну густину, так звану насипну щільність, згідно з ДСТУ 4234:2003 Зернові культури. Насипна щільність, так зване вимірювання маси на гектолітр. [46].

2.4 Опис експериментальної та дослідницької установки сепараційно-подрібнювальної машини

Лабораторна машина (рис. 2.3) складається з наступних конструктивних елементів: корпус (1, 320 мм діаметр, 170 мм висота), ротор (2), дека (3), живильник (4), випускний отвір (5), привід (6). Корпус має технічні отвори (7) для регулювання зазору сепарації (8), який контролюється калібрами: 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм, 3 мм.

Ротор 2 (діаметр 300 мм, товщина 4 мм) прикріплений до валу через 10 втулку 9. Оснащений подрібнювальними ребрами 11 (довжина 60 мм, ширина 8

мм). Кількість ребер: 2, 3, 4, 6, 8, 12. Висота ребер над поверхнею диска: 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм, 3 мм

Експериментальна установка (рис. 2.4 – 2.7) складається з наступних основних вузлів: корпусу 1, ротора 2, деки 3, живильника 4, вихідного 5 патрубку, приводу 6.

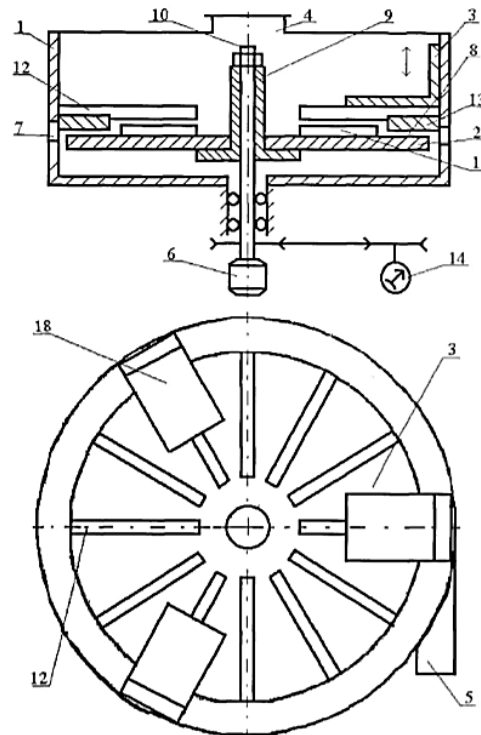


Рисунок 2.3 – Експериментальна сепарувально-доподрібнювальна машина

1 – корпус; 2 – ротор; 3 – дека; 4 – живильний патрубков; 5 – вихідний патрубков; 6 – привід; 7 – технологічний отвір; 8 – сепарувальний зазор; 9 – втулка; 10 – вал; 11 – подрібнювальні ребра ротора; 12 – подрібнювальні ребра деки; 13 – сепарувальне кільце; 14 – тахометр; 15 – вольтметр; 16 – ватметр; 17 – захисний кожух; 18 – направляючі кутники.

Дека 3 (зовнішній діаметр 300 мм, внутрішній 170 мм, товщина 4 мм) кріпиться до корпусу через рухомі напрямні 18.

На деку встановлено:

- ріжучі ребра 12 (довжина 60 мм, ширина 8 мм, висота 7 мм)
- Сепараційне кільце 13 (зовнішній діаметр 300 мм, ширина 21 мм).

Товщина сепараційного кільця: 4 мм, 4,5 мм, 5 мм, 5,5 мм, 6 мм. Це дозволяє підтримувати постійний зазор між ріжучими ребрами та ротором, навіть при зміні робочої частини ріжучої кромки ротора. Частота обертання ротора змінюється за допомогою автотрансформатора і визначається тахометром 14. Обертання на вал тахометра передається ремінною передачею.

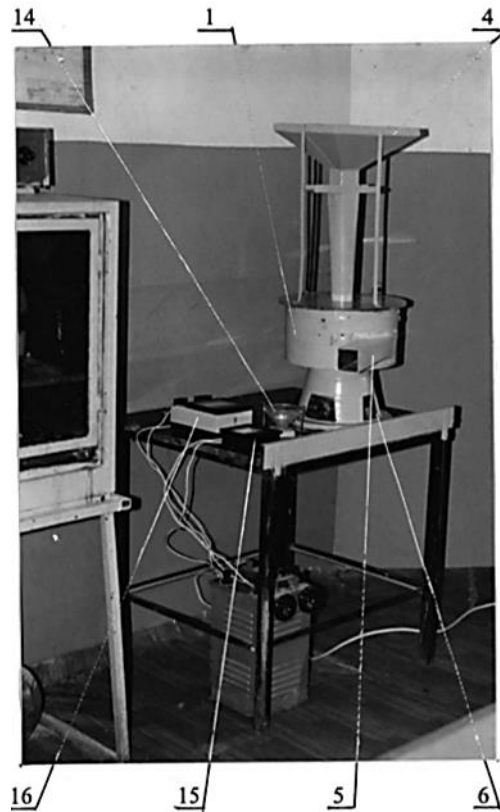


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд експериментальної лабораторної установки

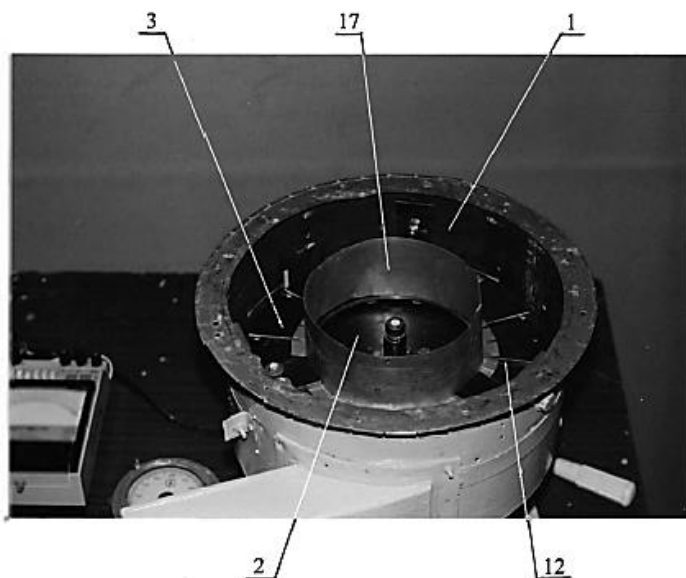


Рисунок 2.5 – Експериментальна лабораторна сепарувально-доподрібнювальна машина зі знятою кришкою

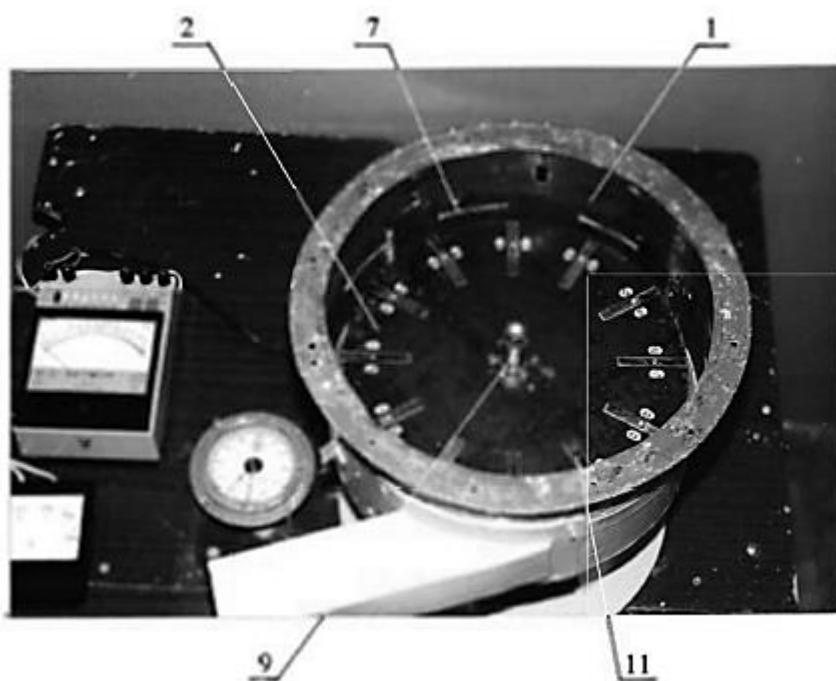


Рисунок 2.6 – Експериментальна лабораторна сепарувально-доподрібнювальна машина зі знятою кришкою і декою. На роторі встановлені подрібнювальні ребра

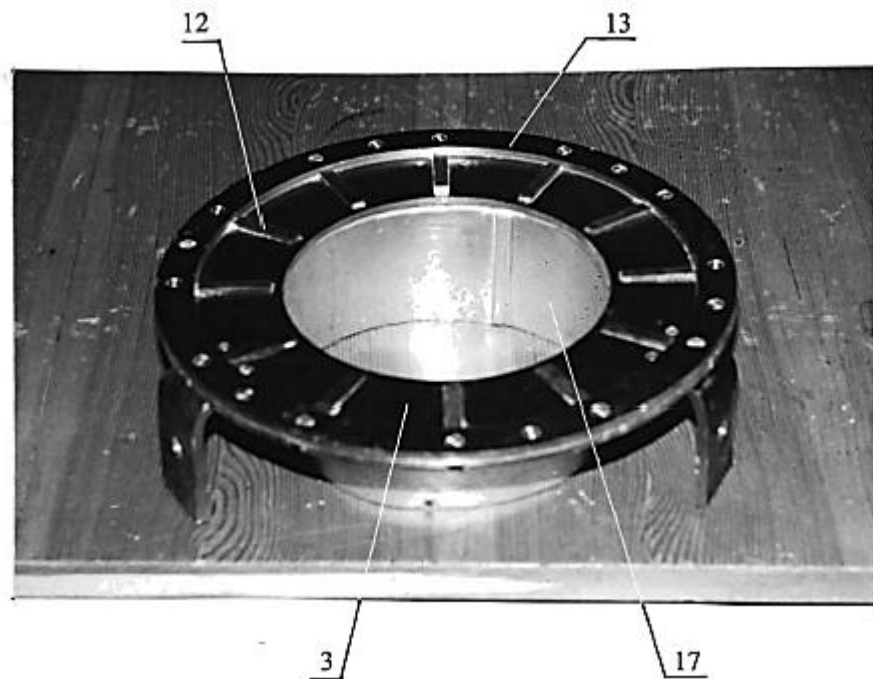


Рисунок 2.7 – Дека. Вигляд знизу. На деці встановлені сепарувальне кільце і подрібнювальні ребра

У робочій камері відбувається подрібнення та сепарація продукту. Матеріал, що подається, рухається вздовж подрібнювальних ребер ротора під дією відцентрових сил. Великі частинки руйнуються подрібнюючими ребрами ротора та декою. Дрібні частинки проходять через щілину, що сепарує, контролює розмір продукту. Якщо частинки продукту більше розміру щілини, що сепарує, вони затримуються в зоні подрібнення, де додатково подрібнюються до прохідного розміру. Продукт необхідного розміру вивантажується через розвантажувальний отвір. Відстань від деки до ребер становить 3 мм для подрібнення затриманих частинок. Ефективність машини оцінюється за гранулометричним складом вихідного та подрібненого матеріалу, а також за ступенем подрібнення.

Висновки за розділом

У цьому розділі описано властивості матеріалів, використаних у дослідженні, методику дослідження, а також конструкцію та роботу експериментальної установки для проведення дослідження.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження ефективності роботи молоткової дробарки при дробленні сумішей зернової та гранульованої сировини

Досліджено ефективність молоткової дробарки при подрібненні суміші зернової та гранульованої сировини, визначивши гранулометричний склад, ступінь подрібнення та продуктивність залежно від діаметра сита.

Подрібнення суміші (пшениця – 30,5 %, ячмінь – 45,22 %, ячмінь без плівки – 20,2 %, гранульоване трав'яне борошно – 4,08 %) для комбікорму (ДСТУ 8066:2015) проводили молотковим млином ММ-140.

Основні показники гранулометричного складу вихідної суміші становили: середньозважений розмір частинок - 3,6; коефіцієнт вирівнювання - 1,88.

Млин був обладнаний решетами з круглими отворами діаметром: 3; 4; 5; 6; 8 мм. Експеримент проводився на одному млині.

На рисунках 3.1 – 3.4 наведені результати дослідження. Продуктивність ММ-140 (рис. 3.1) зменшується зі зменшенням діаметра отворів сита: 23,1 т/год (8 мм) та 7,5 т/год (3 мм). Залежність майже прямо пропорційна (3-8 мм).

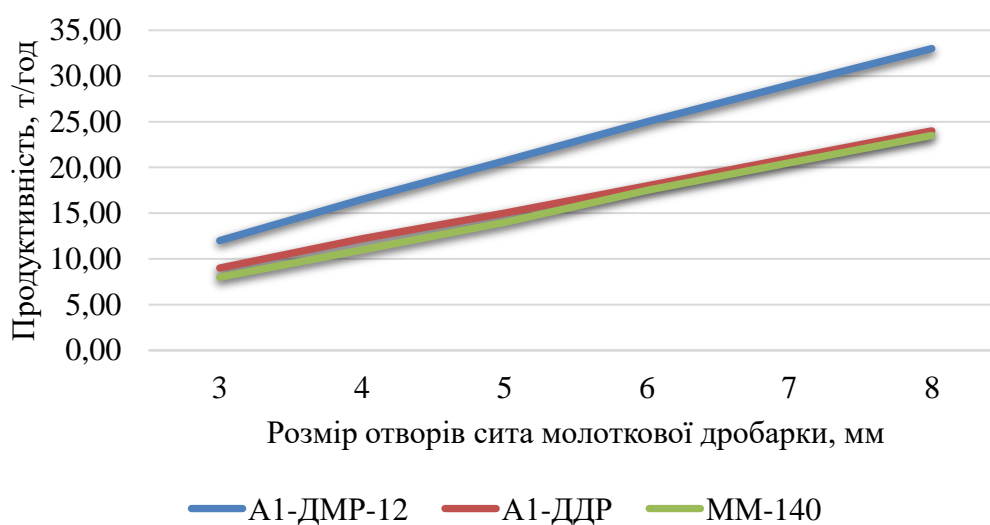


Рисунок 3.1 – Вплив розміру отворів сита молоткових дробарок на їх продуктивність

Встановлення сит з меншими вічками може зменшити розмір продукту (рис. 3.2). Результати експериментів показують, що при встановленні на молотковому дробарці сит розміром 4 мм середньозважений розмір становить 1,08 мм, а сита розміром 3 мм дають продукт розміром 0,8 мм; сита розміром менше 3 мм не використовуються в комбікормовій промисловості для отримання подрібненого продукту.

Як видно з рисунку 3.3, коефіцієнт вирівнювання зростає зі зменшенням діаметра сита. Наприклад, він становить 0,48 для сит з отворами 8 мм і 0,6 для сит з отворами 6 мм.

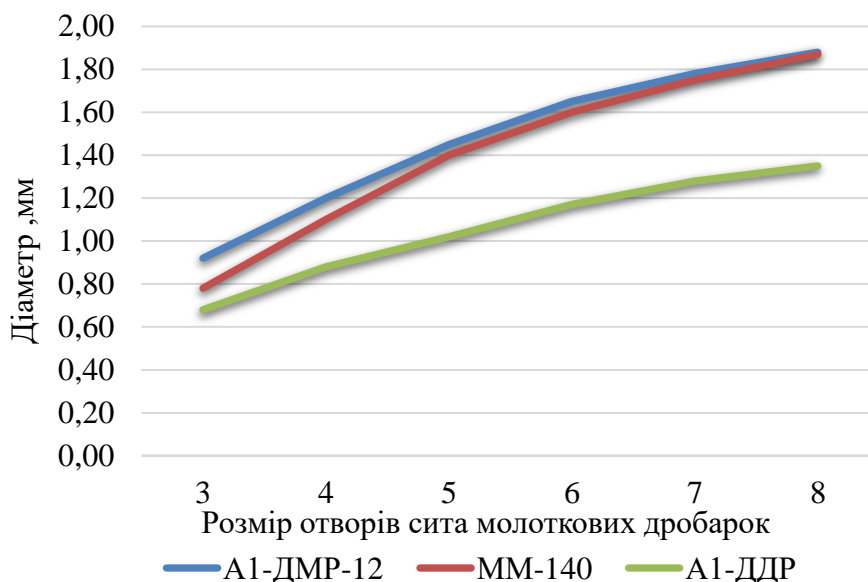


Рисунок 3.2 – Вплив розміру отворів сита молоткових дробарок на середньозважений розмір частин подрібненої суміші зернової і гранульованої сировини

Частка пилу збільшується при встановленні на молотковий млин (рис. 3.4) решета з меншим розміром отворів (минаючи решето № 27). При переході з сита з розміром отворів 8 мм на сито з розміром отворів 6 мм частка пилу збільшується з 6,7 % до 7,9 %, а при переході з сита з розміром отворів 4 мм на сито з розміром отворів 3 мм частка пилу збільшується з 15,9 % до 21,2 %. Отримані дані добре

узгоджуються з дослідженнями, проведеними для млинів ДДР і ПМР-12 [37], які також показані на рис. 3.4.



Рисунок 3.3 – Вплив розміру отворів сита молоткових дробарок ММ-140 на коефіцієнт вирівнювання подрібненої суміші зернової і гранульованої сировини

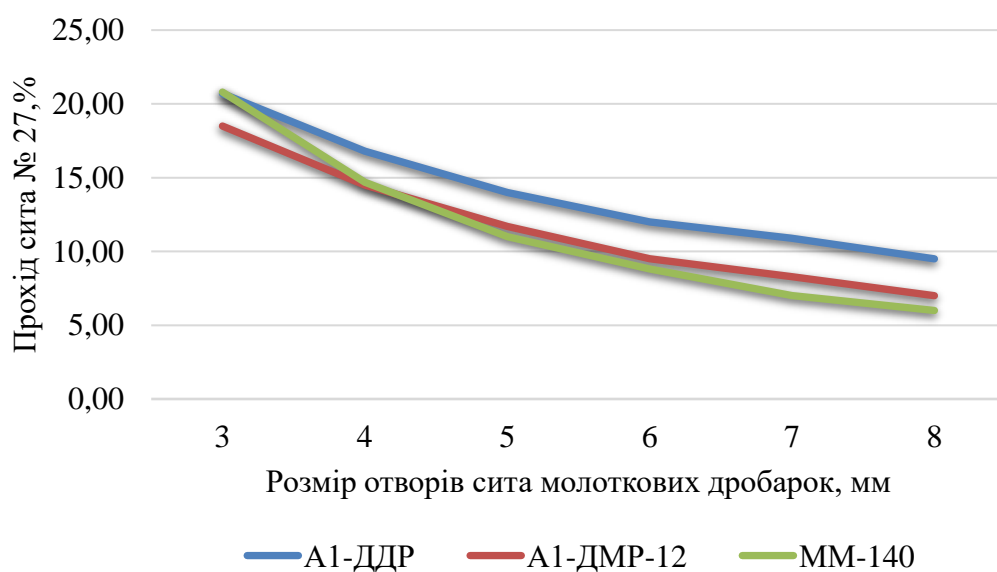


Рисунок 3.4 – Вплив розміру отворів сита молоткових дробарок на вміст пилової фракції в подрібненій суміші зернової і гранульованої сировини

Експериментальні дані ММ-140 (рис. 3.1) підтвердили розрахункову методику Ван Аарсена [37]. Зменшення діаметру сита покращує крупність та рівномірність продукту, але знижує продуктивність та збільшує пилоподібні

фракції, що призводить до втрат (10-15% більшого споживання корму) та гіршого засвоєння.

Тому, якщо для отримання необхідного розміру продукту в молоткових дробарках необхідно встановити більші сита і пропустити продукт через машини, які подрібнюють більші частинки, можна підвищити продуктивність молоткових дробарки і, що найголовніше, значно знизити вміст пилової фракції.

3.2 Визначення раціональних значень висоти подрібнювальних ребер і розміру сепарувального зазору

На експериментальній машині (12 ріжучих ребер на роторі, 3 мм робоча висота решітки на деці, зазор 1 мм) досліджували вплив висоти ріжучих ребер ротора (1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм) та сепаруючої щілини (1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм) при 1600 об/хв. Використано пробки для контролю гранулометричного складу (без ріжучих ребер на роторі).

У цьому експерименті використовувалася пшениця із середньозваженим розміром зерен 3,58 мм і коефіцієнтом вирівнювання 1,96. Максимальний діаметр зерна становив 4,6 мм.

Результати дослідів без подрібнювальних ребер зведені в таблиці 3.1

Результати дослідів з різною висотою подрібнювальної частини ребра і розміром сепарувального зазору представлені на рисунках 3.5 – 3.8.

Таблиця 3.1 – Основні показники гранулометричного складу подрібненого продукту

| Показники | Сепарувальний зазор, мм | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Середньозважений розмір часток, мм | 0,78 | 1,22 | 1,73 | 2,41 | 2,78 |
| Загальний коефіцієнт тонкощі | 0,67 | 0,64 | 0,56 | 0,31 | 0,23 |
| коефіцієнт вирівняності | 2,05 | 1,73 | 1,44 | 0,95 | 0,67 |

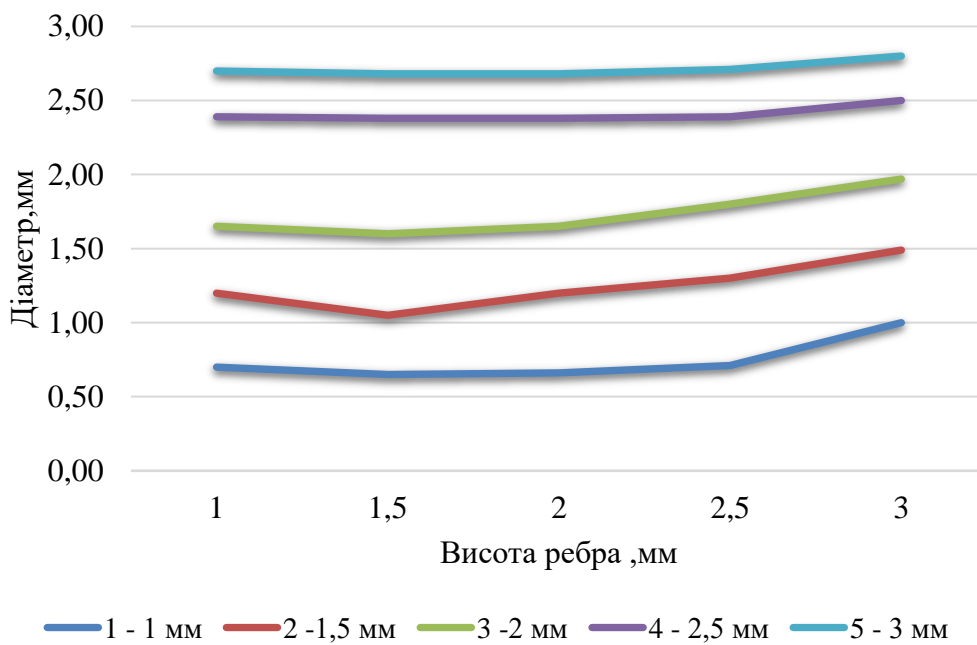


Рисунок 3.5 – Вплив висоти подрібненого ребра ротора на середньозважений розмір часток при величині сепарувального зазору:

З наведених рисунків видно, що висота робочої частини подрібнювальних ребер і розмір сепараційної щілини впливають на гранулометричні характеристики отриманого продукту. Наприклад, середньозважений розмір частинок отриманого продукту найменший при висоті робочої частини ребра подрібнення 2 мм (рис. 4.5). Мінімальне значення на графіку особливо помітне при зазорі 1 мм. Питоме споживання енергії становить приблизно 2 кВт-год/т.

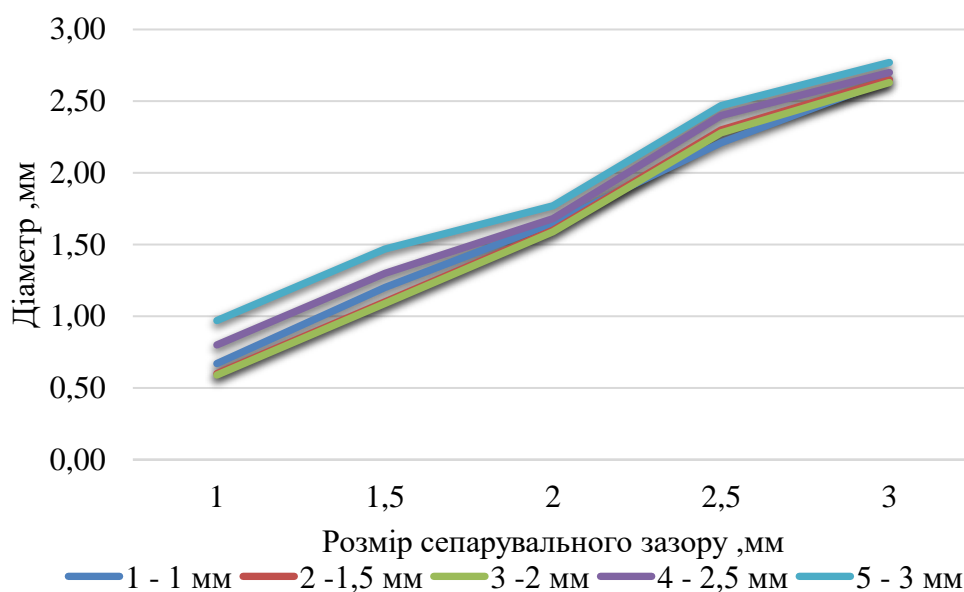


Рисунок 3.6 – Вплив величини сепарувального зазору на середньозважений розмір часток при висоті подрібнювального ребра ротора:

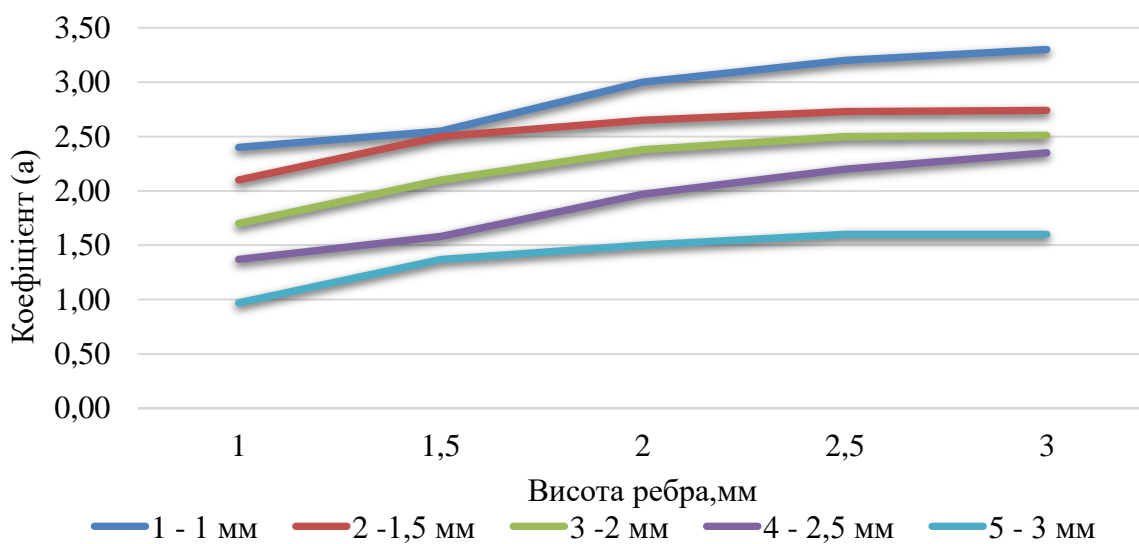


Рисунок 3.7 – висоти подрібнювального ребра ротора на коефіцієнт вирівняності продукту при величині сепарувального зазору:

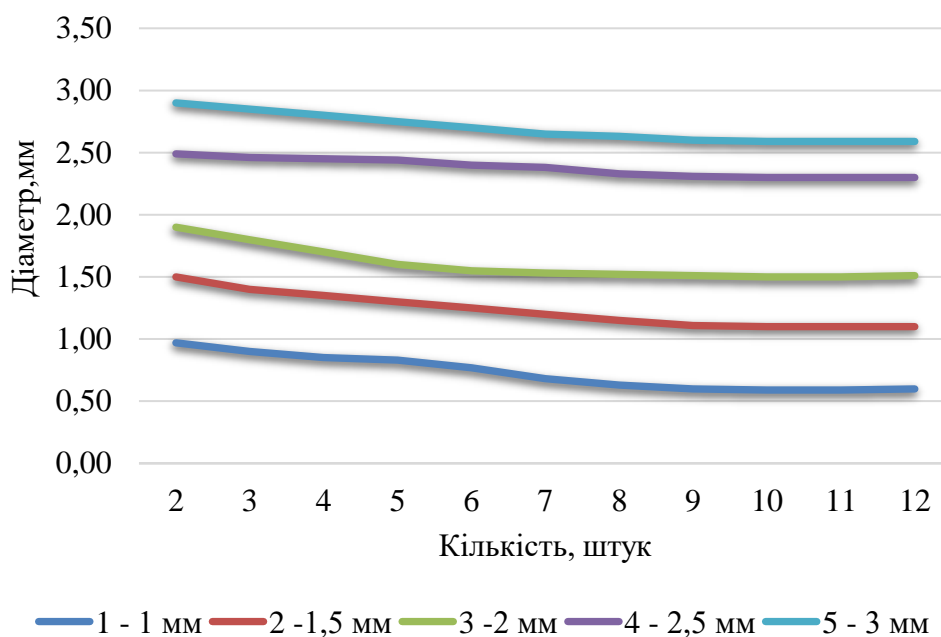


Рисунок 3.8 – Вплив величини сепарувального зазору на коефіцієнт вирівняності продукту при висоті подрібнювального ребра ротора:

Розрахунок (середньозважений розмір зерна 4,6 мм) дав висоту робочої частини ребра 2,2 мм, що підтверджує теоретичне припущення (рис. 3.5). Максимально допустима висота – 2,2 мм. Коефіцієнт вирівнювання зростає (рис. 3.7, 3.8) зі збільшенням висоти ребра та зменшенням сепаруючої щілини.

3.3 Вплив кількості подрібнювальних ребер на роторі на процес руйнування частинок сировини

Дослідження впливу кількості подрібнюючих ребер на процес дроблення зернової сировини в сепараційно-очисній машині проводили за наступних параметрів її роботи: частота обертання ротора - 1600 об/хв; кількість подрібнюючих ребер на деці - 12 з постійною висотою 3 мм; висота робочої частини подрібнюючих ребер на роторі досягала 2 мм.

Експеримент проводився з пшеницею з середньозваженим розміром зерна 3,72 мм і коефіцієнтом вирівняності 1,86.

Змінними параметрами сепараційно-очисної машини були кількість ріжучих ребер на роторі (2, 3, 4, 6, 8 і 12) і розмір сепаруючої щілини (1, 1,5, 2, 2,5 і 3 мм).

Результати дослідження представлені на рисунках 3.9-3.12.

Збільшення кількості ребер ротора (2-12, рис. 3.9) зменшує середньозважений розмір частинок, особливо при меншому зазорі (3 мм – 9%, 1 мм – 33% зменшення при 2-8 ребрах). Зменшення зазору збільшує час перебування продукту в зоні подрібнення.

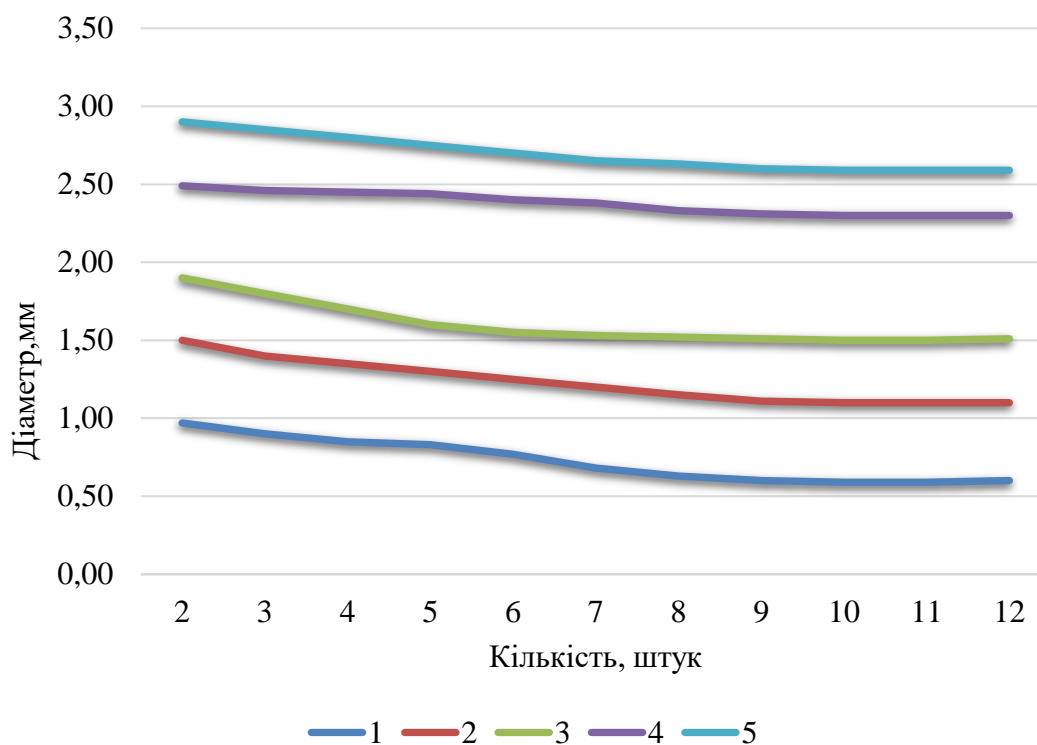


Рисунок 3.9 – Вплив кількості подрібнювальних ребер ротора на середньозважений розмір частинок при величині сепарувального зазору

При 12 подрібнювальних ребрах (рис. 3.10) середньозважений розмір часток є мінімальним для кожного значення сепарувального зазору. Залежність крупності отриманого продукту від величини сепарувального зазору носить практично прямопропорційний характер. При установці 12 подрібнювальних ребер середньозважений розмір часток збільшується з 0,62 при величині зазору 1 мм до 2,62 при 3 мм.

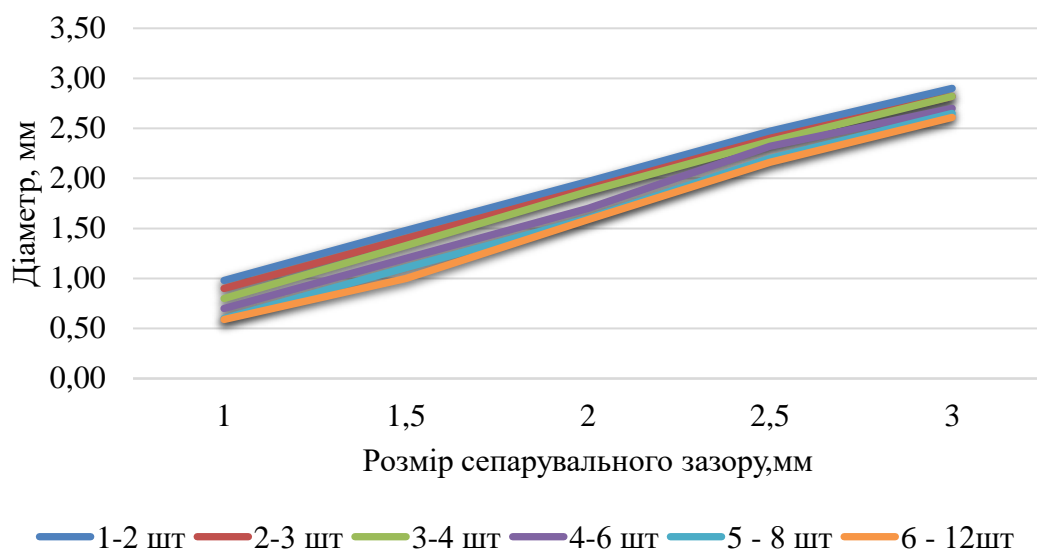


Рисунок 3.10 – Вплив величини сепарувального зазору на середньозважений розмір частинок при кількості подрібнювальних ребер ротора

Як видно з рисунку 3.11, коефіцієнт вирівнювання продукту зростає зі збільшенням кількості ребер подрібнення. Вплив кількості ребер подрібнення на коефіцієнт вирівнювання кінцевого продукту практично однаковий для будь-якого розміру сепаруючої щілини. Найбільша зміна коефіцієнта вирівнювання при збільшенні кількості подрібнюючих ребер спостерігається при зазорі 2 мм (39%), а найменше подрібнення спостерігається при зазорі 1 мм (31%).

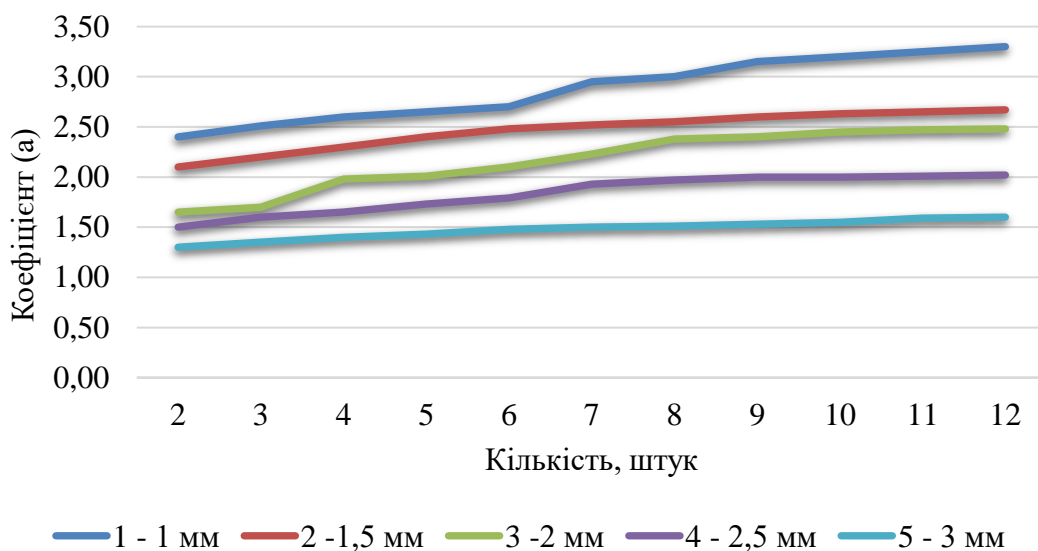


Рисунок 3.11 – Вплив кількості подрібнювальних ребер ротора на коефіцієнт вирівняності продукту при величині сепарувального зазору

Зменшення розміру сепаруючої щілини збільшує коефіцієнт вирівнювання (рис. 3.12).

Збільшення кількості подрібнюючих ребер з восьми до 12 зменшує середньозважений розмір продукту і покращує вирівнювання продукту. Розрахунки показують, що кут між подрібнювальними ребрами ротора повинен бути встановлений на рівні $30,8^\circ$ до радіуса, що відповідає 11,7 шт.

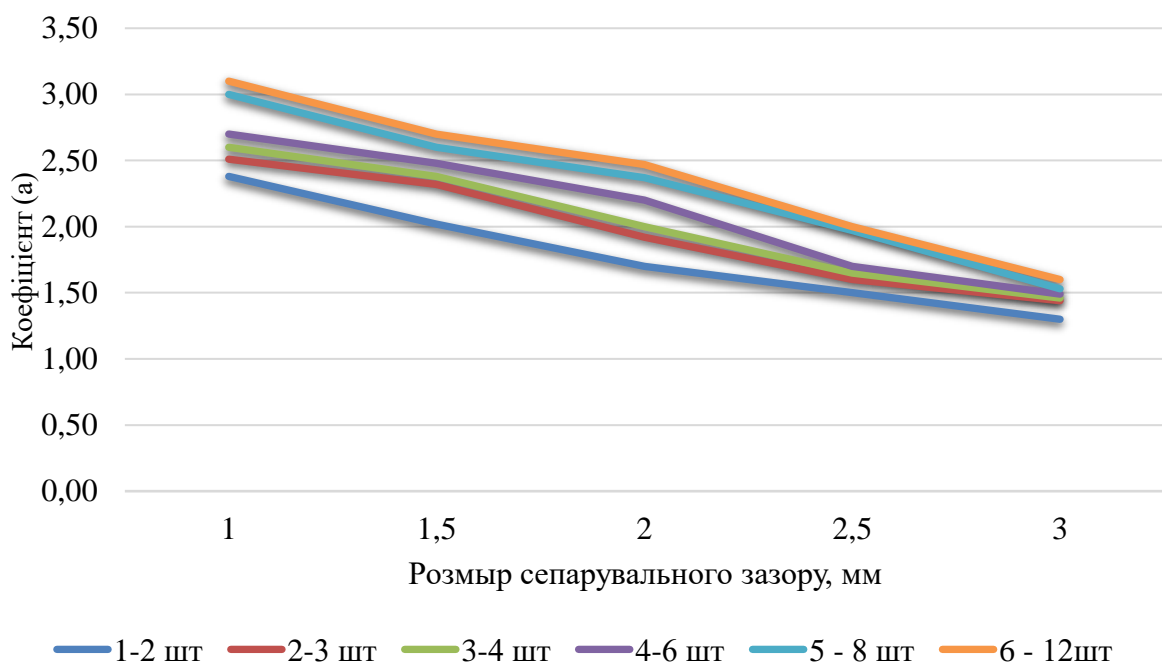


Рисунок 3.12 – Вплив величини сепарувального зазору на коефіцієнт вирівнюваності продукту при кількості подрібнювальних ребер ротора

Згідно з отриманими даними, можна припустити, що подальше збільшення кількості розмелювальних ребер на роторі дещо збільшить коефіцієнт вирівнювання і зменшить середньозважений розмір частинок отриманого продукту. Тому можна припустити, що 12 розмелювальних ребер на роторі сепараційно-очисної машини є достатнім для отримання продукту з хорошими гранулометричними характеристиками.

3.4 Підвищення якості подрібнюваної зернової і гранульованої суміші при спільній роботі молоткової дробарки і сепарувально-доподрібнювальної машини

Метою цього дослідження було вивчення спільної роботи молоткового млина і сепарувально-доподрібнювальної машини для отримання подрібненого продукту з необхідною крупністю дроблення.

Першим продуктом був комбікорм для молодняку курей.

Гранулометричний склад комбікорму був наступним. Середньозважений розмір частинок - 3,6; коефіцієнт вирівнювання - 1,8.

Комбікорм подрібнюють у молотковій дробарці ММ-140. В ході дослідження в млині встановлені сита з наступними розмірами комірок: 3, 4, 5, 6 і 8 мм; подрібнена суміш направляється в лабораторну сепарувальну-доподрібнювальну машину, де встановлюються наступні параметри: частота обертання ротора - 1600 об/хв; кількість подрібнюючих ребер на деці - 12, висота робочої частини 3 мм; ребра на роторі кількість - 12, висота 2 мм; розмір сепараційної щілини встановлюється в наступному діапазоні: 1-3 мм, 0,5 кроку.

Результати дослідження наведені на рисунках 3.13-3.18. На рисунках пунктирними лініями показані характеристики сумішей, подрібнених у молотковому млині.

Як видно з отриманих даних, середньозважений розмір частинок змінюється пропорційно зі зменшенням розміру сепараційної щілини (рис. 3.13). Розмір частинок змінюється незначно (19 %), коли суміш подрібнюється в молотковому млині з розміром отворів сита 3 мм і проходить через сепарувальну-доподрібнювальну машину.

На рисунку 3.14 показано залежність середньозваженого розміру частинок суміші від розміру пор сита молоткового млина. При зазорі 1 мм вплив розміру пор сита на розмір частинок менший, ніж при зазорі 3 мм.

Вплив зміни сепараційного зазору та розміру отворів решіт молоткового млина (рис. 3.15 та 3.16) на коефіцієнт однорідності подрібнюваної суміші подібний до залежності, описаної вище (рис. 3.12).

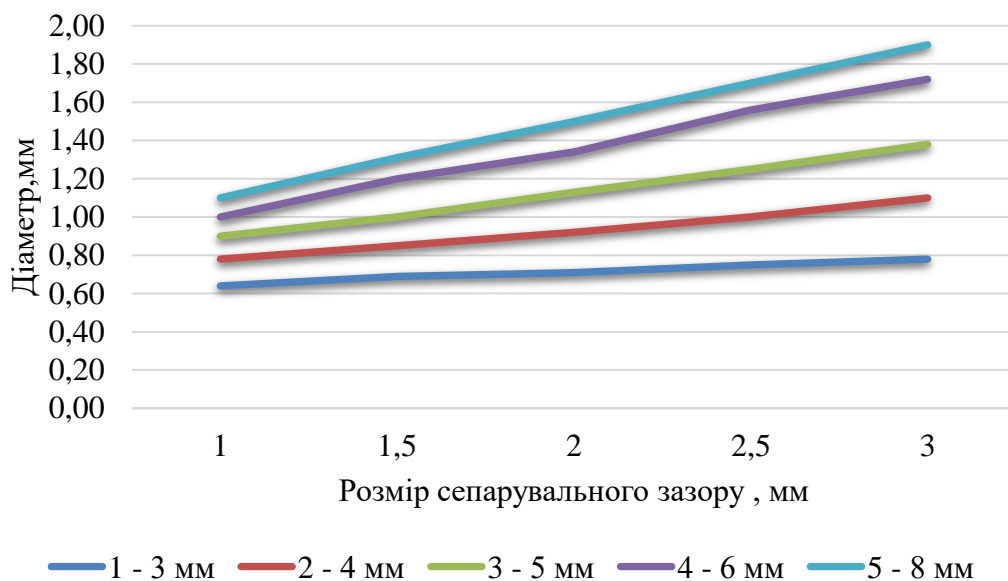


Рисунок 3.13 – Вплив величини сепарувального зазору на середньозважений розмір частинок при розмірі отворів сит на молотковій дробарці

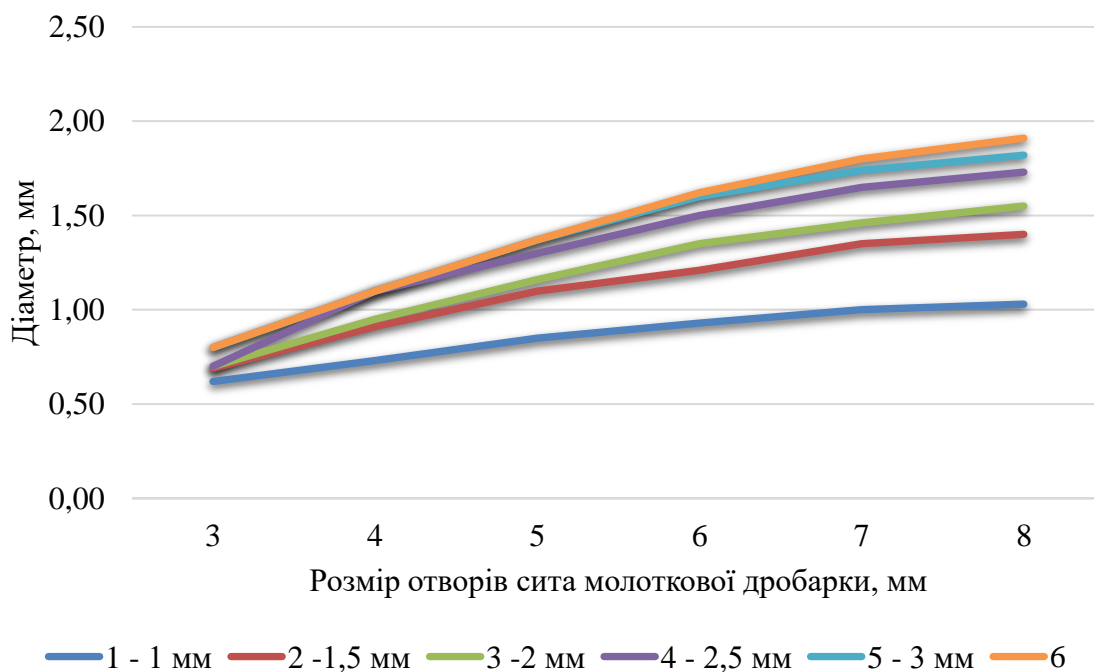


Рисунок 3.14 – Вплив розміру отворів сита молоткової дробарки на середньозважений розмір частинок при величині сепарувального зазору

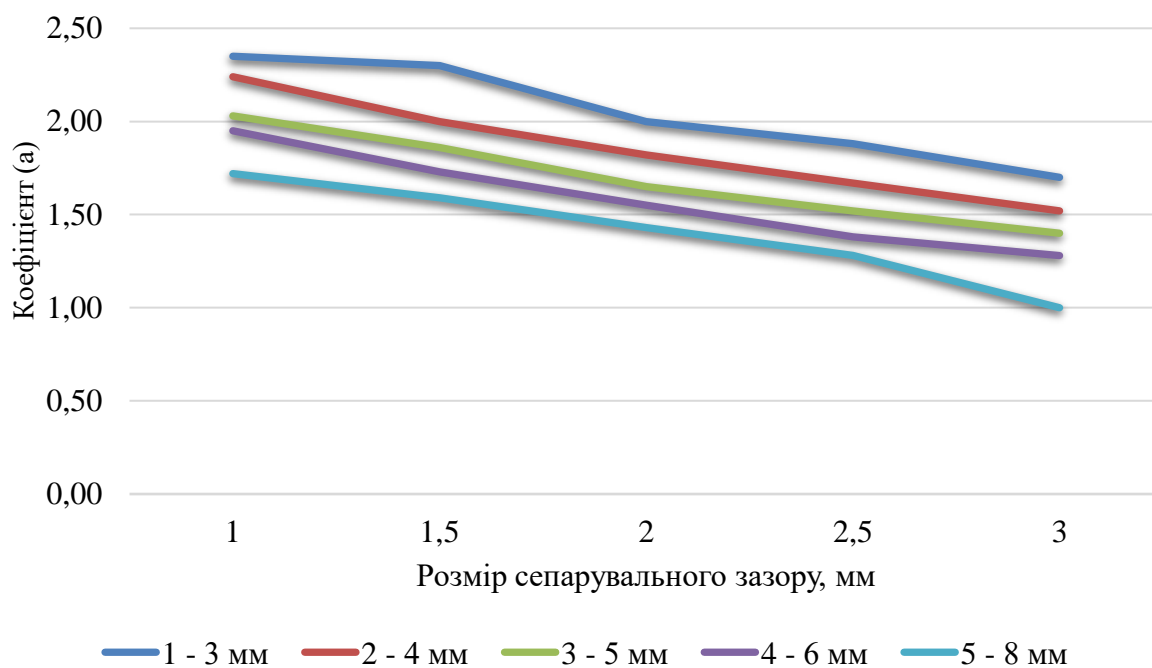


Рисунок 3.15 – Вплив величини сепарувального зазору на коефіцієнт вирівнювання продукту при розмірі отворів сита на молоткової дробарці

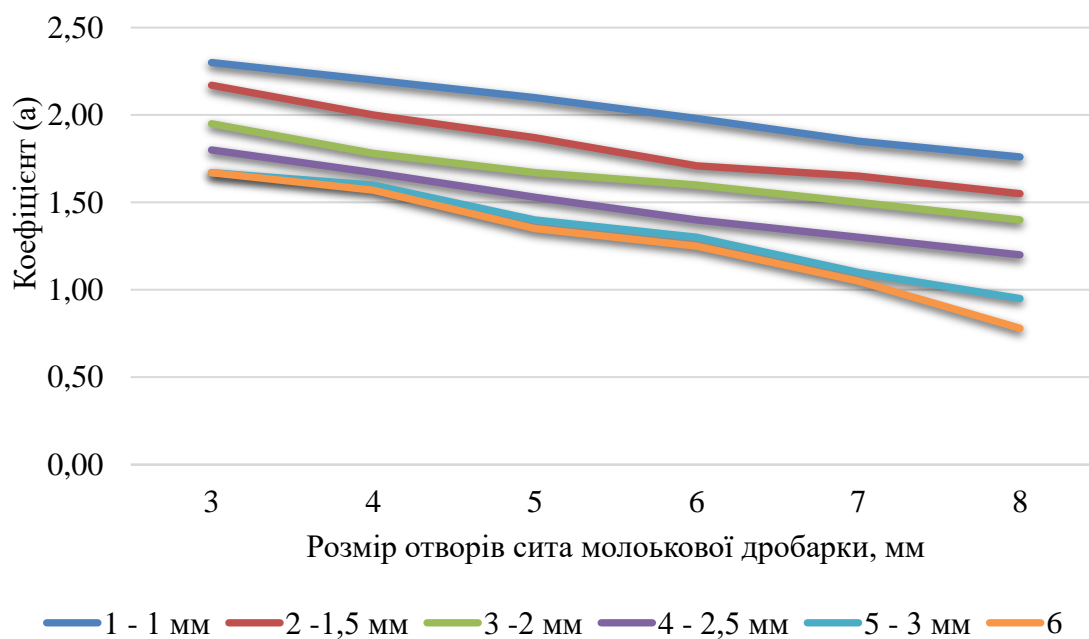


Рисунок 3.16 – Вплив розміру отворів сита молоткової дробарки на коефіцієнт вирівнювання продукту при величині сепарувального зазору: 6 – продукт після молоткової дробарки.

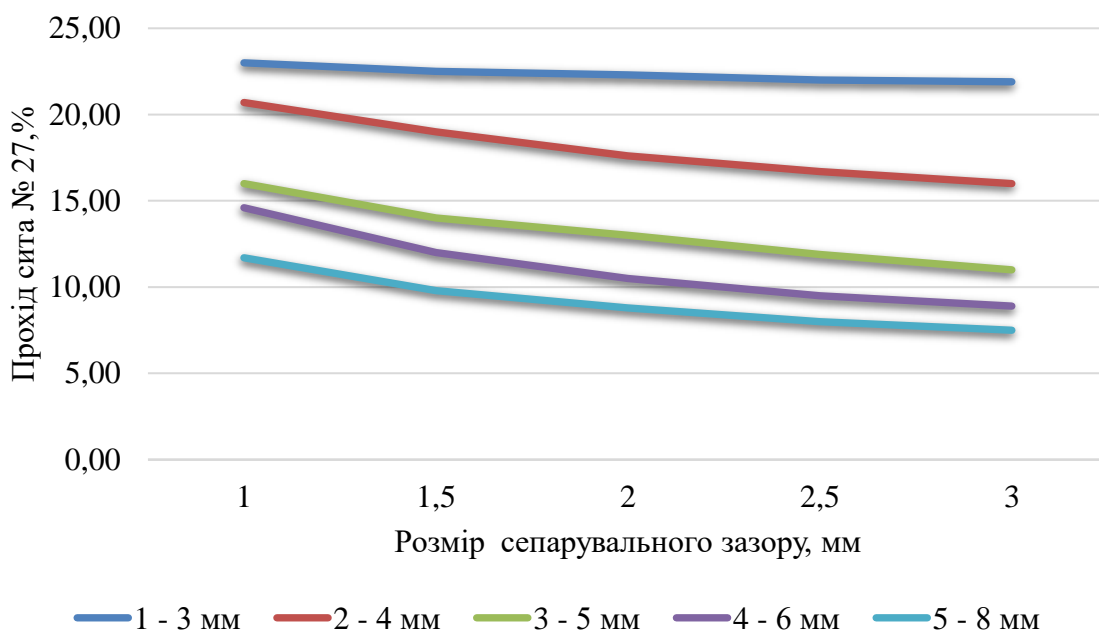


Рисунок 3.17 – Вплив величини сепарувального зазору на вміст пилоподібної фракції в продукті при розмірі отворів сита на молоткової дробарці

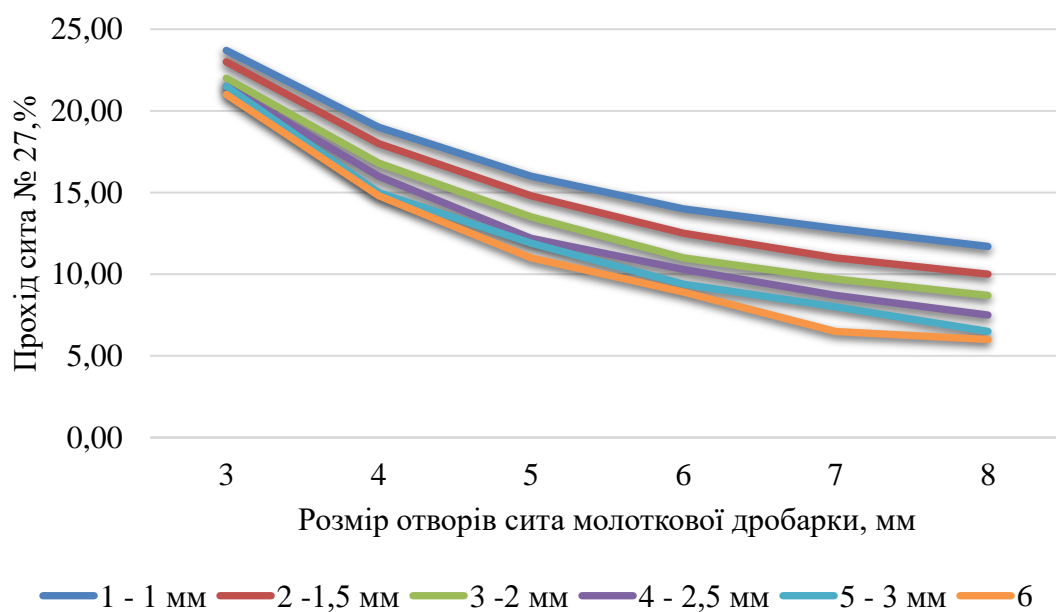


Рисунок 3.18 – Вплив розміру отворів сита молоткової дробарки на вміст пилоподібної фракції в продукті при величині сепарувального зазору.

На рисунках 3.17 та 3.18 показано зміну запиленості (прохід решета № 27) залежно від розміру сепараційної щілини та отворів решіт молоткового млина. Як видно з отриманих даних, при меншому розмірі сепараційної щілини

сепарувально-доподрібнювальної машин запыленість нижча, ніж при меншому діаметрі отворів на решітній поверхні молоткового млина. Так, у першому випадку при зменшенні зазору кількість запылених частинок збільшується від 1,1 до 2 разів, а при зменшенні розміру отворів решіт млина від 2,6 до 4,8 кількість запылених частинок збільшується від 1,1 до 2 разів.

Представлені залежності показують, що досліджувана сепарувально-доподрібнювальна машина, встановлена після молоткового млина, може давати більш однорідний продукт з меншим вмістом пиловатих фракцій при однаковій крупності: при подрібненні тільки молотковим млином з отворами 3 мм середньозважений розмір частинок склав 0,8 мм, вирівнюючий коефіцієнт вирівнювання 0,7 і вміст пилу 21,2%. При проходженні продукту, подрібненого в молотковому млині (розмір отворів сита 5 мм), через розроблений пристрій, зазор сепарації становить 1 мм, середньозважений розмір зерен - 0,82 мм, коефіцієнт вирівнювання - 2,07, а вміст пилу - 16,1%.

В результаті попередніх досліджень та аналізу експериментальних даних було запропоновано нову технологію подрібнення зерна та гранульованих матеріалів (рис. 3.19). Згідно з цією технологією, певні зернові культури або зернові суміші транспортувальним пристроєм подаються в робочу ємність 2, попередньо пройшовши через магнітний сепаратор 1. Потім зерно потрапляє в молоткову дробарку 3 після відкриття затворів ємності 2. Після млина подрібнений продукт має неоднорідний гранулометричний склад і містить великі частки. Потім продукт проходить через магнітний сепаратор 4 і потрапляє в сепаратор/фінішер 5, який управляє продуктом за розміром частинок і додатково подрібнює більші частинки, які перевищують необхідний розмір частинок, щоб отримати продукт з більш рівномірним розподілом частинок за розміром. Після сепаратора фінішера подрібнене зерно подається на основну лінію дозування та змішування разом з іншими інгредієнтами, передбаченими рецептурою.

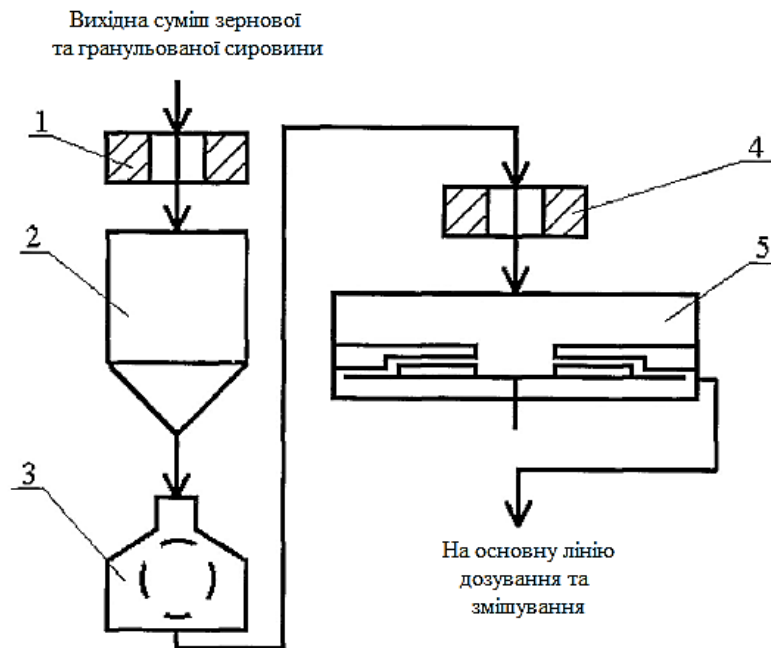


Рисунок 3.19 – Схема підготовки зернового продукту

1,4 – магнітний сепаратор; 2 – бункер; 3 – молоткова дробарка; 5 – сепарувально-доподрібнювальна машина

Перевага нової технології полягає в тому, що подрібнення і сепарація відбуваються в одному потоці на одній машині, не порушуючи однорідності суміші.

Щоб порівняти ефективність, суміш зерна та гранульованого матеріалу для молодняку курей була подрібнена до стандартних розмірів за допомогою молоткового млина та нової технології.

Як видно з отриманих даних, при роботі за новою технологією можливе одночасне використання молоткової дробарки з розміром отворів 8 мм і сепарційно-дробарної машини. Дослідження показало, що продуктивність лінії зросла з 11,7 тонн на годину до 23,1 тонн на годину. Середньозважений розмір частинок зменшився з 1,07 мм до 0,98 мм, вміст пилу - в 1,5 рази, а споживання електроенергії - в 1,1 рази.

Таким чином, дані дослідження ще раз підтверджують ефективність нової технології.

Висновки за розділом

1. Експериментально доведено, що встановлення в молоткових дробарках сит з великими розмірами комірок та подальший контроль подрібненого продукту в сепараційних дробарках є необхідним для підвищення продуктивності молоткових дробарок, зниження енергоємності процесу та покращення якості кінцевого продукту.

2. При переробці сировини з максимальним розміром частинок 4,6 мм отриманий продукт має мінімальний середньозважений розмір частинок на висоті 2 мм в робочому перерізі подрібнюючих ребер, що узгоджується з розрахунковим значенням 2,2 мм.

3. Середньозважений розмір зерен подрібненої сировини зменшується зі зменшенням висоти подрібнюючих ребер та розміру сепаруючої щілини, що сприяє підвищенню однорідності продукту

4. Експерименти показали, що на роторі сепараційно-очисної машини доцільно встановлювати 12 ріжучих ребер. Це значення близьке до розрахункового значення 11,7.

5. Експериментально доведено, що при подрібненні зернових матеріалів у виробництві комбікормів розроблений сепаратор-дробарка в поєднанні з молотковою дробаркою дозволяє отримати продукт з меншим вмістом пилу, ніж при подрібненні тільки молотковою дробаркою.

6. Розроблено нову технологію подрібнення зернової та гранульованої сировини в комбікормовій промисловості з використанням сепаратора-фінішеру.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Розробка карти безпеки праці

З метою впровадження безпечних умов праці під час роботи в цеху з виробництва комбікормів, нами було розроблено карту безпеки праці (рис. 4.1) в якій було враховано всі особливості та умови роботи оператора лінії з виробництва комбікормів.

| Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва комбікорму | |
|---|--|
| <p>1. Загальна інформація</p> <p>Дана картка безпеки праці розроблена для робітників цеху з виробництва комбікорму. Важливо! Обов'язково ознайомитись з інформацією цієї картки перед виконанням робіт.</p> | <p>2. Опис робочого місця</p> <p>Посада: апаратник лінії з виробництва комбікорму. Місце роботи: цех з виробництва комбікорму. Робочий час: 1 зміна (8:00-20:00) 2 зміна (20:00-8:00)</p> |
| <p>3. Заходи безпеки</p> <p>До роботи допускаються особи, що досягли 18-річного віку та пройшли відповідний інструктаж з ОП і медичний огляд. Заборонено приступати до роботи в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння. В разі поганого самопочуття негайно повідомити майстра цеху. Уважно готувати робоче місце, дотримуватись правил охорони праці. Обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту при виконанні робіт з налагодженням роботи сепаратора</p> | |
| <p>4. Надзвичайні ситуації</p> <p>1) Пожежа: негайно повідомити про це відповідні служби та натиснути на пожежну сигналізацію. Використовувати вогнегасник або інші засоби пожежогасіння, якщо ви натрапили на невелике загоряння та можете безпечно його загасити. 2) Аварія: негайно повідомити про це відповідні служби та керівництво. Уникайте зони аварій та слідуйте вказівкам служб безпеки. 3) Травма: негайно повідомити про це відповідні служби та керівництво. Зверніться до медичного працівника або запросіть медичну допомогу, якщо потрібно.</p> | |
| <p>5. Потенційні ризики</p> <p>а) зерновий та борошняний пил, б) можливість травмування внаслідок дії рухомих частин обладнання, в) ризик пожежі.</p> | <p>6. Контакти екстрених служб</p> <p>Черговий: вн.т. 44-78-17 ДСНС: 101 Екстрена медична допомога: 103 Служба екстреної допомоги: 112</p> |
| <p>Ця картка повинна бути адаптована до конкретних умов роботи підприємства та відповідати чинному законодавству України у сфері охорони здоров'я!!!</p> | |

Рисунок 4.1 – Карта безпеки праці оператора лінії з виробництва комбікорму

4.2 Шляхи утилізації відходів комбікормового виробництва

Переробка відсіву – може бути перероблена на пелети для палива або використана як добавка до добрив. Відходи очищення - можуть бути повторно використані в процесі виробництва кормів або у виробництві інших кормів.

Анаеробне зброджування - виробляє біогаз, який може бути використаний як джерело енергії. Компостування - органічні відходи розкладаються на компост, який можна використовувати як добриво. Спалювання - спалювання відходів для виробництва тепла та електроенергії.

Піроліз – відходи нагріваються в умовах дефіциту кисню для отримання біомаси, біогазу та вуглецю. Відновлення вилучення поживних речовин - поживні речовини (наприклад, азот, фосфор) вилучаються з відходів і використовуються для виробництва добрив. Також утилізація відходів захоронюються на звалищах. Водойми - відходи скидаються у водойми, що негативно впливає на водні екосистеми.

Найкращі практики впроваджуються заходи із запобігання утворенню відходів, такі як оптимізація виробничих процесів та зменшення втрат.

Проблема утилізації відходів комбікормового виробництва є актуальною та потребує комплексних рішень. Незважаючи на значний прогрес у цій галузі, залишається багато питань, що потребують подальшого дослідження та впровадження інноваційних технологій.

Основні висновки, які можна зробити на підставі аналізу існуючих даних:

Відходи комбікормового виробництва містять цінні компоненти: білки, жири, мінеральні речовини, які можуть бути використані для виробництва органічних добрив, біогазу, кормових добавок та інших продуктів.

Існують різноманітні технології утилізації: компостування, анаеробне зброджування, виробництво біогазу, використання як добрива, включення до складу кормів. Вибір оптимального методу залежить від конкретного складу відходів, доступного обладнання та економічних показників.

Важливим аспектом є екологічна безпека: при утилізації відходів необхідно дотримуватися відповідних санітарних норм та правил, щоб уникнути забруднення довкілля.

Перспективним напрямком є інтеграція виробництва комбікормів з іншими галузями: сільським господарством, енергетикою. Це дозволить створити замкнуті цикли виробництва та зменшити негативний вплив на довкілля.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на:

Розробку нових технологій переробки відходів з високою ефективністю та мінімальними витратами.

Оптимізацію складу комбікормів з використанням відходів для підвищення їхньої поживної цінності.

Створення економічних моделей для стимулювання впровадження технологій утилізації відходів.

Висновки за розділом

Загалом, утилізація відходів комбікормового виробництва є важливим кроком до створення більш сталого та екологічно чистого сільського господарства. Її ефективне вирішення дозволить зменшити навантаження на навколишнє середовище, зберегти природні ресурси та отримати додаткову економічну вигоду.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Організація проведення дослідження

Організація дослідження включає складання переліку завдань, визначення їх взаємозв'язку та тривалості та розрахунок кошторису витрат на проведення експерименту.

Перелік завдань, передбачених у ході дослідження для демонстрації процесу сепарації та подрібнення зернової сировини з метою забезпечення стандартної крупності та однорідності корму, наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – План проведення дослідження

| Шифр робіт $i-j$ | Найменування робіт | Тривалість робіт t_{ij} , днів |
|------------------|---|----------------------------------|
| 1-2 | Вибір напрямку наукових досліджень | 1 |
| 2-3 | Робота з літературою та написання огляду | 17 |
| 3-4 | Розробка планів та проведення науково-дослідних робіт | 5 |
| 4-5 | Розробка методики наукових досліджень | 4 |
| 5-6 | Підготовка лабораторних зерен і гранульованої сировини | 3 |
| 6-7 | Підготовка дослідного устаткування | 18 |
| 7-8 | Дослідження процесу подрібнення в молоткових млинах при зміні складу зернистого матеріалу. | 3 |
| 7-9 | Визначення раціональних значень висоти подрібнювальних ребер та величини сепарувального зазору | 5 |
| 7-10 | Визначення впливу кількості подрібнювальних ребер на процес руйнування частинок сировини | 4 |
| 7-11 | Дослідження зміни якості отриманого продукту при одночасній роботі молоткової дробарки та сепарувально-доподрібнювальної машини | 2 |
| 8-12 | Обробка отриманих даних експериментальних дослідження | 1 |
| 9-12 | | 1 |
| 10-12 | | 1 |
| 11-12 | | 1 |
| 12-13 | Підготовка демонстраційного матеріалу та робота над публікацією | 8 |
| Всього | | 74 |

Отже, для виконання всіх завдань та реалізації цілей магістерської роботи знадобиться 53 дні.

5.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (5.1)$$

де m_1 – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_1 – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

| Найменування, одиниці | Кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Зернова сировина, кг | 30 | 4,30 | 129,00 |
| Гранульована сировина, кг | 30 | 26,20 | 786,00 |
| Всього | | | 915,00 |

Заробітна плата людей, що приймали участь у дослідженнях, визначається множенням середньочасового заробітку працівника на кількість витраченого часу. Результати розрахунку наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

| Посада | Середньомісячний заробіток, грн | Середньочасовий заробіток, грн | Кількість людино-годин | Сума, грн |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------|
| Дипломний керівник | 8500 | 50,59 | 15 | 758,85 |
| Всього | | | | 758,85 |

Нарахування на заробітну плату приймаються у розмірі 22 % єдиного податку. Від загальної суми заробітної платні вони складають:

$$H = \frac{758,85 \cdot 22}{100} = 166,95 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (5.2)$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності ($K = 0,9$);

T – час роботи на установці, год;

a – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на роботу подрібнювача:

$$E_1 = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 4,68 = 50,54 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу сепаратора:

$$E_2 = 1,3 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 4,68 = 43,80 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу персонального комп'ютера:

$$E_3 = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 272 \cdot 4,68 = 973,81 \text{ грн.}$$

Загальні витрати електроенергії:

$$E_{\text{заг}} = E_1 + E_2 + E_3 = 50,53 + 43,80 + 973,81 = 1068,14 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію устаткування, що використовується в процесі проведення досліджень, розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

365 – кількість днів у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

| Устаткування | Вартість, грн | Річна норма амортизації, % | Тривалість роботи, днів | Витрати на амортизацію, грн |
|---|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Подрібнювач зернової гранульованої сировини | 4340,00 | 15 | 2 | 0,35 |
| Установка для сепарування продуктів подрібнення | 2300,00 | 15 | 2 | 1,89 |
| Персональний комп'ютер | 11500,00 | 24 | 34 | 257,09 |
| Всього | | | | 259,33 |

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(758,85 \cdot 80)}{100} = 607,08 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

| Витрати | Сума, грн. |
|--------------------------------|------------|
| Основні матеріали | 915,00 |
| Заробітна плата | 758,85 |
| Нарахування на заробітну плату | 166,95 |
| Електроенергія | 1068,14 |
| Амортизація | 259,33 |
| Накладні витрати | 607,08 |
| Всього | 3775,35 |

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на заробітну плату і накладні витрати.

5.3 Розрахунок вартості дослідження

Ціна досліджень складає:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.4)$$

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

P – нормативна рентабельність ($P = 30$), %.

$$Ц = 3775,35 + \frac{30 \cdot 3775,35}{100} = 4907,95 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 4907,95 грн.

Висновки за розділом

Найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 758,85 грн та 607,08 грн. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 4907,95 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для додаткового подрібнення більших частинок подрібнюваної суміші сировинних компонентів в безперервному потоці був обраний аналог сепарувально-доподрібнювальної машини, а саме дисковий класифікатор У1-ДКЗ, який виявився вільним від умов, які б порушували однорідність вихідної суміші.

А саме, було визначено максимальний кут встановлення ріжучих ребер на роторі, кількість ріжучих ребер та мінімальну висоту відповідно до типу сировини та вимог до продукту подрібнення. Експерименти показали, що найбільш доцільним є встановлення 12 ріжучих ребер на роторі машини з робочою висотою 2 мм. Це дозволить підвищити якість готового продукту.

Іншими словами, використання розробленої сепарувально-доподрібнювальної машини разом з молотковим дробаркою при подрібненні зернової сировини та виробництві комбікормів призводить до отримання продуктів з меншим вмістом пилу, середньозваженим розміром частинок 0,82 мм, коефіцієнтом однорідності 2,07 та пиловим складом, ніж при подрібненні тільки на молотковому дробарці. Експериментально встановлено, що можна отримати продукти з середньозваженим розміром частинок 0,82 мм, коефіцієнтом однорідності 2,07 та пиловим складом. Можна отримати продукти з меншим вмістом пилових частинок, ніж при подрібненні тільки в молотковому млині, тобто з середньозваженим діаметром частинок 0,82 мм, коефіцієнтом однорідності 2,07 і часткою пилу 16,1 %.

Запропоновано нову технологію підготовки зернової сировини. Ця технологія використовує окрему сепарувально-доподрібнювальної машину для контролю і подальшого подрібнення грубої фракції продукту, подрібненого в молотковій дробарці. Це дозволить підвищити якість корму, скоротити тривалість технологічного процесу, зменшити витрати на додаткове обладнання та підвищити продуктивність молоткової дробарки. Дослідження показали, що продуктивність цієї лінії зросла з 11,7 тонн на годину до 23,1 тонн на годину.

Середньозважений розмір частинок зменшився з 1,07 мм до 0,98 мм, вміст пилюватої фракції знизився в 1,5 рази, а споживання електроенергії - в 1,1 рази.

Найбільшими статтями витрат за період дослідження є заробітна плата та накладні витрати, які становлять 758,85 грн. та 607,08 грн. відповідно. Загалом, враховуючи стандартну рентабельність 30%, вартість опитування становить 40907,95 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Чурсінов, Ю. О., Ковальова, О. С., Єрмакова, В. О., Ющенко, К. О. (2020). Спосіб виробництва повнораціонних комбікормів з біологічно активними рослинними добавками.
2. . Єгоров, Б.В. Розробка способу підвищення кормової цінності зерна для виробництва повноцінних комбікормів [Текст] / Б.В. Єгоров, Т.М. Давиденко // Хранение и перераб. зерна. – 2008. – №2(104). – С. 47-48.
3. Єгоров Г.А. Технологія борошна, крупи і комбікормів / Г.А. Єгоров, Е.М. Мельников, Б.М. Максимчук. – М.: Колос, 1984. – 376 с.
4. Єгоров Г.А. Технологія борошна, крупи і комбікормів / Г.А. Єгоров, Е.М. Мельников, Б.М. Максимчук. – М.: Колос, 1984. – 376 с.
5. Касьянов Г.І. Прогресивні технології переробки вторинних ресурсів / Рациональні шляхи використання вторинних ресурсів АПК. Міжн. наук. конф. Краснодар, 1997. – С. 21 – 22.
6. Комаров В.І. Основні напрямки створення мало і безвідходних технологій в галузях харчової промисловості / В.І. Комаров, Т.А. Мануйлова, В.І. Іванов. // Зберігання та переробка сільськогосподарської сировини, №3, 2005. С. 45 – 46.
7. Калашніков А.П. Комбікорми, кормові добавки і ЗЦМ для тварин. Довідник / А.П. Калашніков, В.А Фісіно. – М.: Урожай, 1990. – 304 с.
8. Мартинов Е.А. Стратегічне управління на підприємстві, обґрунтування вибору стратегії для борошномельно-круп'яних і комбікормових підприємств / Е.А. Мартинов, Н.В. Вільховець. Київ.: Екоінвест, 2004. – 164 с.
9. Манчинський П.М. Виробництво комбікормів / П.М. Манчинський, Л.С. Кожарова. – М.: Урожай. 1991. – 228 с.
10. Черняєв Н.П. Технологія комбікормового виробництва / Н.П. Черняєв. – М.: Агропромвидавництво, 1985. – 256 с.
11. Шаферман М.І. Очищення і сушка сировини на комбікормових заводах / М.І. Шаферман. – М.: Колос, 1981. – 80 с.

12. Шумилин І.С., Державіна Т.П., Артюшин А.М. Склад і поживність кормів / І.С. Шумилин, Т.П. Державіна, А.М. Артюшин. – М.: Агропромвидавництво, 1986. – 303 с
13. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції / Міністерство агропромислового комплексу України ; Київський інститут хлібопродуктів. – Київ :Віпол, 1998. – 219 с.
14. Чурсинов, Ю. А., Ковалева, Е. С., Калина, В. С., Мыколенко, С. Ю., & Хомык, Н. И. (2019). Технология производства биологически-активных фитокармливых добавок из сока зеленых растений. Птицеводство, (9-10), 51-57. <http://dx.doi.org/10.33845/0033-3239-2019-68-9-10-51-57>
15. Технологія комбікормового виробництва : методичні вказівки до виконання курсової роботи та курсового проекту для студентів спеціальності 7.91701 «Технологія зберігання і переробки зерна» напряму 0917 «Харчова технологія та інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. : О. І. Шаповаленко, Т. І. Янюк, І. І. Гапонюк, Т. В. Корж. – Київ : НУХТ, 2004. – 30 с.
16. . Єгоров, Б.В. Біотехнологія підвищення кормової цінності концентрованих кормів [Текст] / Б.В. Єгоров, О.М. Кананихіна, Т.М. Давиденко // Хранение и перераб. зерна. – 2008. – №7(109). – С. 55-57.
17. Єгоров, Б.В. Збагачення концентрованих кормів дріжджами [Текст] / Б.В. Єгоров, О.М. Кананихіна, Т.М. Давиденко // Зернові продукти і комбікорми. – 2008. - № 3 (31). – С. 27-31.
18. Єгоров, Б.В. Удосконалення технології підготовки зернової сировини при виробництві повноцінних комбікормів [Текст] / Б.В. Єгоров, О.М. Кананихіна, Т.М. Давиденко // Наук. пр. ОНАХТ. – О., 2008. – Вип. 34, т.1. – С.124-131.Є
19. Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica, APTEFF, 50, P. 12-22.
20. Pivovarov O., Kovalova O., Koshulko V., Aleksandrova A. Study of use of antiseptic ice of plasma-chemically activated aqueous solutions for the storage of food

raw materials. Food science and technology. 2021. Vol. 15, Issue 4. P. 95-105. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i4.2260>

21. Гросул, Л. Г., Гапонюк, О. І., Мосієнко, Г. А., Яцкова, Т. Й., Гончарук, Г. А. (2011). Повітряно-гравітаційний сепаратор для попередньої обробки збіжжя. Зернові продукти і комбікорми. № 2 (42). С. 40-42

22. Кирпа, М. Я., Скотар, С. О., Рослик, О.О. (2014). Дослідження процесу та параметрів аеродинамічного сепарування однокомпонентних насінневих сумішей. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. № 2 (34). С. 95-98.

23. Сухін, В. С., Чернобай, І. В., Калічава, Г.Т. (2018). Патент на корисну модель UA 122770 U, МПК В07В 4/02 (2006.01), А01F 12/44 (2006.01). 72 Універсальний аеродинамічний сепаратор серії "Сад" з додатковим очищенням зернового матеріалу. Заявник Сухін В. С., Чернобай І. В., Калічава Г.Т. № u 2017 07797. Заявл. 24.07.2017. Опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

24. Kovaliova O., Pivovarov O., Koshulko V. Study of hydrothermal treatment of dried malt with plasmochemically activated aqueous solutions. Food science and technology. 2020. Vol. 14, Issue 3. P. 113-121 DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1799>

25. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.

26. Ольшанський, В. П., Бредихін, В. В., Лук'яненко, В. М., Півень, М. В., Сліпченко, М. В., Харченко, С. О. (2017). Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт. 803 с.

27. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с

28. Адамчук В. В., Прилуцький, А. Н., Заришняк, А. С., Степаненко, С. П. (2014). Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.:

Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». Вип. 99. С. 40-56.

29. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т.3. С. 23 – 35.

30. Олексієнко В. О. Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок: дис. ... кандидата технічних наук : 05.05.11 Олексієнко Вадим Олександрович ; Таврійська державна агротехнічна академія. Мелітополь, 2006. 173 с.

31. Соломка О. В. Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету ім. Петра Василенка. Харків, 2009. Вип. 78. С. 132 – 140.

32. Горобець В. Г., Гескін Д. В. Визначення умов руйнування (подрібнення) часточок різної форми при застосуванні роторно-пульсаційного апарата (РПА). Науковий вісник НУБіП. 2013. Вип. 184. Ч. 2, С. 65-70

33. Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Serdyuk A. M. Numerical simulation of hydrodynamics and heat transfer processes in rotor-pulsing apparatus for preparation of liquid feed. Енергетика і автоматика. 2019. №5, С. 22-29.

34. Горобець В. Г., Сердюк А. М. Експериментальне дослідження процесів приготування рідких зернових кормів в роторно-пульсаційному апараті. Енергетика і автоматика. 2022. №4. С. 74-85.

35. Запорожець, М. А. Зниження енергоємкості подрібнення зерна. Режим доступу:http://econf.at.ua/publ/konferencija_2016_05_19_20/sekcija_4_tekhnichni_nauk_i_znizhennja_energoemkosti_podribnennja_zerna/46-1-0-981

36. Бойко, Ю. І. Дослідження процесу подрібнення зернових продуктів і розроблення нової конструкції кулькового подрібнювача: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Бойко Юрій Іванович ; НУХТ. - К., 2006. - 20 с.

37. Єгоров, Б. В. Технологія виробництва комбікормів / Б. В. Єгоров. – Одеса: Друкарський дім, 2011. – 448 с

38. Соломка О. В. Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету ім. Петра Василенка. Харків, 2009. Вип. 78. С. 132 – 140

39. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбикормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.

40. Новицький А. В. Підвищення безвідказності кормодробарок конструкторсько-технологічними методами на основі структурного аналізу їх надійності: дис. ... кандидата технічних наук : 05.05.11 Новицький Андрій Валентинович ; Національний аграрний університет. Київ, 2001. 190 с.

41. <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/tema-5.-tehnolohichne-obladnannja-vyrobnyctva-boroshna.pdf>

42. <https://simo.com.ua/ua/obladnannya/izmelchenie-i-vyimol-zerna/>

43. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_27/page2.html

44. <https://siydobro.com/bloh-nashoi-kompanii-korysni-statti/tekhnohiiia-vyrobnytstva-kombikormiv-vid-syrovyny-do-hotovoho-produktu/>

45. <https://fishindustry.com.ua/sposobi-pidgotovki-sirovini-dlya-kombikormiv-chastina-41/>

46. <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/17360.pdf>

47. <https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynyystvo/item/8063-pidhotovka-kormiv-do-zhodovuvannia.html>

48. <https://artmash.ua/article/plyuschenie-kormov-tehnologiya-preimuschestva-sravnenie>

49. <https://tms.ck.ua/a492472-virobnitstvo-kombikormu.html>

50. <https://buklib.net/books/30910/>

51. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/28096/1/Innovatsiyni_asyekty_rozvytku_2017_71-72.pdf

52. <https://tmsukraine.com.ua/ua/p1423592101-liniya-granulirovaniya-pellet.html?srsltid=AfmBOoq9XMp-Qw0ozwI81B0VJG7SNTz53oFSrcCNnXngrGFii8W74WXd>
53. <https://tmsukraine.com.ua/ua/p1423592101-liniya-granulirovaniya-pellet.html?srsltid=AfmBOoq9XMp-Qw0ozwI81B0VJG7SNTz53oFSrcCNnXngrGFii8W74WXd>
54. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=znpvnutn_2011_9_22
55. <https://ua.fine-mill.com/pin-mill/grain-grinder-machine.html>
56. https://economyandsociety.in.ua/journals/16_ukr/53.pdf