

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Розробка технологічного процесу приготування комбікорму
на відгодівельній свинофермі з модернізацією дробарки зерна**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Браженко Іван Олександрович

Керівник: _____ Трипутень Микола Мусійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних
систем

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Браженко Іван Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Розробка технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі з модернізацією дробарки зерна

керівник проєкту Трипутень Микола Мусійович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікорму. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Модернізація технологічного процесу приготування комбікорму. 3. Удосконалення молоткового подрібнювача зерна. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу приготування комбікорму. 2. Схема компонування кормоприготувального відділення. 3. Молоткова дробарка. 4. Ротор дробарки. 5. Молотки. 6. Дека. 7. Сито. 8. Вал. 9. Охорона праці. 10. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Трипутень М.М., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Браженко І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Трипутень М.М.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Браженко І.О. Розробка технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі з модернізацією дробарки зерна / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Дипломна робота присвячена розробці технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі з модернізацією молоткової дробарки зерна. У роботі розглянуто технології годівлі свиней, особливості приготування повнораціонних комбікормів та конструкції подрібнювачів зернової сировини.

Обґрунтовано доцільність використання сухого повнораціонного комбікорму власного приготування для свиноферми з поголів'ям 6000 голів. Розроблено технологічну схему кормоприготувального відділення, визначено основні технічні та технологічні параметри процесу, зокрема добову потребу в комбікормі та необхідну продуктивність лінії.

У конструктивній частині запропоновано удосконалення молоткової дробарки зерна, яке передбачає модернізацію ротора, молотків і деки. Запропоновані зміни спрямовані на підвищення рівномірності подрібнення, зменшення енерговитрат, зниження зношування робочих органів і поліпшення якості готового комбікорму. Розроблено заходи з охорони праці та виконано техніко-економічну оцінку, яка підтвердила ефективність запропонованої модернізації.

Ключові слова: комбікорм, свиноферма, відгодівля свиней, кормоприготувальне відділення, молоткова дробарка, подрібнення зерна, ротор, молотки, дека, охорона праці, економічна ефективність.

Зміст

ВСТУП	7
1 Аналіз стану питання.....	9
1.1 Огляд технологій годівлі свиней.....	9
1.2 Огляд технологій приготування повнораціонних комбікормів	14
1.3 Аналіз конструкцій подрібнювачів зерна	19
1.4 Висновки до розділу	25
2 Модернізація технологічного процесу приготування комбікорму.....	27
2.1 Обґрунтування важливості питання.....	27
2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги.....	28
2.3 Розробка технологічної схеми процесу.....	31
2.4 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу.....	33
2.5 Висновки до розділу	40
3 Удосконалення молоткового подрібнювача зерна	41
3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення	41
3.2 Вихідні дані.....	42
3.3 Розробка варіанту удосконалення.....	45
3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів	47
3.5 Висновки до розділу	55
4 Охорона праці.....	56
4.1 Загальні вимоги охорони праці при приготуванні комбікормів	56
4.2 Вимоги охорони праці при роботі з дробаркою.....	59
4.3 Висновки до розділу	63
5 Техніко-економічна оцінка	64
5.1 Вихідні дані.....	64
5.2 Результати розрахунків економічних показників	65
5.3 Висновки до розділу	67
Загальні висновки.....	68
Бібліографія.....	69
Додатки.....	71

ВСТУП

Свинарство є однією з важливих галузей тваринництва, яка забезпечує населення цінною м'ясною продукцією та має значний вплив на продовольчу безпеку країни. Ефективність роботи відгодівельних свиноферм значною мірою залежить від організації годівлі, якості кормів, стабільності їх складу та рівня механізації технологічних процесів. Одним із головних напрямів підвищення продуктивності свиней на відгодівлі є використання повнораціонних комбікормів, які забезпечують тварин необхідною кількістю поживних речовин, енергії, протеїну, мінеральних речовин і вітамінів.

В умовах сучасного виробництва важливого значення набуває приготування комбікорму безпосередньо в господарстві. Це дає змогу раціонально використовувати власну зернову сировину, зменшити витрати на закупівлю готових кормів, оперативно змінювати рецептуру відповідно до вікових і продуктивних груп тварин, а також контролювати якість кормової суміші. При цьому особлива увага приділяється процесу подрібнення зерна, оскільки від крупності помелу залежить засвоюваність корму, рівномірність змішування компонентів, енерговитрати та загальна ефективність кормоприготувального відділення.

Однією з найбільш поширених машин для подрібнення зернових компонентів комбікорму є молоткова дробарка. Вона відзначається простотою конструкції, універсальністю, достатньою продуктивністю та можливістю роботи з різними видами зернової сировини. Разом із тим у процесі експлуатації таких дробарок часто виникають недоліки, пов'язані з нерівномірністю помелу, підвищеними енерговитратами, зношуванням молотків і деки, а також утворенням пилу. Тому модернізація робочих органів дробарки є актуальним завданням, спрямованим на підвищення якості подрібнення та зниження експлуатаційних витрат.

Метою дипломної роботи є розробка технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі та обґрунтування

модернізації молоткової дробарки зерна для підвищення ефективності роботи кормоприготувального відділення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати технології годівлі свиней і способи приготування повнораціонних комбікормів; розглянути конструкції подрібнювачів зерна та обґрунтувати вибір молоткової дробарки; розробити технологічну схему приготування комбікорму для відгодівельної свиноферми; визначити основні технологічні параметри процесу; запропонувати конструктивне удосконалення дробарки, що стосується ротора, молотків і деки; виконати розрахунок основних конструкційно-технологічних параметрів; розробити заходи з охорони праці під час роботи з дробаркою; провести техніко-економічну оцінку запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі.

Предметом дослідження є конструкційно-технологічні параметри молоткової дробарки зерна та їх вплив на якість подрібнення, продуктивність і енергоефективність процесу.

У роботі використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння конструкцій кормоприготувального обладнання, інженерних розрахунків, узагальнення зоотехнічних вимог, а також техніко-економічної оцінки запропонованого варіанта модернізації.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований технологічний процес і модернізація молоткової дробарки зерна можуть бути використані на відгодівельних свинофермах із власним виробництвом комбікормів. Удосконалення робочих органів дробарки дає змогу підвищити рівномірність помелу, зменшити частку недоподрібнених частинок, покращити якість кормової суміші, знизити енерговитрати та підвищити безпеку експлуатації обладнання.

1 Аналіз стану питання

Ефективність роботи відгодівельної свиноферми значною мірою визначається не лише породними якостями тварин, умовами утримання та ветеринарним супроводом, а й стабільністю кормової бази. У свинарстві корм є основною статтею виробничих витрат, тому навіть невелике поліпшення якості подрібнення, дозування або змішування компонентів відображається на собівартості приросту живої маси. Для господарств, які мають власне зерно, особливого значення набуває організація внутрішньогосподарського виробництва комбікорму, оскільки вона дає змогу швидко змінювати рецептуру, зменшувати витрати на транспортування готових кормів і краще контролювати якість сировини.

Тема розробки технологічного процесу приготування комбікорму для відгодівельної свиноферми пов'язана з необхідністю узгодити зоотехнічні вимоги до годівлі, технологічні можливості кормоцеху та конструктивні параметри основного обладнання. У такій лінії дробарка зерна є одним із ключових агрегатів, адже саме після подрібнення формується крупність частинок, від якої залежить перетравність поживних речовин, сипкість суміші, рівномірність змішування і втрати корму під час роздавання. Надмірно грубий помел погіршує засвоєння енергії зерна, а занадто дрібний спричиняє пилення, погіршення текучості, підвищення витрат електроенергії та швидший знос робочих органів.

Метою першого розділу є аналіз сучасних підходів до годівлі свиней на відгодівлі, огляд технологій приготування повнораціонних комбікормів і порівняння конструкцій подрібнювачів зерна. На основі цього аналізу обґрунтовується доцільність модернізації дробарки як елемента, що безпосередньо впливає на продуктивність кормоцеху, якість готового комбікорму та енергетичну ефективність технологічного процесу.

1.1 Огляд технологій годівлі свиней

Годівля свиней на відгодівлі має забезпечувати інтенсивний приріст живої маси, раціональне використання поживних речовин і стабільну якість

продукції. На практиці вона базується на поєднанні двох складових: збалансованої рецептури комбікорму та правильно організованої системи його видавання. Якщо рецептура відповідає потребам певної вікової або вагової групи, але корм нерівномірно подрібнений, погано перемішаний або втрачається біля годівниць, очікуваного виробничого результату отримати неможливо.

У технології відгодівлі найчастіше застосовують фазову годівлю. Її сутність полягає в тому, що рецептуру корму змінюють відповідно до маси тварин і темпу росту. На початку відгодівлі свині потребують більшої концентрації перетравного протеїну, незамінних амінокислот, мінеральних речовин і вітамінів. У завершальний період відгодівлі частка енергетичних компонентів може бути вищою, а рівень окремих дорогих добавок зменшують, щоб не перевитрачати їх без помітного приросту продуктивності. Такий підхід є економічно доцільним, оскільки поживність раціону узгоджується з реальною потребою тварин, а не задається «із запасом» на весь період вирощування.

Для свиней на відгодівлі поширеним є вільний доступ до корму через бункерні або автоматичні годівниці. Цей спосіб простий в експлуатації, дає змогу зменшити витрати праці і підтримувати стабільне споживання корму. Водночас він вимагає правильного регулювання щілин годівниці: надмірне відкриття збільшує втрати, а недостатня подача обмежує споживання і знижує середньодобовий приріст. За даними сучасних ветеринарно-зоотехнічних джерел, кількість спожитого корму у зростаючих і відгодівельних свиней залежить не тільки від рецептури, а й від енергетичної щільності раціону, температури, вологості повітря, щільності посадки, стану годівниць, вентиляції та санітарії приміщення [2].

За фізичною формою корму технології годівлі поділяють на суху, вологу і рідку. Суха годівля передбачає використання розсипного або гранульованого комбікорму. Вона найкраще підходить для господарств, де виробляють власне зерно і мають невеликий або середній кормоцех. Суха суміш добре

зберігається, легко транспортується шнеками, ланцюгово-шайбовими транспортерами чи пневмотранспортом, а обладнання для її приготування має відносно просту будову. Основними недоліками сухої годівлі є пилення, можливе розшарування суміші та залежність поїдання від якості помелу.

Гранульований корм є різновидом сухої годівлі. Його переваги полягають у зменшенні розшарування, підвищенні об'ємної маси, меншому утворенні пилу і зручності транспортування. Гранули краще витримують переміщення у механізованих лініях і зменшують вибіркове поїдання окремих компонентів. Однак гранулювання потребує додаткових операцій: кондиціювання парою, пресування, охолодження та відсівання крихти. Для невеликих свиноферм це може бути економічно виправданим лише за достатнього обсягу виробництва або за потреби реалізації готового корму іншим споживачам.

Волога та рідка годівля передбачає змішування сухої кормової частини з водою або рідкими побічними продуктами харчової промисловості. Такі системи можуть зменшувати пилення, підвищувати споживання корму і спрощувати використання рідких компонентів. Водночас вони потребують точного дозування, регулярного промивання трубопроводів, контролю мікробіологічного стану суміші та надійної автоматики. Порушення санітарного режиму швидко призводить до закисання залишків корму, нерівномірного надходження поживних речовин і ризику розладів травлення.

За способом організації процесу розрізняють ручне, напівмеханізоване, механізоване та автоматизоване роздавання. Ручне роздавання є трудомістким і придатне лише для дуже малих господарств. Напівмеханізовані схеми застосовують там, де частина операцій виконується транспортерами, а частина залишається за оператором. Механізовані лінії з бункерами, шнеками, дозаторами і годівницями є найбільш поширеними для відгодівельних свиноферм. Автоматизовані системи дозволяють вести облік корму, змінювати режим видавання, контролювати залишки у бункерах і швидко

коригувати рецептуру, проте потребують вищих початкових інвестицій і кваліфікованого обслуговування.

Зоотехнічні вимоги до годівлі свиней охоплюють збалансованість раціону за енергією, протеїном, амінокислотами, клітковиною, кальцієм, фосфором, кухонною сіллю, мікроелементами та вітамінами. Національна академія наук США у довіднику з норм годівлі свиней наголошує, що сучасні раціони мають враховувати масу тварин, темп росту, стать, енергетичну щільність корму, температуру довкілля і склад сировини [1]. Для практичного кормоцеху це означає, що технологічна лінія повинна забезпечувати не одну «середню» суміш, а можливість підготовки кількох раціонів для різних груп тварин.

Для відгодівельної свиноферми найбільш раціональною є механізована суха годівля повнораціонним комбікормом власного приготування. Така схема дає змогу використовувати зернові культури господарства, зменшувати залежність від придбання готових кормів, контролювати рецептуру і оперативно змінювати склад суміші. Найважливішими умовами її успішного застосування є якісне очищення зерна, стабільне подрібнення, точне дозування компонентів і рівномірне змішування.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика основних технологій годівлі свиней на відгодівлі

Технологія годівлі	Сутність технології	Переваги	Обмеження та недоліки
Суха розсипна годівля	Видавання подрібненого та змішаного комбікорму у бункерні або автоматичні годівниці.	Проста будова лінії, можливість використання власного зерна, невисокі витрати на обладнання, добра сумісність із шнековим транспортом.	Пилання, ризик розшарування суміші, залежність поїдання від крупності помелу та налаштування годівниці.

Суха гранульована годівля	Видавання комбікорму після пресування у гранули з подальшим охолодженням.	Менше пилу, вища об'ємна маса, нижче розшарування, зручне транспортування та зберігання.	Потребує прес- гранулятора, охолоджувача, пари або додаткової енергії; підвищує капітальні витрати.
Волога годівля	Змішування сухого комбікорму з водою безпосередньо перед видаванням.	Зменшує пилення, може покращувати поїдання, полегшує споживання для окремих груп тварин.	Потрібний контроль вологості, регулярне очищення обладнання, вища увага до санітарії.
Рідка годівля	Приготування кормової суспензії з використанням води або рідких побічних продуктів.	Дає змогу використовувати дешеві рідкі компоненти, автоматизувати дозування, зменшити пил.	Складні трубопроводи, ризик закисання, потреба у промиванні та точній автоматизації.
Індивідуалізована автоматична годівля	Дозування корму за програмою з урахуванням групи або індивідуальних параметрів тварини.	Точний облік, економія корму, можливість швидкої зміни режиму.	Висока ціна, потреба у датчиках, програмному забезпеченні та сервісному супроводі.

Аналіз наведених технологій показує, що для умов типової відгодівельної свиноферми доцільно орієнтуватися на суху механізовану годівлю з використанням повнораціонного комбікорму. Саме ця схема найкраще поєднує відносну простоту, доступність обладнання, можливість використання власного зерна і достатній рівень механізації. Водночас її ефективність дуже залежить від якості роботи дробарки, оскільки сухий

розсипний корм найбільше реагує на нерівномірний помел, пилення та неоднорідність суміші.

1.2 Огляд технологій приготування повнораціонних комбікормів

Повнораціонний комбікорм – це однорідна кормова суміш, у якій кожна порція має забезпечувати тварину необхідною кількістю енергії, протеїну, амінокислот, мінеральних речовин і вітамінів відповідно до її фізіологічного стану та виробничого призначення. Для свиней на відгодівлі такий корм повинен бути не просто сумою компонентів, а технологічно підготовленим продуктом із заданою крупністю, вологістю, сипкістю і рівномірністю розподілу мікродобавок.

Типовий склад комбікормів для відгодівельних свиней базується на зернових культурах, які є основним джерелом енергії. До них належать ячмінь, пшениця, кукурудза, тритикале та інші доступні зернові. Білкову частину формують за рахунок соєвого або соняшникового шроту, макухи, гороху, кормових дріжджів чи інших джерел протеїну. Для балансування мінерального складу використовують крейду, фосфатні добавки, сіль, а для забезпечення мікроелементів і вітамінів – премікси. Додатково можуть застосовуватися ферментні препарати, підкислювачі, адсорбенти мікотоксинів або інші функціональні добавки, але їх введення має бути обґрунтованим і точним.

Процес приготування повнораціонного комбікорму складається з кількох взаємопов'язаних операцій. Спочатку сировину приймають, зважують, очищують від домішок і спрямовують у відповідні бункери. Потім зернові компоненти подрібнюють до потрібної крупності. Після цього компоненти дозують за рецептом, перемішують у змішувачі, за потреби вводять рідкі добавки, а готовий корм подають у накопичувальний бункер або на лінію роздавання. У промислових кормоцехах після змішування може виконуватися гранулювання, охолодження, просіювання та пакування. Для внутрішньогосподарського кормоцеху відгодівельної ферми найчастіше

достатньою є лінія очищення, подрібнення, дозування, змішування та короткочасного зберігання готової суміші.

Міжнародні рекомендації з організації кормовиробництва описують рух матеріалу у кормоцеху як послідовність приймання, очищення, подрібнення, преміксування, основного змішування, за потреби гранулювання, пакування або зберігання [5]. Таке розуміння важливе для проектування технологічної лінії, оскільки кожна операція повинна готувати матеріал до наступної. Наприклад, якісне змішування неможливе без близької крупності основних компонентів, а стабільне подрібнення у дробарці неможливе без попереднього вилучення металевих домішок і грубих сторонніх включень.

На етапі приймання і підготовки сировини основну увагу приділяють вологості, засміченості, наявності пошкодженого або запліснявілого зерна. Вологе зерно гірше подрібнюється, швидше забиває решета дробарки, має нижчу сипкість і створює умови для розвитку плісняви під час зберігання. Тому зерно повинно надходити у кормоцех після очищення і, за потреби, сушіння. Перед дробаркою доцільно встановлювати магнітний уловлювач, який захищає молотки, решето та корпус від пошкодження металевими предметами.

Подрібнення є центральною операцією приготування комбікорму із зернової сировини. Його завдання полягає у збільшенні питомої поверхні частинок, поліпшенні доступності поживних речовин для ферментів травлення і створенні умов для рівномірного змішування. Водночас надмірне подрібнення не є однозначно корисним: воно збільшує питому витрату енергії, підвищує температуру продукту, спричиняє пилення і погіршує сипкість корму. Для фінішних раціонів свиней у сучасних рекомендаціях часто вказують орієнтир середнього розміру частинок зернової частини близько 500-600 мкм; зменшення крупності може покращувати використання енергії, але надто дрібний помел здатний погіршувати текучість корму і підвищувати ризик небажаних наслідків для травлення [3].

Дозування компонентів визначає фактичну відповідність рецептури розрахованому раціону. Основні компоненти – зерно, шрот, висівки або інші об'ємні матеріали – дозують ваговими або об'ємними дозаторами. Мікрокомпоненти, зокрема премікси, сіль, ферментні препарати та мінеральні добавки, доцільно попередньо змішувати з носієм. Це зменшує ризик локального перенасичення окремих порцій корму активними речовинами і підвищує рівномірність розподілу добавок у загальній масі.

Змішування має забезпечити таку однорідність, щоб кожна порція корму була близькою за складом до заданої рецептури. На рівномірність впливають тип змішувача, тривалість циклу, ступінь заповнення робочої камери, послідовність завантаження компонентів, різниця у щільності та розмірі частинок. Для сипких комбікормів використовують горизонтальні лопатеві, стрічкові або шнекові змішувачі, а на малих фермах іноді застосовують вертикальні змішувачі. Горизонтальні машини зазвичай забезпечують швидше і рівномірніше перемішування, але потребують точнішого дозування і більшої площі розміщення.

Готовий комбікорм повинен зберігатися недовго, особливо якщо у ньому є подрібнене зерно, жировмісні компоненти або добавки, чутливі до окиснення. Подрібнена сировина має більшу площу контакту з повітрям, тому швидше втрачає якість порівняно з цілим зерном. З цієї причини для відгодівельної ферми доцільно організовувати приготування корму партіями, які відповідають добовій або кількадобовій потребі поголів'я, а не накопичувати великі запаси готової суміші.

Важливим елементом сучасної технології є контроль безпечності кормів. Добра виробнича практика передбачає простежуваність сировини, запобігання перехресному забрудненню, контроль критичних операцій, чистоту обладнання та документування рецептур [6]. Для внутрішньогосподарського кормоцеху це означає необхідність вести облік партій зерна, періодично перевіряти якість помелу, стан решіт і молотків, точність дозаторів, однорідність змішування та санітарний стан бункерів.

Загальна технологічна схема приготування комбікорму для відгодівельної свиноферми може бути подана так: приймання зерна і добавок – очищення – магнітний захист – подрібнення зернових – накопичення подрібненої фракції – дозування компонентів – введення преміксу – змішування – вивантаження у бункер готового корму – подача до лінії роздавання. У цій схемі дробарка працює у найбільш енергомісткому режимі, а її технічний стан визначає ритмічність роботи всього кормоцеху.

Таблиця 1.2 – Основні операції технологічного процесу приготування повнораціонного комбікорму

Операція	Призначення	Основне обладнання	Показники, які потрібно контролювати
Приймання сировини	Надходження зерна, білкових, мінеральних і вітамінних компонентів у кормоцех.	Приймальний бункер, ваги, завальна яма, транспортер.	Маса партії, вологість, засміченість, запах, наявність пошкодженого зерна.
Очищення і магнітний захист	Видалення пилу, соломи, камінців, металевих предметів та інших домішок.	Сепаратор, решітний очищувач, аспірація, магнітний уловлювач.	Чистота зерна, відсутність металу, стабільність подачі на дробарку.
Подрібнення зерна	Формування потрібної крупності частинок для підвищення доступності	Молоткова, вальцьова, дискова або інша дробарка.	Середній розмір частинок, частка пилу, продуктивність, питома витрата електроенергії,

	поживних речовин і рівномірного змішування.		нагрівання продукту.
Дозування компонентів	Відмірювання сировини відповідно до рецептури комбікорму.	Вагові або об'ємні дозатори, бункери, шнеки.	Точність дозування, черговість завантаження, залишки у бункерах.
Преміксування	Попереднє розподілення мікродобавок у носії для полегшення основного змішування.	Малий змішувач або окрема ємність для преміксу.	Рівномірність розподілу мікрокомпонентів, відсутність грудок.
Основне змішування	Отримання однорідного повнораціонального комбікорму.	Горизонтальний або вертикальний змішувач.	Час змішування, ступінь заповнення, однорідність суміші, відсутність розшарування.
Зберігання і подача	Короткочасне накопичення готового корму та подача до годівниць або транспортних засобів.	Бункер готового корму, шнеки, транспортери, заслінки.	Сипкість, відсутність зависання, чистота бункера, термін зберігання.

Отже, технологія приготування комбікорму повинна розглядатися як єдина система, у якій кожний агрегат впливає на якість наступної операції. Для

обраної теми особливо важливо те, що дробарка визначає гранулометричний склад зернової частини, а від нього залежать і змішування, і сипкість, і втрати корму при роздаванні. Тому модернізація дробарки є не ізольованою конструктивною зміною, а способом підвищення ефективності всього технологічного процесу кормоцеху.

1.3 Аналіз конструкцій подрібнювачів зерна

Подрібнювачі зерна у кормовиробництві призначені для руйнування зернівки до частинок заданого розміру. За способом дії на матеріал їх умовно поділяють на ударні, стискально-зсувні, різальні та комбіновані. У практиці приготування комбікормів для свиней найчастіше застосовують молоткові дробарки і вальцові млини, рідше – дискові, штифтові, жорнові та комбіновані агрегати. Вибір конструкції залежить від продуктивності ферми, виду зерна, необхідної крупності, енергоспоживання, вартості обслуговування і вимог до рівномірності помелу.

Основні конструкційні схеми подрібнювачів зерна, які можуть застосовуватися у технологічних лініях приготування комбікорму, наведено на рисунку 1.1.

Порівняння наведених схем показує, що різні типи подрібнювачів відрізняються способом руйнування зерна, складністю робочих органів і характером одержаного помелу. Тому вибір дробарки для свиноферми повинен враховувати не тільки продуктивність, а й рівномірність крупності, запиленість корму, витрати енергії та зручність технічного обслуговування.

Молоткова дробарка працює за принципом багаторазового удару зерна об молотки, деку, решето і частинки матеріалу. Зерно надходить у камеру подрібнення, де ротор із молотками обертається з великою частотою. Частинки руйнуються під дією удару, стирання і часткового зрізу, після чого проходять через отвори решета. Крупні частинки залишаються у камері до повторного руйнування. Розмір готового продукту регулюють передусім діаметром отворів решета, частотою обертання ротора, кількістю і формою

молотків, зазором між молотками та решетою, а також рівномірністю подачі матеріалу.

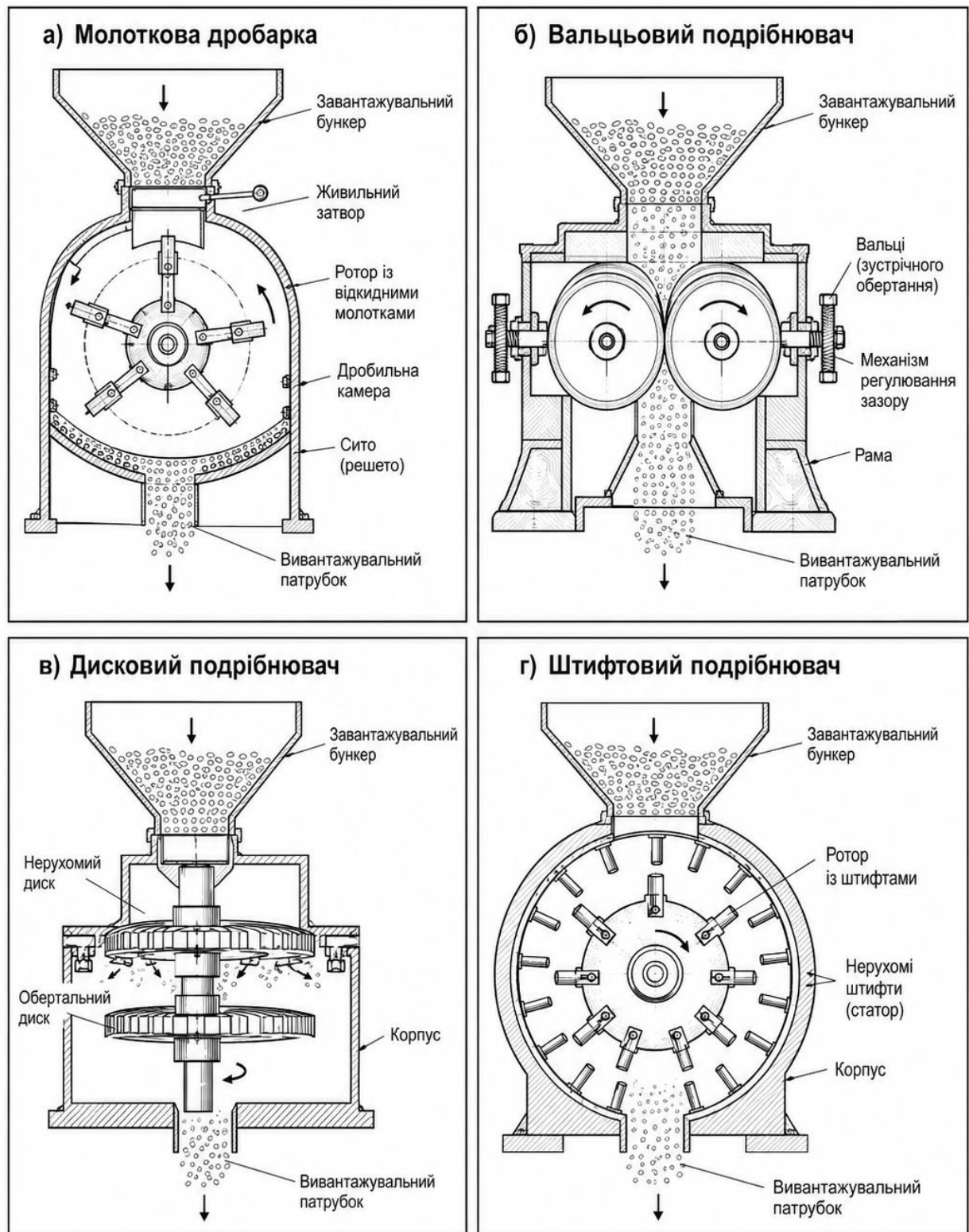


Рисунок 1.1 – Конструкційні схеми подрібнювачів зерна

Основними перевагами молоткових дробарок є універсальність, проста будова, висока продуктивність, здатність подрібнювати різні зернові культури і відносно невисока вартість. Вони добре пристосовані до умов внутрішньогосподарського кормоцеху, де потрібно швидко переробляти змінні партії зерна. Недоліками є підвищене пилення, нерівномірний гранулометричний склад, значний шум, знос молотків і решіт, а також порівняно велика питома витрата електроенергії при надмірно дрібному помелі. За відсутності аспірації або правильного повітряного режиму дрібна фракція може накопичуватися у камері, погіршуючи продуктивність і підвищуючи нагрівання продукту.

Вальцові подрібнювачі руйнують зерно між двома або кількома вальцями, які обертаються назустріч один одному. Руйнування відбувається переважно за рахунок стиску і зсуву. Такі машини формують більш рівномірний помел, менше пилять і можуть мати нижчу питому витрату енергії для певних зернових культур. Для свиней це є важливим, оскільки надмірна кількість пилу в розсипному кормі небажана. Водночас вальцові машини чутливі до металевих домішок, потребують точного регулювання зазору, якісного очищення зерна і регулярного обслуговування поверхні вальців. Їх продуктивність і універсальність у малому кормоцеху не завжди кращі за молоткові дробарки.

Дискові та жорнові подрібнювачі використовують тертя і стирання між робочими поверхнями. Вони можуть бути компактними і придатними для малих обсягів, але зазвичай поступаються молотковим дробаркам за продуктивністю та універсальністю. Крім того, при підвищеній вологості зерна або неправильному зазорі робочі поверхні швидше забиваються, а продукт може нагріватися. Такі конструкції доцільні переважно для невеликих фермерських господарств або як допоміжне обладнання.

Штифтові, роторно-відцентрові та інші високошвидкісні подрібнювачі забезпечують інтенсивний ударний вплив і можуть використовуватися для

тонкого помелу. Однак для звичайної відгодівельної свиноферми їх застосування обмежене через високу швидкість робочих органів, знос, пилення і вимоги до аспірації. У виробництві комбікорму для свиней надто тонкий помел не завжди є метою, тому такі машини мають сенс лише для спеціальних технологічних завдань.

Комбіновані агрегати типу «дробарка-змішувач» поєднують подрібнення і перемішування в одному технологічному модулі. Їх перевага полягає у компактності та простоті встановлення. Проте за зростання продуктивності ферми така схема може обмежувати точність дозування, ускладнювати обслуговування, збільшувати тривалість циклу і не забезпечувати достатньої гнучкості при зміні рецептури. Для проектування технологічного процесу на відгодівельній свинофермі більш доцільним є розділення операцій: окрема дробарка, окремі дозатори і змішувач.

Оцінюючи конструкції подрібнювачів, потрібно враховувати не лише паспортну продуктивність, а й якість подрібнення. Для свиней важливий компроміс між перетравністю і технологічними властивостями корму. Зменшення середнього розміру частинок підвищує доступність енергії зерна, але після певної межі витрати на подрібнення та проблеми з сипкістю зростають швидше, ніж виробничий ефект. Сучасні рекомендації з переробки кормів для свиней розглядають крупність, форму корму і якість гранул як взаємопов'язані чинники, що впливають на засвоєння поживних речовин і конверсію корму [3, 4].

Для молоткових дробарок найбільш важливими конструктивними параметрами є діаметр ротора, частота його обертання, кількість рядів молотків, маса і форма молотка, спосіб його кріплення, площа решітної поверхні, діаметр отворів решета, форма камери подрібнення, спосіб подачі матеріалу і система відведення готового продукту. Якщо подача нерівномірна, ротор працює то в режимі недовантаження, то в режимі перевантаження, що збільшує витрати електроенергії і погіршує стабільність помелу. Якщо площа

решета недостатня або отвори швидко забиваються, матеріал довше перебуває в камері, пере подрібнюється і нагрівається.

Найпоширенішими причинами зниження ефективності роботи дробарки є зношення молотків, затуплення робочих граней, деформація або засмічення решіт, недостатній магнітний захист, відсутність регульованої подачі, поганий повітряний режим у камері та несвоєчасне очищення. Внаслідок цього знижується продуктивність, зростає частка пилоподібної фракції, збільшується споживання електроенергії, з'являються вібрації і підвищується ризик аварійної зупинки.

Модернізація дробарки для умов відгодівельної свиноферми повинна бути спрямована на підвищення технологічної стабільності. До можливих напрямів належать установлення регульованого живильника, удосконалення форми молотків, збільшення ефективної площі решета, застосування швидкозмінних решіт з різним діаметром отворів, поліпшення аспірації, встановлення магнітного уловлювача перед камерою подрібнення, балансування ротора, захист від перевантаження і зменшення викиду пилу. Найбільш доцільним є такий варіант модернізації, який не ускладнює машину надмірно, але дає змогу отримати рівномірніший помел і знизити питомі витрати енергії.

Для обраної теми базовою доцільно прийняти молоткову дробарку, оскільки вона найбільш поширена у кормоцехах, добре працює з різними зерновими культурами і має значний резерв для конструктивного удосконалення. Вальцовий подрібнювач може забезпечити кращу рівномірність фракції, але його встановлення замість наявної молоткової машини часто потребує повної зміни технологічної схеми. Тому модернізація молоткової дробарки є практичнішим шляхом для господарства, яке прагне покращити процес приготування комбікорму без надмірних капітальних витрат.

Таблиця 1.3 – Основні напрями модернізації молоткової дробарки зерна

Напрямок модернізації	Очікуваний технологічний ефект	Практичне значення для кормоцеху
Регульована подача зерна у камеру подрібнення	Стабілізація завантаження ротора, зменшення перевантажень і холостих режимів.	Рівномірніша продуктивність лінії та нижча питома витрата електроенергії.
Удосконалення молотків і схеми їх розташування	Підвищення інтенсивності ударної дії, повніше використання робочого об'єму камери.	Поліпшення якості помелу без збільшення габаритів машини.
Застосування швидкозмінних решіт	Можливість оперативно змінювати крупність помелу під різні рецептури.	Гнучкість технологічного процесу для різних фаз відгодівлі.
Збільшення ефективної площі решітної поверхні	Швидше виведення готової фракції з камери, менше пере подрібнення.	Зниження пилення, нагрівання продукту і зносу робочих органів.
Поліпшення аспірації та пиловловлення	Відведення дрібної фракції і повітряного потоку, зменшення запилення робочої зони.	Покращення умов праці, безпечності та санітарного стану кормоцеху.
Магнітний захист перед дробаркою	Вилучення металевих домішок до входу в камеру подрібнення.	Зменшення ризику аварій, пошкодження молотків, решіт і корпусу.
Контроль перевантаження електродвигуна	Своєчасне обмеження подачі або зупинка при небезпечному режимі.	Захист двигуна і передавальних механізмів, підвищення надійності роботи.

Проведене порівняння свідчить, що молоткова дробарка має найкраще співвідношення універсальності, вартості та придатності до модернізації. Саме тому у подальших розділах дипломної роботи доцільно розробляти технологічну лінію приготування комбікорму з використанням модернізованої молоткової дробарки, яка забезпечить потрібну крупність

зернової фракції для свиней на відгодівлі, зменшить пилення і підвищить енергоефективність процесу.

1.4 Висновки до розділу

У першому розділі проаналізовано технологічні та конструктивні передумови розробки процесу приготування комбікорму для відгодівельної свиноферми. Встановлено, що для таких умов найбільш доцільною є суха механізована годівля повнораціонним комбікормом, який може готуватися безпосередньо у господарстві з використанням власної зернової сировини. Вона забезпечує достатній рівень механізації, відносно невисоку складність обладнання і можливість оперативної зміни рецептури відповідно до вікової або вагової групи тварин.

Розглянуто основні операції приготування комбікорму: приймання, очищення, магнітний захист, подрібнення, дозування, преміксування, змішування, зберігання і подачу до годівниць. Показано, що подрібнення є однією з найважливіших і найбільш енергомістких операцій, оскільки воно визначає крупність частинок, рівномірність змішування, сипкість готової суміші та втрати корму при роздаванні.

Порівняння конструкцій подрібнювачів зерна показало, що молоткова дробарка є найбільш придатною для внутрішньогосподарського кормоцеху завдяки простоті будови, універсальності та можливості швидкого переналагодження. Її недоліками є підвищене пилення, знос молотків і решіт, нерівномірність фракцій та зростання енергоспоживання при надмірно дрібному помелі. Ці недоліки можуть бути зменшені шляхом конструктивної модернізації.

До основних напрямів удосконалення дробарки віднесено стабілізацію подачі зерна, удосконалення молоткового ротора, застосування швидкозмінних решіт, збільшення ефективної площі просіювання, поліпшення аспірації, встановлення магнітного захисту і контролю перевантаження електродвигуна. Реалізація цих рішень дасть змогу

підвищити якість помелу, зменшити втрати корму, покращити умови праці та підвищити надійність технологічної лінії.

Отже, модернізація дробарки зерна є обґрунтованою складовою розробки технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі. Подальші розрахунки повинні бути спрямовані на визначення потреби у комбікормі, продуктивності кормоцеху, параметрів подрібнення та конструктивних показників модернізованої дробарки.

2 Модернізація технологічного процесу приготування комбікорму

2.1 Обґрунтування важливості питання

На відгодівельній свинофермі процес приготування комбікорму є однією з ключових ланок виробництва, оскільки саме корм визначає інтенсивність росту тварин, витрати на одиницю приросту та стабільність роботи всієї ферми. Для поголів'я 6000 свиней навіть незначне відхилення у дозуванні, якості змішування або крупності помелу швидко переходить у значні втрати корму, зниження середньодобових приростів і збільшення собівартості продукції. У сучасних рекомендаціях із годівлі свиней наголошується, що раціон повинен відповідати фізіологічному стану тварин і забезпечувати контрольоване надходження енергії, амінокислот, мінеральних речовин та вітамінів [1].

Особливістю відгодівельного поголів'я є поступова зміна потреби у поживних речовинах від дорощування до досягнення товарної маси. Тому технологічний процес має забезпечувати можливість приготування декількох рецептур, швидке перемикавання між ними, точне дозування мікрокомпонентів і стабільну роботу подрібнювача. У практиці свинарства свиням на дорощуванні та відгодівлі зазвичай забезпечують вільний доступ до повнораціонного корму, а фактичне споживання залежить від енергетичної цінності раціону, температури, щільності утримання, конструкції годівниць і якості кормової суміші [2].

Одним із найважливіших етапів підготовки зернових компонентів є подрібнення. Занадто крупні частинки погіршують використання поживних речовин, а надмірно дрібний помел підвищує пиловиділення, погіршує сипкість корму і може негативно впливати на стан шлунково-кишкового тракту свиней. Для фінішних раціонів у міжнародній практиці часто орієнтуються на середній розмір частинок зернової частини близько 500...600 мкм, з урахуванням виду зерна і форми корму [3].

Модернізація технологічного процесу доцільна не лише через потребу у підвищенні продуктивності. Вона також спрямована на зменшення ручної

праці, скорочення втрат зерна, підвищення безпеки роботи, стабілізацію гранулометричного складу і покращення контролю якості готового комбікорму. У кормовиробництві послідовність операцій приймання, очищення, подрібнення, дозування, змішування та зберігання має бути організована так, щоб кожна порція корму була однорідною і відповідала заданій рецептурі [5].

У межах даного розділу модернізація розглядається як комплексне вдосконалення процесу: уточнення технологічної схеми, підбір продуктивності обладнання, введення проміжних бункерів, магнітного захисту, аспірації, автоматизованого дозування та застосування модернізованої молоткової дробарки зерна. Такий підхід відповідає вимогам належної виробничої практики, у якій особлива увага приділяється простежуваності сировини, запобіганню забрудненню корму та управлінню ризиками на всіх етапах виробництва [6].

2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги

Вихідною умовою для розрахунку є відгодівельна свиноферма на 6000 голів, на якій одночасно утримується поголів'я від стадії дорощування до реалізації на товарну вагу. Для забезпечення ритмічного виробництва приймається потоковий принцип комплектування груп: частина тварин перебуває на дорощуванні, частина – на першому етапі відгодівлі, решта – на заключному етапі відгодівлі.

Для технологічного розрахунку прийнято сухий тип годівлі повнораціонним розсипним комбікормом власного приготування. Основу раціону становлять зернові компоненти, які проходять очищення, магнітний захист і подрібнення. Білкові, мінеральні та вітамінні добавки вводяться через окрему лінію дозування, що зменшує ризик помилки при змішуванні малих кількостей компонентів.

Значення добового споживання корму в розрахунку прийнято за укрупненими нормами для технологічних груп. Вони використовуються не як

готова рецептура, а як виробничі вихідні дані для визначення продуктивності кормоцеху, місткості бункерів, параметрів дробарки та змішувача.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку технологічного процесу

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Тип ферми	Відгодівельна свиноферма	Вирощування від дорощування до товарної маси
Загальне поголів'я	6000 гол.	Одночасне утримання у різних технологічних групах
Кількість груп для розрахунку	3	Дорощування, перша відгодівля, заключна відгодівля
Тип корму	Повнораціонний розсипний комбікорм	Суша механізована годівля
Частка зернової сировини у комбікормі	0,82	Середнє значення для розрахунку завантаження дробарки
Розрахунковий резерв продуктивності	1,10	Для компенсації нерівномірності споживання та простоїв
Тривалість технологічної роботи лінії	5 год/добу	Час без урахування підготовчих та допоміжних операцій
Коефіцієнт використання часу	0,80	Враховує очищення, переналагодження та короткі зупинки

Зоотехнічні вимоги до процесу приготування комбікорму повинні забезпечувати не лише кількість корму, а й сталість його якості. Для свиней на відгодівлі особливо важливими є рівномірний гранулометричний склад зернової частини, відсутність металомагнітних домішок, рівномірний

розподіл преміксів і мінеральних речовин, а також недопущення перегрівання продукту під час подрібнення.

Таблиця 2.2 – Основні зоотехнічні та технологічні вимоги до готового комбікорму

Показник	Рекомендоване значення	Технологічне забезпечення
Середній розмір частинок зернової частини	0,55...0,70 мм	Підбір решета, частоти обертання ротора і подачі зерна
Однорідність змішування	Коефіцієнт варіації не більше 10 %	Регламентований час змішування і справний змішувач
Точність дозування основних компонентів	$\pm 1...3$ %	Вагове дозування, калібрування датчиків
Точність дозування мікродобавок	$\pm 0,5...1,0$ %	Окремий мікродозатор і попереднє змішування
Вміст металомагнітних домішок	Не допускається	Магнітний сепаратор перед дробаркою
Вологість зерна перед подрібненням	Не більше 14 %	Контроль при прийманні та зберіганні
Пиловиділення у робочій зоні	Мінімальне, у межах санітарних норм	Герметизація, аспірація, циклон
Перегрівання корму під час подрібнення	Не допускається	Стабільна подача, справні молотки, контроль навантаження

Прийняті вимоги визначають подальшу побудову технологічної схеми. Найбільше навантаження припадає на ділянку очищення та подрібнення зерна,

тому саме дробарка має бути узгоджена з продуктивністю змішувача, бункерів, транспортерів і системи керування.

2.3 Розробка технологічної схеми процесу

За основу приймається схема компонування кормоприготувального відділення, що включає молоткову дробарку, сепаратор, основний змішувач, відвантажувальний шнековий транспортер, вагове обладнання, лопатевий змішувач для попереднього змішування, циклон та пульт керування. Схему перероблено у горизонтальному вигляді, що дає змогу наочно показати розміщення зернових складових, добавок і преміксів та рух матеріалу між основними машинами лінії.

Технологічний процес починається з подачі зернової сировини зі складу до приймального бункера. Далі зерно норією передається на зерноочисник, де вилучаються легкі та крупні домішки. Після цього матеріал проходить магнітний сепаратор, який захищає робочі органи дробарки від металевих предметів. Очищене зерно надходить у модернізовану молоткову дробарку, де подрібнюється до заданої крупності.

Після подрібнення зернова частина накопичується у проміжному бункері, а потім через ваговий дозатор подається в основний змішувач. Білкові, мінеральні та вітамінні компоненти зберігаються окремо, дозуються мікродозатором і попередньо змішуються. Завдяки попередньому змішуванню зменшується ризик локальної передозировки преміксу у готовому кормі.

Готовий комбікорм після основного змішування надходить у бункер готової продукції, звідки завантажується у кормороздавач або подається до бункерних годівниць. Робота дробарки, дозаторів, змішувача, транспортерів та аспіраційної системи контролюється з пульта керування. Це дає змогу стабілізувати навантаження на електродвигун дробарки, зменшити пиловиділення і підтримувати однакову якість корму протягом усього робочого циклу.

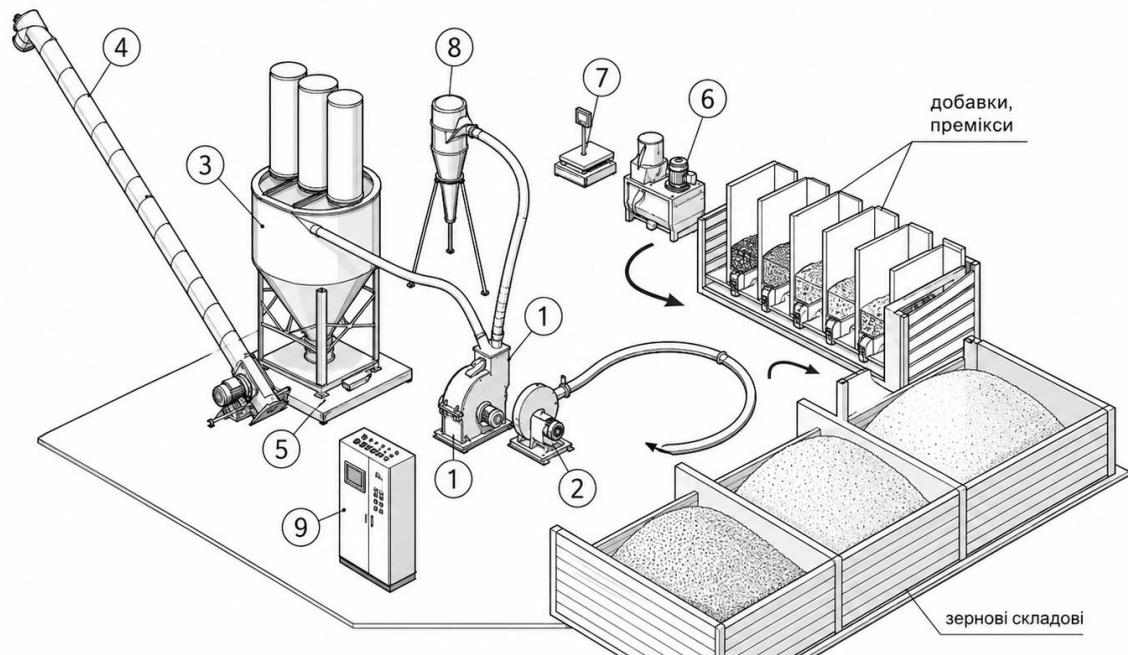


Рисунок 2.1 – Схема компонування кормоприготувального відділення свиноферми

Позначення на рисунку 2.1: 1 – дробарка молоткова; 2 – сепаратор; 3 – основний змішувач; 4 – відвантажувальний шнековий транспортер; 5 – електронні або механічні ваги; 6 – лопатевий змішувач для попереднього змішування; 7 – електронні або механічні ваги; 8 – циклон; 9 – пульт керування.

Таблиця 2.3 – Призначення основних елементів модернізованої технологічної лінії

Елемент лінії	Основне призначення	Очікуваний результат модернізації
Приймальний бункер і норія	Приймання та підйом зернової сировини	Скорочення ручної праці, рівномірна подача
Зерноочисник	Відділення мінеральних, рослинних і легких домішок	Зменшення зношування дробарки і підвищення якості корму

Магнітний сепаратор	Вилучення металомангнітних домішок	Захист ротора, молотків і решета
Модернізована молоткова дробарка	Подрібнення зерна до заданого гранулометричного складу	Стабілізація помелу, зменшення енерговитрат і пиловиділення
Вагові дозатори	Дозування зернової частини та добавок	Дотримання рецептури та зменшення похибок
Попередній змішувач	Рівномірний розподіл малих доз преміксів	Підвищення однорідності готового корму
Основний змішувач	Отримання повнораціонної кормової суміші	Стабільна якість кожної порції корму
Аспірація та циклон	Відведення пилоповітряної суміші	Поліпшення умов праці та зниження втрат сировини
Пульт керування	Керування приводами та контроль навантаження	Узгодження роботи машин і зменшення аварійних зупинок

Таким чином, запропонована технологічна схема створює безперервний і контрольований рух матеріалу. Найбільш відповідальною машиною лінії залишається дробарка, оскільки її продуктивність і якість помелу визначають роботу змішувача, рівномірність комбікорму та фактичну ефективність годівлі свиней.

2.4 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу

Розрахунок виконується для визначення добової потреби ферми у комбікормі, необхідної продуктивності технологічної лінії, продуктивності дробарки, місткості змішувача, об'єму бункерів і орієнтовної потужності електродвигуна дробарки. Для розрахунку прийнято, що поголів'я рівномірно розподілене між трьома технологічними групами.

Таблиця 2.4 – Розрахунковий розподіл поголів'я та добова норма видачі комбікорму

Технологічна група	Кількість свиней, гол.	Добова норма, кг/гол.	Добова потреба, кг
Дорощування	2000	1,6	3200
Перша відгодівля	2000	2,5	5000
Заключна відгодівля	2000	3,2	6400
Разом	6000	—	14600

Добову потребу ферми у комбікормі визначають як суму потреби всіх технологічних груп:

$$M_{\text{доб}} = \sum_{i=1}^m n_i q_i \quad (2.1)$$

де

$M_{\text{доб}}$ – добова потреба ферми у комбікормі, кг/добу;

n_i – кількість свиней в i -й технологічній групі, гол.;

q_i – добова норма видачі комбікорму одній свині i -ї групи, кг/гол.;

m – кількість технологічних груп.

$$M_{\text{доб}} = 2000 \cdot 1,6 + 2000 \cdot 2,5 + 2000 \cdot 3,2 = 14600 \text{ кг/добу} = 14,6 \text{ т/добу}$$

Отже, фактична розрахункова добова потреба свиноферми у повнораціонному комбікормі становить 14,6 т.

Річну потребу у комбікормі визначають за добовою потребою та кількістю днів роботи ферми протягом року:

$$M_p = \frac{M_{\text{доб}} D}{1000} \quad (2.2)$$

де

M_p – річна потреба у комбікормі, т/рік;

$M_{\text{доб}}$ – добова потреба у комбікормі, кг/добу;

D – кількість днів годівлі протягом року, діб.

$$M_p = \frac{14600 \cdot 365}{1000} = 5329 \text{ т/рік}$$

Отримане значення використовується для оцінки завантаження кормоцеху і планування обсягів закупівлі або зберігання сировини.

Для вибору обладнання добову потребу збільшують на коефіцієнт резерву, який враховує нерівномірність споживання, зміну рецептури та можливі короточасні простої:

$$M_{\text{роз}} = M_{\text{доб}} k_{\text{рез}} \quad (2.3)$$

де

$M_{\text{роз}}$ – розрахункова добова продуктивність кормоцеху з резервом, т/добу;

$M_{\text{доб}}$ – фактична добова потреба у комбікормі, т/добу;

$k_{\text{рез}}$ – коефіцієнт резерву продуктивності.

$$M_{\text{роз}} = 14,6 \cdot 1,10 = 16,06 \approx 16,1 \text{ т/добу}$$

Необхідну продуктивність технологічної лінії визначають за розрахунковою добовою потребою, тривалістю роботи та коефіцієнтом використання часу:

$$Q_{\text{л}} = \frac{M_{\text{роз}}}{T_{\text{л}} k_{\text{ч}}} \quad (2.4)$$

де

$Q_{\text{л}}$ – необхідна продуктивність лінії, т/год;

$M_{\text{роз}}$ – розрахункова добова потреба з резервом, т/добу;

$T_{\text{л}}$ – тривалість технологічної роботи лінії протягом доби, год;

$k_{\text{ч}}$ – коефіцієнт використання робочого часу.

$$Q_{\text{л}} = \frac{16,1}{5 \cdot 0,80} = 4,03 \text{ т/год}$$

Для подальшого підбору обладнання приймають продуктивність технологічної лінії 4,0 т/год.

Продуктивність дробарки визначають за часткою зернової сировини у складі комбікорму та додатковим резервом на нерівномірність подачі зерна:

$$Q_{\text{др}} = Q_{\text{л}} \gamma_{\text{з}} k_{\text{н}} \quad (2.5)$$

де

$Q_{др}$ – потрібна продуктивність дробарки, т/год;

$Q_{л}$ – продуктивність технологічної лінії, т/год;

γ_z – частка зернової сировини у складі комбікорму;

k_n – коефіцієнт нерівномірності надходження зерна.

$$Q_{др} = 4,03 \cdot 0,82 \cdot 1,15 = 3,80 \text{ т/год}$$

За результатом розрахунку приймають модернізовану молоткову дробарку з продуктивністю не менше 4,0 т/год.

Масу однієї порції змішування визначають за продуктивністю лінії та тривалістю повного циклу змішування:

$$m_{п} = Q_{л} t_{ц} \quad (2.6)$$

де

$m_{п}$ – маса однієї порції змішування, т;

$Q_{л}$ – продуктивність технологічної лінії, т/год;

$t_{ц}$ – тривалість повного циклу завантаження, змішування та вивантаження, год.

$$m_{п} = 4,03 \cdot 0,25 = 1,01 \text{ т}$$

Для технологічної лінії приймають змішувач із масою порції 1,0 т. За циклу 15 хв така місткість забезпечує добову потребу ферми з необхідним резервом часу.

Робочий об'єм змішувача визначають за масою порції, насипною густиною комбікорму та коефіцієнтом заповнення робочої камери:

$$V_{зм} = \frac{m_{п}}{\rho_k \varphi} \quad (2.7)$$

де

$V_{зм}$ – робочий об'єм змішувача, м³;

$m_{п}$ – маса порції змішування, т;

ρ_k – насипна густина комбікорму, т/м³;

φ – коефіцієнт заповнення змішувача.

$$V_{зм} = \frac{1,01}{0,55 \cdot 0,75} = 2,45 \text{ м}^3$$

Отже, доцільно застосувати горизонтальний змішувач із робочим об'ємом 2,5...3,0 м³.

Об'єм бункера готового комбікорму визначають за розрахунковою добовою потребою, насипною густиною корму і коефіцієнтом використання місткості бункера:

$$V_6 = \frac{M_{\text{роз}} t_{\text{зап}}}{\rho_k \varphi_6} \quad (2.8)$$

де

V_6 – потрібний об'єм бункера готового комбікорму, м³;

$M_{\text{роз}}$ – розрахункова добова потреба з резервом, т/добу;

$t_{\text{зап}}$ – запас готового корму, дів;

ρ_k – насипна густина комбікорму, т/м³;

φ_6 – коефіцієнт використання місткості бункера.

$$V_6 = \frac{16,1 \cdot 1,0}{0,55 \cdot 0,85} = 34,4 \text{ м}^3$$

Для зберігання готового комбікорму приймають сумарну місткість не менше 36 м³, наприклад три бункери по 12 м³. Такий запас забезпечує добову автономність ферми без надмірного тривалого зберігання подрібненого корму.

Продуктивність транспортерів і шнеків приймають більшою за продуктивність основної лінії, щоб запобігти утворенню заторів між операціями:

$$Q_T = Q_L k_T \quad (2.9)$$

де

Q_T – потрібна продуктивність транспортуючого обладнання, т/год;

Q_L – продуктивність технологічної лінії, т/год;

k_T – коефіцієнт запасу продуктивності транспортера.

$$Q_T = 4,03 \cdot 1,15 = 4,63 \text{ т/год}$$

Приймають норії та шнекові транспортери з продуктивністю не менше 5 т/год.

Орієнтовну встановлену потужність електродвигуна дробарки визначають за продуктивністю, питомими витратами енергії на подрібнення та коефіцієнтом корисної дії приводу:

$$N_{\text{др}} = \frac{Q_{\text{др}} e_{\text{др}}}{\eta} \quad (2.10)$$

де

$N_{\text{др}}$ – орієнтовна потужність електродвигуна дробарки, кВт;

$Q_{\text{др}}$ – продуктивність дробарки, т/год;

$e_{\text{др}}$ – питомі витрати енергії на подрібнення, кВт·год/т;

η – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$N_{\text{др}} = \frac{3,80 \cdot 6,5}{0,88} = 28,1 \text{ кВт}$$

З урахуванням пускових навантажень і зміни властивостей зерна приймають електродвигун дробарки потужністю 30 кВт.

Кількість порцій змішування протягом доби визначають за розрахунковою добовою потребою та масою однієї порції:

$$z_{\text{п}} = \frac{M_{\text{роз}}}{m_{\text{п}}} \quad (2.11)$$

де

$z_{\text{п}}$ – кількість порцій змішування за добу;

$M_{\text{роз}}$ – розрахункова добова потреба з резервом, т/добу;

$m_{\text{п}}$ – маса однієї порції змішування, т.

$$z_{\text{п}} = \frac{16,1}{1,0} = 16,1 \approx 17 \text{ порцій}$$

Тривалість добової роботи змішувальної дільниці визначають за кількістю порцій і тривалістю одного циклу:

$$T_{\text{доб}} = z_{\text{п}} t_{\text{ц}} \quad (2.12)$$

де

$T_{\text{доб}}$ – тривалість роботи змішувальної дільниці за добу, год;

$z_{\text{п}}$ – кількість порцій змішування за добу;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість одного циклу змішування, год.

$$T_{\text{доб}} = 17 \cdot 0,25 = 4,25 \text{ год}$$

Отримана тривалість роботи не перевищує прийнятого технологічного фонду часу 5 год/добу. Це підтверджує достатність прийнятої продуктивності лінії та можливість виконання добової програми приготування комбікорму.

Таблиця 2.5 – Підсумкові технічні та технологічні параметри модернізованого процесу

Показник	Розрахункове значення	Прийняте значення
Фактична добова потреба у комбікормі	14,6 т/добу	14,6 т/добу
Добова потреба з резервом	16,1 т/добу	16,1 т/добу
Продуктивність технологічної лінії	4,03 т/год	4,0 т/год
Продуктивність дробарки	3,80 т/год	не менше 4,0 т/год
Маса порції змішування	1,01 т	1,0 т
Робочий об'єм змішувача	2,45 м³	2,5...3,0 м³
Сумарний об'єм бункерів готового корму	34,4 м³	36 м³
Продуктивність транспортуючого обладнання	4,63 т/год	не менше 5,0 т/год
Орієнтовна потужність електродвигуна дробарки	28,1 кВт	30 кВт
Кількість порцій змішування за добу	16,1	17 порцій
Тривалість роботи змішувальної ділянки	4,25 год	до 5 год/добу

За результатами розрахунку основним обладнанням лінії слід прийняти модернізовану молоткову дробарку продуктивністю не менше 4 т/год, горизонтальний змішувач на 1 т готової суміші, систему бункерів готового комбікорму сумарною місткістю 36 м³ та транспортує обладнання

продуктивністю не менше 5 т/год. Таке поєднання машин забезпечує виробництво добової кількості комбікорму для поголів'я 6000 свиней із технологічним резервом.

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі обґрунтовано необхідність модернізації технологічного процесу приготування комбікорму для відгодівельної свиноферми на 6000 голів. Основними передумовами модернізації є потреба у стабільній якості корму, точному дозуванні компонентів, зменшенні ручної праці та підвищенні продуктивності кормоцеху.

Розроблено горизонтальну технологічну схему процесу, яка включає приймання зерна, очищення, магнітний захист, подрібнення у модернізованій молотковій дробарці, дозування, попереднє змішування добавок, основне змішування, аспірацію та накопичення готового комбікорму.

Встановлено, що фактична добова потреба ферми у комбікормі становить 14,6 т/добу, а з урахуванням резерву – 16,1 т/добу. Необхідна продуктивність технологічної лінії становить 4,03 т/год, тому для проєктування прийнято лінію продуктивністю 4,0 т/год.

Для зернової частини комбікорму розрахована продуктивність дробарки становить 3,80 т/год. З урахуванням нерівномірності подачі та пускових навантажень прийнято модернізовану молоткову дробарку продуктивністю не менше 4 т/год з електродвигуном потужністю 30 кВт.

Прийняті параметри змішувача, бункерів і транспортуючого обладнання забезпечують приготування добової кількості комбікорму за 4,25 год, що не перевищує встановленого технологічного фонду часу. Отже, запропонований технологічний процес є працездатним і може бути використаний як основа для подальшої модернізації дробарки зерна.

3 Удосконалення молоткового подрібнювача зерна

3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення

Молоткові подрібнювачі належать до найпоширеніших машин кормоцехів, оскільки вони забезпечують інтенсивне руйнування зернівки, мають відносно просту будову і можуть працювати з пшеницею, ячменем, кукурудзою та іншими зерновими компонентами комбікорму. Для відгодівельної свиноферми на 6000 голів така машина є ключовою ланкою технологічного процесу, оскільки саме якість подрібнення значною мірою визначає однорідність кормосуміші, засвоюваність поживних речовин і стабільність роботи змішувального обладнання [7].

У базових конструкціях дробарок основне навантаження припадає на ротор, шарнірно закріплені молотки, деку та решето. Під час експлуатації ці елементи працюють в умовах ударного контакту з зерном, абразивного зношування, пилового середовища і динамічних навантажень. Зношення робочих граней молотків, нерівномірне завантаження ротора та збільшення зазору між молотками і декою знижують інтенсивність руйнування зерна. У результаті зростає частка недоподрібнених частинок, підвищується питома витрата електроенергії, збільшується запиленість і погіршується стабільність гранулометричного складу готового продукту [8].

Для свиней на відгодівлі надмірно крупний помел зменшує доступність поживних речовин, а занадто дрібний підвищує пилоутворення, погіршує сипкість комбікорму і може негативно впливати на стан шлунково-кишкового тракту тварин [1]. Тому модернізація дробарки повинна бути спрямована не лише на підвищення продуктивності, а й на стабілізацію крупності помелу. Найбільш доцільним є удосконалення трьох взаємопов'язаних вузлів: ротора, молотків і деки, тому що саме вони формують траєкторію руху зерна в камері подрібнення та визначають кількість ударних і стиральних взаємодій.

Базова молоткова дробарка, прийнята для аналізу, наведена на рисунку 3.1. Вона складається з корпусу, завантажувального пристрою, дробильної камери, ротора з молотками, решета, деки, приводу та вивантажувального

патрубка. Конструкція є працездатною, проте для роботи у складі кормоприготувального відділення великої відгодівельної свиноферми потребує підвищення технологічної надійності, зручності регулювання та зносостійкості робочих органів.

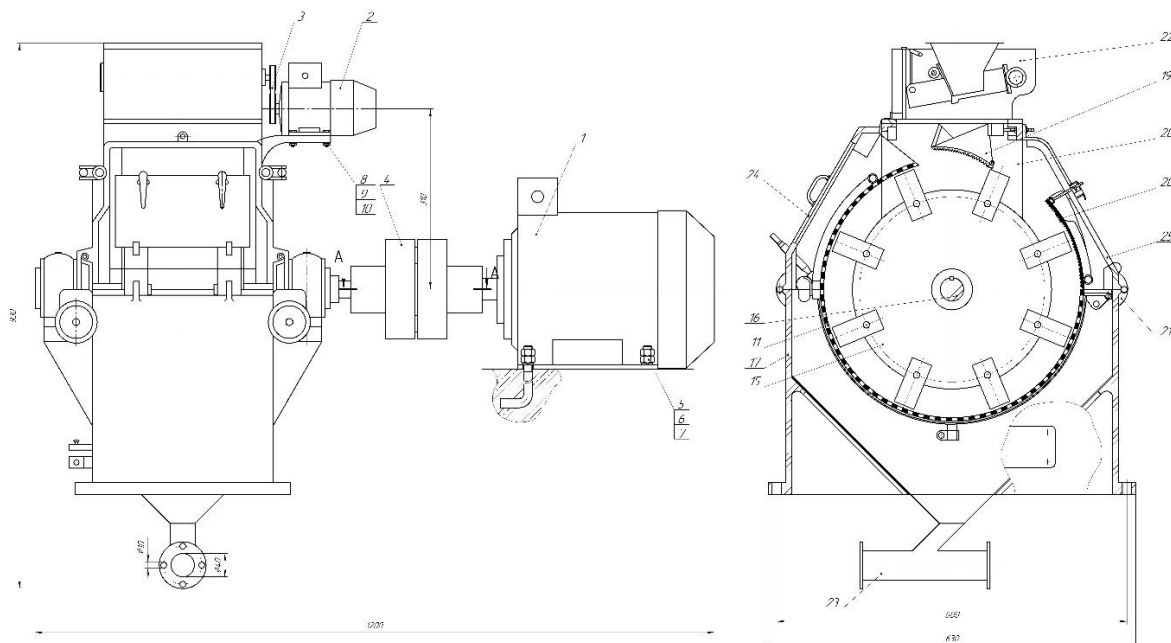


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд та конструктивна схема базового молоткового подрібнювача зерна

Отже, необхідність удосконалення подрібнювача обумовлена потребою забезпечити стабільну продуктивність, зменшити енергоємність процесу, скоротити частку пилоподібної фракції та підвищити ресурс деталей, що безпосередньо контактують із зерном. Удосконалення доцільно виконувати без принципової зміни технологічної схеми кормоцеху, тобто шляхом модернізації робочих органів існуючої молоткової дробарки.

3.2 Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку прийняті з урахуванням структури відгодівельної свиноферми на 6000 голів, технологічної схеми приготування комбікорму та зоотехнічних вимог до кормів для свиней на дорощуванні й відгодівлі. Розрахунок виконується для сухого розсипного комбікорму, що готується безпосередньо у кормоприготувальному відділенні ферми.

Основними зерновими складовими є ячмінь, пшениця та кукурудза; білковими і мінеральними добавками є шрот, макуха, премікс і мінеральна група [7].

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку подрібнювача

Показник	Позначення	Одиниця	Прийняте значення
Поголів'я свиней на відгодівлі	N	голів	6000
Середньодобова витрата комбікорму на одну голову	$q_{\text{сер}}$	кг/гол·добу	2,40
Коефіцієнт запасу та технологічних втрат	k_z	—	1,03
Тривалість роботи кормоцеху за добу	$T_{\text{зм}}$	год	6,0
Коефіцієнт використання змінного часу	$k_{\text{ч}}$	—	0,85
Вологість зернової сировини	W	%	12...14
Середня насипна густина зернової суміші	ρ_n	кг/м ³	700
Розрахункова продуктивність дробарки	$Q_{\text{др}}$	т/год	3,6

Під час підготовки зернових компонентів потрібно забезпечити таку крупність помелу, щоб корм був достатньо сипким, не розшаровувався у змішувачі та мав прийнятну засвоюваність. Для свиней на відгодівлі доцільним є середній помел із переважанням частинок у межах 0,8–1,4 мм. Наявність надмірної кількості пилу небажана, тому при модернізації деки і молотків передбачається не максимальне подрібнення, а стабілізація фракційного складу.

Таблиця 3.2 – Зоотехнічні та технологічні вимоги до подрібненого зерна

Вимога	Раціональне значення або характеристика
Форма готового корму	сухий розсипний комбікорм
Основна фракція подрібненого зерна	0,8...1,4 мм
Допустима частка крупної фракції понад 2 мм	не більше 10...12 %
Допустима частка пилоподібної фракції менше 0,25 мм	не більше 12...15 %
Вологість зерна перед подрібненням	12...14 %
Стабільність подачі матеріалу	без зависання і різких перевантажень
Рівномірність завантаження дробильної камери	по ширині ротора
Можливість оперативного регулювання крупності	заміна решіт і регулювання зазору деки

Для розрахунку модернізованого робочого органа прийнято ротор середнього діаметра з шарнірно закріпленими молотками. Така схема зберігає простоту базової машини, але дозволяє підвищити рівномірність ударного впливу за рахунок раціонального розміщення молотків і застосування змінної рифленої деки.

Таблиця 3.3 – Вихідні параметри базової та модернізованої дробарки

Параметр	Позначення	Одиниця	Значення
Діаметр ротора по осях підвісу молотків	D_p	м	0,56
Ширина ротора	B_p	м	0,36
Частота обертання ротора	n_p	хв^{-1}	3000
Кількість рядів молотків	z_p	шт.	8
Кількість молотків у одному ряду	z_{mp}	шт.	6
Загальна кількість молотків	z_m	шт.	48
Діаметр отворів решета	d_c	мм	4
Крок отворів решета	t_c	мм	7
Розрахунковий зазор між молотками і декою	δ_d	мм	10...12
Питома витрата енергії після модернізації	e_n	кВт·год/т	7,2

3.3 Розробка варіанту удосконалення

Запропонований варіант удосконалення передбачає модернізацію ротора, молотків і деки без зміни загальної компоновки машини. Це дозволяє використати наявний корпус, привід, завантажувальний і вивантажувальний пристрої, але підвищити якість подрібнення та зменшити експлуатаційні витрати.

Удосконалення ротора полягає у застосуванні секційної конструкції з дисками, між якими встановлюються дистанційні втулки та пакети молотків. Молотки розміщуються у шаховому порядку по ширині ротора, завдяки чому зерновий потік багаторазово перетинає зони удару, а навантаження на вал розподіляється рівномірніше. Для зменшення вібрацій після складання передбачається статичне і динамічне балансування ротора. Такий підхід підвищує плавність роботи і зменшує навантаження на підшипникові вузли [9].

Молотки пропонується виконати реверсивними, із двома робочими кінцями і двома отворами для перестановки. Робочі грані виконуються ступінчастими або з легкою рифленою поверхнею. При зношуванні одного кінця молоток перевертають, а після зношування зовнішньої зони переставляють на інший отвір. Це збільшує фактичний ресурс деталі без ускладнення обслуговування. Для підвищення зносостійкості робочі кромки доцільно зміцнювати наплавленням або термічною обробкою.

Деку пропонується виконати змінною рифленою сегментною. Її робоча поверхня має три зони: зону первинного захоплення матеріалу, зону інтенсивного ударно-стирального впливу і зону калібрування перед решетом. Дека кріпиться до корпусу болтовими з'єднаннями через регулювальні планки, що дає змогу встановлювати зазор між кінцями молотків і робочою поверхнею у межах 10–12 мм. У разі переходу на іншу культуру або іншу крупність помелу зазор можна змінити без демонтажу ротора.

Удосконалена конструкція зберігає принцип ударного подрібнення, але змінює характер руху частинок у дробильній камері. Зерно не просто

багаторазово відбивається від гладкої стінки корпусу, а потрапляє на рифлену поверхню деки, де додатково руйнується за рахунок зсуву і стирання. Це дозволяє зменшити кількість недоподрібнених частинок при меншій питомій витраті енергії.

Таблиця 3.4 – Сутність запропонованого удосконалення дробарки

Вузол	Недолік базової конструкції	Запропоноване рішення	Очікуваний результат
Ротор	можливе нерівномірне завантаження по ширині, підвищені вібрації при зношуванні молотків	секційний ротор із шаховим розміщенням молотків і балансуванням після складання	стабілізація навантаження, зменшення вібрацій, підвищення ресурсу підшипників
Молотки	швидке зношування робочих граней, зниження ударної дії	реверсивні молотки зі зміцненими ступінчастими робочими кромками	збільшення ресурсу, збереження інтенсивності подрібнення
Дека	гладка або малоефективна поверхня, складність регулювання зазору	змінна рифлена сегментна дека з регулюванням зазору 10–12 мм	підвищення рівномірності помелу, зменшення частки крупної фракції
Решето	швидке забивання при нерівномірному потоці	решето з отворами 4 мм і підвищеною відкритою площею	стабільне проходження подрібненого продукту

Перевагою запропонованої модернізації є те, що вона не потребує повної заміни дробарки. У виробничих умовах достатньо виготовити новий пакет ротора, комплект реверсивних молотків, змінну деку та решета. Такий підхід

зменшує вартість удосконалення і дає змогу виконувати ремонтні операції у період планового технічного обслуговування кормоцеху.

Очікуваний технічний ефект полягає у підвищенні стабільності продуктивності дробарки до 3,6 т/год, зменшенні питомої витрати електроенергії на 12–16 %, скороченні частки крупної фракції та зниженні нерівномірного зношування молотків. Це важливо для ферми з великим поголів'ям, де навіть короточасне зниження продуктивності кормоцеху може порушити графік приготування і роздавання комбікорму.

3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів

Розрахунок виконується для перевірки працездатності запропонованого варіанту модернізації. Основним критерієм є забезпечення продуктивності, достатньої для добової потреби ферми у комбікормі, при допустимій швидкості молотків, прийнятній енергоємності та конструкційній міцності елементів ротора. Методика розрахунку базується на загальних положеннях теорії подрібнення зернових матеріалів і проектування машин для кормовиробництва [7], [9].

Добову потребу ферми у комбікормі визначають за формулою

$$G_d = N \cdot q_{\text{сер}} \cdot k_z \quad (3.1)$$

де

G_d – добова потреба у комбікормі, кг/добу;

N – поголів'я свиней на відгодівлі, голів;

$q_{\text{сер}}$ – середньодобова витрата комбікорму на одну голову, кг/гол·добу;

k_z – коефіцієнт запасу, що враховує технологічні втрати та нерівномірність споживання.

$$G_d = 6000 \cdot 2,40 \cdot 1,03 = 14832 \text{ кг/добу} = 14,83 \text{ т/добу}$$

Отже, добова потреба ферми у готовому комбікормі становить 14,83 т. Це значення приймається як основа для визначення продуктивності технологічної лінії та дробарки.

Розрахункову годинну продуктивність кормоприготувальної лінії визначають за формулою

$$Q_{\text{л}} = \frac{G_{\text{д}} \cdot k_{\text{н}}}{T_{\text{зм}} \cdot k_{\text{ч}}} \quad (3.2)$$

де

$Q_{\text{л}}$ – розрахункова продуктивність кормоприготувальної лінії, т/год;

$G_{\text{д}}$ – добова потреба ферми у комбікормі, т/добу;

$k_{\text{н}}$ – коефіцієнт нерівномірності надходження та обробки сировини;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість роботи кормоцеху за добу, год;

$k_{\text{ч}}$ – коефіцієнт використання робочого часу зміни.

$$Q_{\text{л}} = \frac{14,83 \cdot 1,10}{6 \cdot 0,85} = 3,20 \text{ т/год}$$

Отримане значення показує, що всі основні машини лінії повинні забезпечувати продуктивність не менше 3,20 т/год. Для дробарки додатково вводиться резерв, оскільки її робота залежить від вологості зерна, стану молотків і решета.

Необхідну продуктивність модернізованої дробарки визначають за формулою

$$Q_{\text{др}} = k_{\text{р}} \cdot Q_{\text{л}} \quad (3.3)$$

де

$Q_{\text{др}}$ – необхідна продуктивність дробарки, т/год;

$k_{\text{р}}$ – коефіцієнт резерву продуктивності дробарки;

$Q_{\text{л}}$ – розрахункова продуктивність кормоприготувальної лінії, т/год.

$$Q_{\text{др}} = 1,12 \cdot 3,20 = 3,58 \text{ т/год}$$

До подальших розрахунків приймаємо продуктивність модернізованої дробарки 3,6 т/год.

Масову подачу зерна у дробильну камеру визначають за формулою

$$q = \frac{Q_{\text{др}} \cdot 1000}{3600} \quad (3.4)$$

де

q – масова подача зерна у дробильну камеру, кг/с;

$Q_{\text{др}}$ – продуктивність дробарки, т/год;

1000 – коефіцієнт переходу від тонн до кілограмів;

3600 – коефіцієнт переходу від годин до секунд.

$$q = \frac{3,6 \cdot 1000}{3600} = 1,0 \text{ кг/с}$$

Масова подача 1,0 кг/с є прийнятною для дробарки середньої продуктивності та не потребує надмірного збільшення габаритів ротора.

Окружну швидкість кінців молотків визначають за формулою

$$v_m = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n_p}{60} \quad (3.5)$$

де

v_m – окружна швидкість кінців молотків, м/с;

D_p – діаметр ротора по траєкторії руху кінців молотків, м;

n_p – частота обертання ротора, хв⁻¹;

π – математична стала.

$$v_m = \frac{3,14 \cdot 0,56 \cdot 3000}{60} = 87,9 \text{ м/с}$$

Отримана швидкість знаходиться у рекомендованому діапазоні для подрібнення зернових матеріалів у молоткових дробарках. Вона достатня для інтенсивного ударного руйнування, але не є надмірною для умов сухого кормовиробництва.

Кутову швидкість ротора визначають за формулою

$$\omega_p = \frac{2\pi \cdot n_p}{60} \quad (3.6)$$

де

ω_p – кутова швидкість ротора, рад/с;

n_p – частота обертання ротора, хв⁻¹.

$$\omega_p = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ рад/с}$$

Загальну кількість молотків на роторі визначають за формулою

$$Z_m = Z_p \cdot Z_{mp} \quad (3.7)$$

де

Z_m – загальна кількість молотків на роторі, шт.;

Z_p – кількість рядів молотків по колу ротора, шт.;

$z_{\text{мр}}$ – кількість молотків у одному ряду по ширині ротора, шт.

$$z_{\text{м}} = 8 \cdot 6 = 48 \text{ шт.}$$

Кількість молотків 48 шт. забезпечує достатню частоту ударних взаємодій і дозволяє розмістити молотки у шаховому порядку по ширині ротора.

Частоту проходження молотків через робочу зону визначають за формулою

$$i_y = \frac{z_{\text{м}} \cdot n_p}{60} \quad (3.8)$$

де

i_y – частота проходження молотків через робочу зону, с^{-1} ;

$z_{\text{м}}$ – загальна кількість молотків, шт.;

n_p – частота обертання ротора, хв^{-1} .

$$i_y = \frac{48 \cdot 3000}{60} = 2400 \text{ с}^{-1}$$

Висока частота проходження молотків забезпечує багаторазову дію на зернові частинки, що особливо важливо при підвищеній подачі матеріалу.

Масу одного молотка наближено визначають за формулою

$$m_{\text{м}} = \rho_{\text{ст}} \cdot l_{\text{м}} \cdot b_{\text{м}} \cdot \delta_{\text{м}} \cdot k_o \quad (3.9)$$

де

$m_{\text{м}}$ – маса одного молотка, кг;

$\rho_{\text{ст}}$ – густина сталі, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$l_{\text{м}}$ – довжина молотка, м;

$b_{\text{м}}$ – ширина молотка, м;

$\delta_{\text{м}}$ – товщина молотка, м;

k_o – коефіцієнт, що враховує отвори та заокруглення молотка.

$$m_{\text{м}} = 7850 \cdot 0,12 \cdot 0,04 \cdot 0,006 \cdot 0,88 = 0,199 \text{ кг}$$

До конструкції приймаємо молоток масою 0,20 кг. Для зменшення дисбалансу молотки комплектують у групи з відхиленням маси не більше 2–3 г.

Кінетичну енергію одного молотка у робочій зоні визначають за формулою

$$E_m = \frac{m_m \cdot v_m^2}{2} \quad (3.10)$$

де

E_m – кінетична енергія одного молотка, Дж;

m_m – маса одного молотка, кг;

v_m – окружна швидкість кінця молотка, м/с.

$$E_m = \frac{0,20 \cdot 87,9^2}{2} = 772,6 \text{ Дж}$$

Отримане значення підтверджує достатню інтенсивність ударної дії молотка на зернову частинку. Водночас застосування рифленої деки дає змогу частину роботи руйнування виконувати за рахунок зсуву і стирання, що зменшує потребу у надмірному збільшенні швидкості ротора.

Потужність, потрібну для приводу дробарки, визначають за формулою

$$P_{дв} = \frac{Q_{др} \cdot e_p}{\eta_p} \quad (3.11)$$

де

$P_{дв}$ – потрібна потужність електродвигуна, кВт;

$Q_{др}$ – продуктивність дробарки, т/год;

e_p – питома витрата електроенергії на подрібнення, кВт·год/т;

η_p – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$P_{дв} = \frac{3,6 \cdot 7,2}{0,90} = 28,8 \text{ кВт}$$

За стандартним рядом приймаємо електродвигун потужністю 30 кВт. Такий вибір забезпечує необхідний резерв для короточасних перевантажень під час подавання зерна неоднорідної вологості.

Крутний момент на валу ротора визначають за формулою

$$M_p = \frac{9550 \cdot P_{дв}}{n_p} \quad (3.12)$$

де

M_p – крутний момент на валу ротора, Н·м;

$P_{дв}$ – потужність електродвигуна, кВт;

n_p – частота обертання ротора, хв⁻¹.

$$M_p = \frac{9550 \cdot 30}{3000} = 95,5 \text{ Н·м}$$

З урахуванням нерівномірності навантаження, пускових режимів і ударного характеру роботи для подальших перевірок приймаємо розрахунковий момент із коефіцієнтом запасу 1,6.

$$M_{роз} = 1,6 \cdot 95,5 = 152,8 \text{ Н·м}$$

Мінімальний діаметр вала за умовою міцності на кручення визначають за формулою

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{роз} \cdot 10^3}{\pi \cdot [\tau]}} \quad (3.13)$$

де

d_v – розрахунковий діаметр вала, мм;

$M_{роз}$ – розрахунковий крутний момент, Н·м;

$[\tau]$ – допустиме напруження кручення для матеріалу вала, МПа.

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 152,8 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 35}} = 28,1 \text{ мм}$$

З урахуванням шпонкових пазів, посадок під диски і підшипники приймаємо конструктивний діаметр вала 35 мм. Це забезпечує запас міцності і підвищує жорсткість ротора.

Коефіцієнт відкритої площі решета для квадратної схеми розміщення отворів визначають за формулою

$$\varphi_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4 \cdot t_c^2} \quad (3.14)$$

де

φ_c – коефіцієнт відкритої площі решета;

d_c – діаметр отворів решета, мм;

t_c – крок розміщення отворів, мм.

$$\varphi_c = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4 \cdot 7^2} = 0,256$$

Відкрита площа 25,6 % є достатньою для проходження подрібненого зерна при прийнятій продуктивності. За потреби її можна збільшити застосуванням шахового розміщення отворів.

Необхідну активну площу решета визначають за формулою

$$F_c = \frac{Q_{др}}{q_c} \quad (3.15)$$

де

F_c – активна площа решета, м²;

$Q_{др}$ – продуктивність дробарки, т/год;

q_c – допустиме питоме навантаження на решето, т/(м²·год).

$$F_c = \frac{3,6}{3,0} = 1,20 \text{ м}^2$$

Активну площу решета приймаємо 1,20 м². Таке значення забезпечується за рахунок напівциліндричного охоплення ротора решетою і рівномірного розподілу продукту по ширині дробильної камери.

Рекомендований зазор між кінцями молотків і рифленою декою визначають за формулою

$$\delta_d = k_d \cdot D_p \quad (3.16)$$

де

δ_d – зазор між кінцями молотків і декою, м;

k_d – коефіцієнт відносного зазору;

D_p – діаметр ротора, м.

$$\delta_d = 0,020 \cdot 0,56 = 0,0112 \text{ м} = 11,2 \text{ мм}$$

До конструкції приймаємо регульований зазор 10–12 мм. Зменшення зазору до 10 мм доцільне для пшениці та ячменю, а збільшення до 12 мм – для кукурудзи або зерна підвищеної вологості.

Умову зрівноваження протилежних молотків на роторі записують у вигляді

$$m_i \cdot r_i = m_j \cdot r_j \quad (3.17)$$

де

m_i – маса молотка або пакета молотків у першій позиції, кг;

r_i – радіус розміщення маси у першій позиції, м;

m_j – маса протилежного молотка або пакета молотків, кг;

r_j – радіус розміщення протилежної маси, м.

Оскільки у модернізованому роторі молотки одного типорозміру встановлюються на однаковому радіусі, умова балансування зводиться до добору молотків однакової маси у протилежних позиціях. Це зменшує вібрацію і підвищує ресурс підшипникових вузлів.

Ефект зменшення питомої витрати енергії оцінюють за формулою

$$\Delta e = \frac{e_6 - e_n}{e_6} \cdot 100 \quad (3.18)$$

де

Δe – відносне зниження питомої витрати енергії, %;

e_6 – питома витрата енергії базової дробарки, кВт·год/т;

e_n – питома витрата енергії модернізованої дробарки, кВт·год/т.

$$\Delta e = \frac{8,5 - 7,2}{8,5} \cdot 100 = 15,3 \%$$

Розрахунок показує, що застосування рифленої деки, шахового розміщення молотків і стабілізації зазору може забезпечити зменшення питомої витрати енергії приблизно на 15,3 %. Це значення використовується у подальшій економічній оцінці розробленого удосконалення.

За результатами розрахунку модернізована дробарка відповідає вимогам технологічного процесу приготування комбікорму для свиноферми на 6000 голів. Прийнятий ротор діаметром 0,56 м при частоті обертання 3000 хв⁻¹ забезпечує окружну швидкість молотків 87,9 м/с, що достатньо для подрібнення зернової суміші до потрібної крупності. Потужність електродвигуна 30 кВт забезпечує необхідний резерв, а регульований зазор деки 10–12 мм дає змогу адаптувати дробарку до різних зернових культур.

3.5 Висновки до розділу

У третьому розділі обґрунтовано необхідність удосконалення молоткового подрібнювача зерна, який використовується у технологічному процесі приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі. Встановлено, що найбільший вплив на продуктивність, енергоємність і фракційний склад подрібненого зерна мають ротор, молотки, дека та решето.

Запропоновано модернізувати ротор шляхом секційного виконання і шахового розміщення молотків, застосувати реверсивні зміцнені молотки зі ступінчастими робочими кромками, а також встановити змінну рифлену деку з регулюванням зазору 10–12 мм. Таке рішення зберігає загальну компоновку базової дробарки, але підвищує якість подрібнення і зменшує зношування робочих органів.

Розрахунками визначено, що для свиноферми на 6000 голів добова потреба у комбікормі становить 14,83 т, необхідна продуктивність кормоцеху – 3,20 т/год, а прийнята продуктивність модернізованої дробарки – 3,60 т/год. Окружна швидкість молотків становить 87,9 м/с, кількість молотків – 48 шт., потужність електродвигуна – 30 кВт, активна площа решета – 1,20 м².

Очікуване зниження питомої витрати електроенергії становить близько 15,3 %, що підтверджує доцільність модернізації. Отримані конструкційно-технологічні параметри можуть бути використані для подальшої розробки креслень робочих органів дробарки та економічної оцінки запропонованого удосконалення.

4 Охорона праці

Розділ охорони праці розроблено для технологічного процесу приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі з використанням молоткової дробарки зерна. Основна мета заходів безпеки полягає у зменшенні ризику травмування працівників, запобіганні запиленню робочої зони, зниженні впливу шуму та унеможливленні аварійних ситуацій під час подрібнення, транспортування і змішування зернових компонентів. Організація безпечної роботи повинна відповідати вимогам Закону України «Про охорону праці», правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві, санітарних норм і правил пожежної безпеки [11–16].

4.1 Загальні вимоги охорони праці при приготуванні комбікормів

Кормоприготувальне відділення відноситься до виробничих приміщень, у яких одночасно діють механічні, електричні, пилові, шумові та пожежонебезпечні фактори. Найбільшу небезпеку створюють рухомі робочі органи дробарок, шнекових транспортерів і змішувачів, відкриті завантажувальні та вивантажувальні горловини, електрообладнання, а також пил, що утворюється під час пересипання і подрібнення зерна. Тому безпечність процесу повинна забезпечуватися не одним окремим заходом, а поєднанням технічного захисту, правильної організації робочого місця, інструктажу персоналу та регулярного контролю стану обладнання [11, 12].

До виконання робіт у кормоцеху допускають працівників, які пройшли вступний і первинний інструктажі з охорони праці, ознайомлені з інструкцією з експлуатації обладнання, знають порядок зупинки лінії та дії у разі аварійної ситуації. Оператор повинен працювати у справному спецодязі, який не має звисаючих частин, використовувати засоби захисту органів дихання від пилу, захисні окуляри, засоби захисту слуху, а також спецвзуття з неслизькою підошвою. Робота у вологому одязі, без засобів індивідуального захисту або при несправних огородженнях не допускається.

Перед пуском кормоприготувальної лінії необхідно перевірити справність огорожень приводу, наявність заземлення електрообладнання,

роботу аварійної кнопки зупинки, відсутність сторонніх предметів у бункерах і камерах, надійність кріплення кришок, люків і з'єднань трубопроводів. Особливу увагу приділяють стану магнітного уловлювача або сепаратора, оскільки металеві домішки можуть пошкодити молотки, спричинити іскроутворення та аварійну зупинку дробарки.

Під час роботи забороняється відкривати люки, знімати захисні кожухи, проштовхувати зерно руками або сторонніми предметами, проводити очищення завантажувальної горловини, торкатися обертових деталей, стояти безпосередньо біля вивантажувального патрубку і залишати працюючу лінію без нагляду. При появі стороннього шуму, різкої вібрації, запаху перегріву, підвищеного пиловиділення або нерівномірної подачі матеріалу лінію необхідно зупинити, відключити електроживлення і з'ясувати причину несправності.

Після закінчення роботи оператор повинен зупинити подачу зерна, дати дробарці та транспортерам звільнитися від залишків матеріалу, вимкнути обладнання, переконатися у повній зупинці ротора і лише після цього виконувати очищення. Ремонт, заміну молотків, решета, деки, підтягування кріплень або налагодження зазорів виконують тільки після повного знеструмлення обладнання з вивішуванням попереджувального плаката на пусковому апараті.

У приміщенні кормоцеху необхідно підтримувати справну вентиляцію та аспірацію. Запиленість повітря погіршує умови праці, підвищує навантаження на органи дихання, зменшує видимість у зоні обслуговування та збільшує пожежну небезпеку. Місця інтенсивного пиловиділення – завантажувальні бункери, дробарка, циклони, пересипні вузли і вивантажувальні патрубки – повинні мати герметичні з'єднання, пиловловлювачі або місцеві відсмоктувачі.

Електрообладнання кормоцеху повинно мати справну ізоляцію, захисне заземлення, захист від перевантаження та короткого замикання. Кабелі прокладають так, щоб вони не потрапляли під транспортні засоби, не

контактували з гострими кромками металу і не створювали перешкод для проходу працівників. Щитові, пульти керування та кнопки аварійної зупинки мають бути доступними, позначеними і захищеними від забруднення пилом.

Для зниження пожежного ризику у кормоцеху забороняється куріння, застосування відкритого вогню, зберігання легкозаймистих матеріалів біля дробарки, електродвигунів та пиловловлювачів. Необхідно регулярно прибирати пил із підлоги, обладнання, кабельних лотків і верхніх поверхонь конструкцій. У доступному місці розміщують вогнегасники, інструкцію з пожежної безпеки, схему евакуації та телефони відповідальних осіб [16].

Таблиця 4.1 – Небезпечні фактори при приготуванні комбікормів та заходи захисту

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Основні заходи безпеки
Рухомі частини машин	ротор дробарки, шнеки, змішувачі, муфти, вали	захоплення одягу, травмування рук, удар деталями	захисні кожухи, блокування люків, заборона роботи при відкритих огороженнях
Зерновий пил	завантаження, пересипання, подрібнення, вивантаження	подрознення органів дихання, зниження видимості, пожежна небезпека	аспірація, герметизація стиків, респіратори, регулярне прибирання

Шум і вібрація	молоткова дробарка, електродвигун, вентилятор, сепаратор	втома, погіршення слуху, ослаблення уваги оператора	контроль технічного стану, балансування ротора, засоби захисту слуху
Електричний струм	електродвигуни, пускова апаратура, кабелі, пульт керування	електротравма, коротке замикання, пожежа	заземлення, захисне відключення, сухе робоче місце, огляд ізоляції
Сторонні предмети у зерні	метал, каміння, уламки тари, грудки домішок	поломка молотків, іскроутворення, аварійна зупинка	сепарація, магнітний захист, контроль сировини перед подачею
Пожежонебезпечність	пилові відкладення, перегріті підшипники, несправна електрика	загоряння пилу або обладнання	температурний контроль, очищення пилу, справні вогнегасники, заборона відкритого вогню

4.2 Вимоги охорони праці при роботі з дробаркою

Молоткова дробарка є найбільш небезпечним агрегатом кормоприготувальної лінії, оскільки в її робочій камері з великою швидкістю

обертається ротор із молотками, а подрібнення супроводжується ударом, шумом, вібрацією і виділенням пилу. У завантажувальній частині можливе втягування матеріалу, у приводі – захоплення одягу обертовими деталями, у вивантажувальній частині – викид частинок і пилу. Тому дробарку необхідно експлуатувати тільки у складі справної технологічної лінії, з діючими огороженнями, аспірацією та пристроями аварійної зупинки.

Таблиця 4.2 – Небезпечні зони дробарки та вимоги безпеки

Позначення	Небезпечна зона	Основна небезпека	Вимоги безпеки
Зона А	Завантажувальна горловина і подача зерна	втягування матеріалу, викид зерна, контакт із рухомими елементами	подавати зерно лише через бункер; не проштовхувати руками; застосовувати захисну решітку та кришку
Зона А	Робоча камера, ротор, молотки, дека і сито	удар молотками, залишкове обертання ротора, викид частинок, защемлення	не відкривати корпус до повної зупинки; перевіряти кріплення молотків; виконувати очищення лише після знеструмлення
Зона А	Вивантажувальний патрубок і зона виходу продукту	запилення, викид подрібненого матеріалу, защемлення при очищенні	не знімати патрубок під час роботи; забезпечити аспірацію; очищати тільки після зупинки

Зона Б	Електродвигун, передача, муфта, вали	захоплення одягу, травмування обертливими деталлями, ураження електричним струмом	привод закрити кожухом; контролювати заземлення; не працювати у вільному одязі; не торкатися обертливих деталей
Зона Б	Місце оператора, пульт керування, зона обслуговування	помилковий пуск, шум, вібрація, контакт зі сторонніми особами	допускати тільки навченого оператора; підтримувати вільний прохід; використовувати аварійне вимикання та засоби індивідуального захисту

Підготовка дробарки до роботи починається з зовнішнього огляду. Оператор перевіряє чистоту робочої зони, наявність проходу до пульта керування, відсутність сторонніх предметів на корпусі та біля приводу, цілісність захисних кожухів, надійність закриття люків і справність завантажувального пристрою. Після цього перевіряють наявність сировини, стан сепаратора, відсутність металевих домішок, роботу аспірації та готовність приймальної тари або транспортера для подрібненого зерна.

Пуск дробарки здійснюють у холостому режимі. Після виходу ротора на номінальну частоту обертання відкривають подачу зерна невеликим потоком і поступово доводять її до робочого значення. Перевантаження дробарки не допускається, оскільки воно викликає зростання струму електродвигуна, інтенсивну вібрацію, нагрів підшипників і погіршення якості помелу.

Рівномірність подачі має підтримуватися живильником або регульованою заслінкою.

Під час роботи оператор повинен спостерігати за стабільністю звуку машини, відсутністю биття корпусу, температурою підшипникових вузлів, чистотою повітропроводів і роботою пиловловлювача. При забиванні решета або вивантажувального патрубку не дозволяється очищати їх на працюючій машині. Спочатку зупиняють подачу матеріалу, потім вимикають дробарку, очікують повної зупинки ротора, відключають живлення і лише після цього відкривають корпус.

Особливу увагу необхідно приділяти стану молотків і деки. Зношені молотки знижують ефективність подрібнення, збільшують енергоспоживання, спричиняють дисбаланс ротора і посилюють вібрацію. При заміні молотків їх встановлюють комплектами однакової маси, симетрично відносно осі ротора. Після складання перевіряють вільне відхилення молотків, надійність шплінтів і пальців, а також відсутність торкання молотків до деки або решета.

Для запобігання травмам при технічному обслуговуванні необхідно застосовувати порядок блокування енергії: вимкнути дробарку, відключити рубильник, зафіксувати вимкнений стан пускового апарата, вивісити попереджувальний напис, переконатися у відсутності обертання та тільки після цього виконувати роботи. Один працівник не повинен одночасно знаходитись у зоні камери дробарки і дозволяти іншому працівнику вмикати обладнання.

У разі аварійної ситуації – руйнування молотка, різкого стуку, сильного пиловиділення, загоряння пилу, появи диму з електродвигуна або ураження працівника струмом – дробарку негайно зупиняють аварійною кнопкою. Після зупинки припиняють подачу зерна, відключають електроживлення всієї лінії, повідомляють відповідальну особу і не відновлюють роботу до усунення причини аварії. При загорянні електрообладнання використовують вогнегасник, придатний для гасіння електроустановок, і не застосовують воду до повного знеструмлення.

4.3 Висновки до розділу

У розділі визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час приготування комбікормів на відгодівельній свинофермі. До них належать рухомі робочі органи машин, зерновий пил, шум, вібрація, електричний струм, пожежна небезпека та ризики, пов'язані з технічним обслуговуванням обладнання.

Для молоткової дробарки зерна позначено небезпечні зони, пов'язані із завантажувальною горловиною, ротором з молотками, декою, решетом, приводом, електрообладнанням, вивантажувальним патрубком та зоною обслуговування оператора. Для кожної зони встановлено конкретні вимоги безпеки, які повинні виконуватися перед пуском, під час роботи та при обслуговуванні машини.

Основними заходами безпечної експлуатації прийнято застосування захисних кожухів, блокування доступу до робочої камери, рівномірну подачу зерна, аспірацію пилу, заземлення електрообладнання, використання засобів індивідуального захисту та заборону очищення або ремонту дробарки під час роботи. Запропонована карта контролю показників безпеки дає змогу систематично перевіряти стан основних вузлів дробарки і зменшувати ймовірність аварійних ситуацій.

Отже, дотримання наведених вимог охорони праці є необхідною умовою стабільної, безпечної та технологічно надійної роботи кормоприготувального відділення при виробництві комбікорму для відгодівельної свиноферми.

5 Техніко-економічна оцінка

Техніко-економічну оцінку виконано для порівняння базового технологічного процесу приготування комбікорму з варіантом, у якому застосовано модернізовану молоткову дробарку зерна. Метою оцінки є встановлення впливу удосконалення робочих органів дробарки на продуктивність, енергомісткість, експлуатаційні витрати та строк окупності додаткових вкладень.

У розділі наведено лише вихідні дані та кінцеві результати економічної оцінки без проміжного ходу розрахунків. Показники прийнято як проектні для умов відгодівельної свиноферми на 6000 голів, де комбікорм готується у власному кормоприготувальному відділенні.

5.1 Вихідні дані

Вихідні дані для техніко-економічної оцінки сформовано з урахуванням прийнятого поголів'я, річного обсягу приготування комбікорму, проектної продуктивності дробарки та експлуатаційних витрат на виконання операції подрібнення зерна.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічної оцінки

Показник	Одиниця виміру	Значення
Поголів'я свиней на відгодівлі	гол.	6 000
Середньодобова кількість комбікорму на одну голову	кг/добу	2,8
Тривалість роботи кормоцеху протягом року	діб/рік	365
Річний обсяг приготування комбікорму	т/рік	6 132
Прийнята вартість комбікорму у господарстві	грн/т	8 500
Вартість електроенергії	грн/(кВт·год)	8,00
Оплата праці оператора з нарахуваннями	грн/люд.-год	110
Продуктивність базової дробарки	т/год	2,10
Продуктивність модернізованої дробарки	т/год	2,70

Питомі енерговитрати базового варіанта	кВт·год/т	12,8
Питомі енерговитрати удосконаленого варіанта	кВт·год/т	10,6
Технологічні втрати корму в базовому варіанті	%	1,2
Технологічні втрати корму в удосконаленому варіанті	%	0,7
Річні витрати на ремонт і технічне обслуговування базового варіанта	грн/рік	125 000
Річні витрати на ремонт і технічне обслуговування удосконаленого варіанта	грн/рік	95 000
Балансова вартість базової дробарки	грн	350 000
Додаткові витрати на модернізацію дробарки	грн	198 000
Норма амортизаційних відрахувань	%/рік	10

Прийняті вихідні дані дають змогу оцінити не загальну собівартість комбікорму, а саме економічний результат від модернізації дробарки як ключової машини операції подрібнення зернових компонентів.

5.2 Результати розрахунків економічних показників

Порівняння базового та удосконаленого варіантів наведено за показниками, які безпосередньо змінюються внаслідок модернізації: продуктивність, тривалість роботи, витрати електроенергії, оплата праці, ремонтні витрати, технологічні втрати корму та амортизаційні відрахування. Таблиця 5.2 – Результати розрахунків економічних показників базового та удосконаленого варіантів

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Річний обсяг приготування комбікорму	т/рік	6 132	6 132
Продуктивність дробарки	т/год	2,10	2,70
Річна тривалість роботи дробарки	год/рік	2 920	2 271

Питомі енерговитрати на подрібнення	кВт·год/т	12,8	10,6
Річні витрати електроенергії	кВт·год/рік	78 490	64 999
Витрати на електроенергію	грн/рік	627 917	519 994
Витрати на оплату праці оператора	грн/рік	321 200	249 822
Витрати на ремонт і технічне обслуговування	грн/рік	125 000	95 000
Вартісна оцінка технологічних втрат корму	грн/рік	625 464	364 854
Амортизаційні відрахування	грн/рік	35 000	54 800
Загальні експлуатаційні витрати	грн/рік	1 734 581	1 284 470
Експлуатаційні витрати на 1 т комбікорму	грн/т	282,9	209,5
Зниження річних експлуатаційних витрат	грн/рік	—	450 111
Додаткові капітальні вкладення	грн	—	198 000
Строк окупності додаткових вкладень	років	—	0,44

За результатами порівняння модернізація дробарки забезпечує підвищення продуктивності подрібнення, скорочення річної тривалості роботи машини та зменшення питомих енерговитрат. Додатково очікується зниження технологічних втрат корму завдяки більш рівномірному подрібненню зерна, меншому переподрібненню і стабільнішому проходженню матеріалу через робочу камеру.

Річне зниження експлуатаційних витрат становить 450 120 грн, а строк окупності додаткових вкладень у модернізацію дробарки дорівнює 0,44 року. Отже, удосконалений варіант є економічно доцільним для впровадження у кормоприготувальному відділенні відгодівельної свиноферми.

5.3 Висновки до розділу

У розділі виконано техніко-економічну оцінку модернізації молоткової дробарки зерна без наведення проміжного ходу розрахунків. Порівняння проведено за двома групами даних: вихідними показниками та підсумковими результатами оцінки базового й удосконаленого варіантів.

Установлено, що модернізація дробарки дає змогу підвищити продуктивність з 2,10 до 2,70 т/год, зменшити питомі енерговитрати з 12,8 до 10,6 кВт·год/т, скоротити тривалість роботи обладнання та знизити втрати корму, пов'язані з надмірним подрібненням і пиловиділенням.

Загальні експлуатаційні витрати зменшуються з 1 734 584 до 1 284 464 грн/рік. Очікуваний річний економічний результат становить 450 120 грн, що забезпечує окупність додаткових вкладень протягом приблизно 0,44 року. Це підтверджує доцільність упровадження модернізованої дробарки у технологічний процес приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі.

Загальні висновки

1. У дипломній роботі розроблено технологічний процес приготування комбікорму на відгодівельній свинофермі з поголів'ям 6000 голів та обґрунтовано модернізацію молоткової дробарки зерна.

2. Встановлено, що для відгодівлі свиней доцільно застосовувати сухий повнораціонний комбікорм власного приготування. Це забезпечує стабільність годівлі, контроль якості корму та зменшення витрат на закупівлю готових комбікормів.

3. Запропонований технологічний процес включає зберігання зернових компонентів, очищення, подрібнення, дозування, введення преміксів, змішування та видачу готового корму. Необхідна продуктивність лінії становить близько 3,20 т/год, а добова потреба у комбікормі – 14,83 т/добу.

4. Для умов свиноферми обґрунтовано використання молоткової дробарки, оскільки вона має просту будову, достатню продуктивність, універсальність і придатна до конструктивного удосконалення.

5. Запропонована модернізація передбачає удосконалення ротора, молотків і деки: секційний ротор із шаховим розміщенням молотків, реверсивні молотки зі зміцненими робочими гранями та змінну рифлену деку з регулюванням зазору.

6. Розрахунками прийнято основні параметри дробарки: діаметр ротора 0,56 м, частота обертання 3000 хв^{-1} , кількість молотків 48 шт., окружна швидкість 87,9 м/с, потужність електродвигуна 30 кВт, діаметр вала 35 мм.

7. У розділі охорони праці визначено небезпечні зони дробарки та запропоновано заходи безпеки: захисні кожухи, аспірацію, заземлення, аварійне вимикання, недопущення сторонніх осіб і обслуговування лише після повної зупинки та знеструмлення машини.

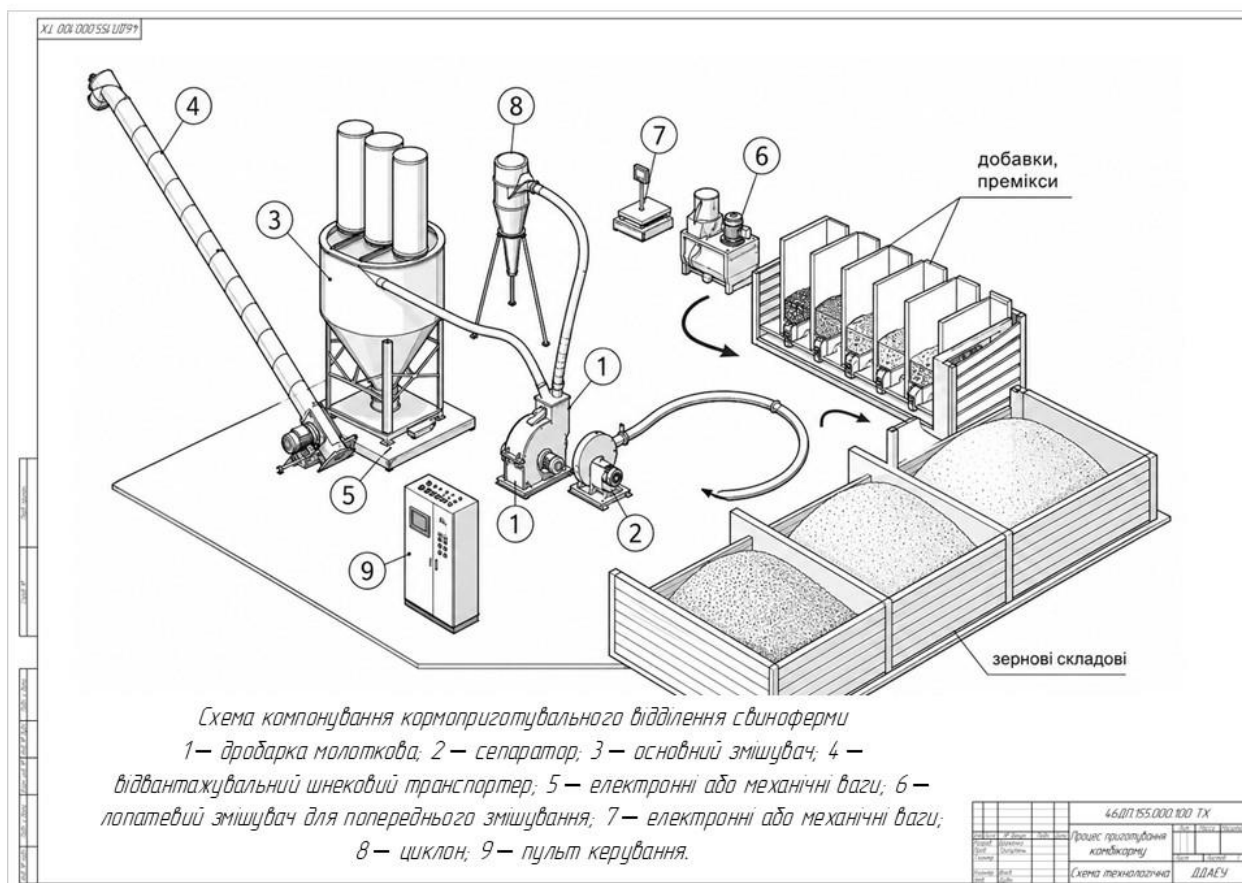
8. Економічна оцінка підтвердила ефективність модернізації. Річні експлуатаційні витрати зменшуються з 1 734 584 грн до 1 284 464 грн, економічний ефект становить 450 120 грн/рік, строк окупності – 0,44 року.

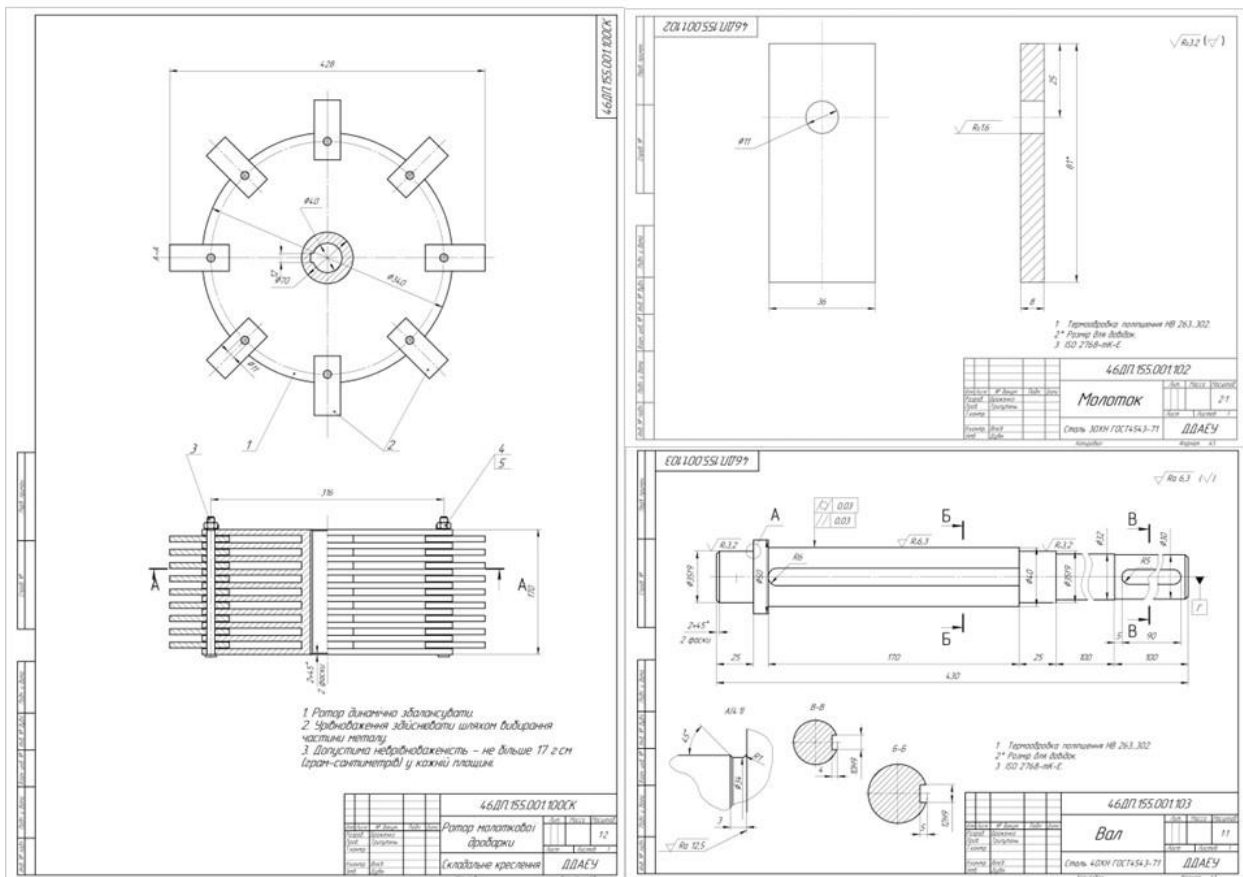
Бібліографія

1. National Research Council. (2012). Nutrient requirements of swine: Eleventh revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>
2. Crenshaw, T. D. (2025). Feeding levels and practices in pigs. Merck Veterinary Manual. <https://www.merckvetmanual.com/management-and-nutrition/nutrition-pigs/feeding-levels-and-practices-in-pigs>
3. Kansas State University. (2026). Particle size. Swine Nutrition Guide, Grow-Finish. <https://www.asi.k-state.edu/extension/swine/swinenutritionguide/growfinish/particle-size.html>
4. Kansas State University. (2026). Feed processing. Swine Nutrition Guide, Grow-Finish. <https://www.asi.k-state.edu/extension/swine/swinenutritionguide/growfinish/feed-processing.html>
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Feed manufacturing technology: Material flow in feed manufacturing. FAO. <https://www.fao.org>
6. European Feed Manufacturers' Federation. (2014). European feed manufacturers' guide: Guide to good manufacturing practices for the EU industrial compound feed and premixtures manufacturing sector for food producing animals. FEFAC.
7. Єгоров, Б. В. (2011). Технологія виробництва комбікормів: Підручник. Друкарський дім.
8. Мельников, С. В. (2010). Механізація і автоматизація тваринницьких ферм. Урожай.
9. Погорілий, Л. В., & Коваль, С. М. (2015). Машини та обладнання для приготування кормів. Аграрна освіта.
10. ДСТУ ISO 22000:2019. (2019). Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу. ДП «УкрНДНЦ».

11. Верховна Рада України. (1992). Про охорону праці: Закон України № 2694-XII. <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
12. Міністерство соціальної політики України. (2018). Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: Наказ № 1240. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>
13. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. (2013). Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: Наказ № 966. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0327-14>
14. Міністерство охорони здоров'я України. (1999a). ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. <https://zakon.rada.gov.ua>
15. Міністерство охорони здоров'я України. (1999b). ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. <https://zakon.rada.gov.ua>
16. Міністерство внутрішніх справ України. (2014). Правила пожежної безпеки в Україні: Наказ № 1417. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>

Додатки





Небезпечні зони дробарки та вимоги безпеки			
Позначення	Небезпечна зона	Основна небезпека	Вимоги безпеки
Зона А	Завантажувальна горловина і подача зерна	втягування матеріалу, викид зерна, контакт із рухомими елементами	подавати зерно лише через бункер; не проштовхувати руками; застосовувати захисну решітку та кришку
Зона А	Робоча камера, ротор, молотки, дека і сито	удар молотками, залишкове обертання ротора, викид частинок, заземлення	не відкривати корпус до повної зупинки; перевіряти кріплення молотків; виконувати очищення лише після знеструмлення
Зона А	Вивантажувальний патрубок і зона виходу продукту	запилення, викид подрібненого матеріалу, заземлення при очищенні	не знімати патрубок під час роботи; забезпечити аспірацію; очищати тільки після зупинки
Зона Б	Електродвигун, передача, муфта, вали	захоплення одягу, травмування обертаними деталями, ураження електричним струмом	привод закрити кожухом; контролювати заземлення; не працювати у вільному одязі; не торкатися обертаних деталей
Зона Б	Місце оператора, пульт керування, зона обслуговування	помилковий пуск, шум, вібрація, контакт зі сторонніми особами	допускати тільки навченого оператора; підтримувати вільний прохід; використовувати аварійне вимикання та засоби індивідуального захисту

46.071.155.000.100.017			
Охорона праці			
ДДАЄУ			

Показник			
Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Річний обсяг приготування комбікорму	т/рік	6 132	6 132
Продуктивність дробарки	т/год	2,10	2,70
Річна тривалість роботи дробарки	год/рік	2 920	2 271
Питомі енерговитрати на подрібнення	кВт·год/т	12,8	10,6
Річні витрати електроенергії	кВт·год/рік	78 490	64 999
Витрати на електроенергію	грн/рік	627 917	519 994
Витрати на оплату праці оператора	грн/рік	321 200	249 822
Витрати на ремонт і технічне обслуговування	грн/рік	125 000	95 000
Вартісна оцінка технологічних втрат корму	грн/рік	625 464	364 854
Амортизаційні відрахування	грн/рік	35 000	54 800
Загальні експлуатаційні витрати	грн/рік	1 734 581	1 284 470
Експлуатаційні витрати на 1 т комбікорму	грн/т	282,9	209,5
Зниження річних експлуатаційних витрат	грн/рік	-	450 111
Додаткові капітальні вкладення	грн	-	198 000
Строк окупності додаткових вкладень	років	-	0,44

46.071.155.000.100.017			
Економічні показники			
ДДАЄУ			